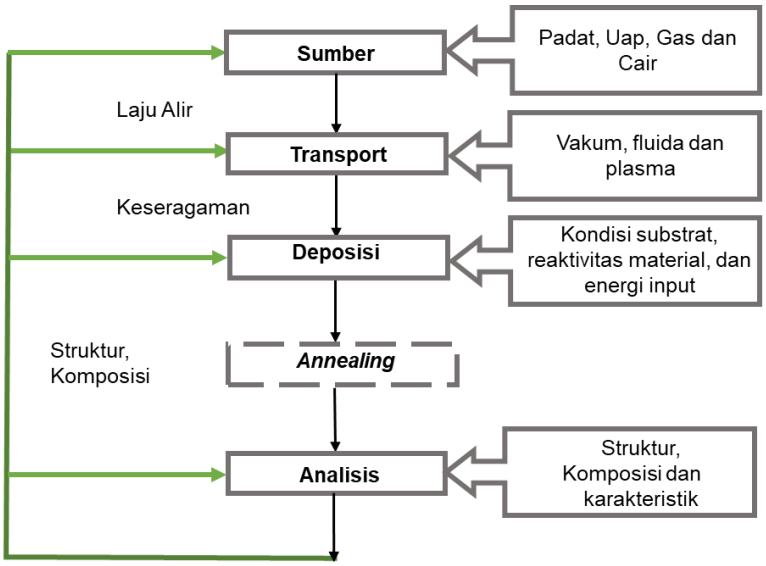
BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembentukan Lapisan Tipis

Lapisan tipis merupakan material dengan ketebalan tidak lebih dari 10 µm yang melapisi suatu substrat dan didefinisikan sebagai material berdimensi rendah yang terbentuk melalui proses kondensasi ion/molekul/atom suatu materi[9]. Lapisan tipis dapat tersusun dari satu komponen atau multi-komponen berupa paduan (*alloy*) dan *compound* atau komposit. Contoh lapisan tipis yang tersusun dari satu komponen adalah lapisan, Pt, Al atau Au yang biasa digunakan sebagai elektroda. Material semikonduktor seperti ZnO, GaAs, dan GaN, dielektrik SiO_2 serta HfO_2 merupakan contoh lapisan tipis yang terbentuk dari *compound* , sedangkan Pb-Sn dan Cr-SiO_2 adalah contoh lapisan tipis *alloy* dan komposit.

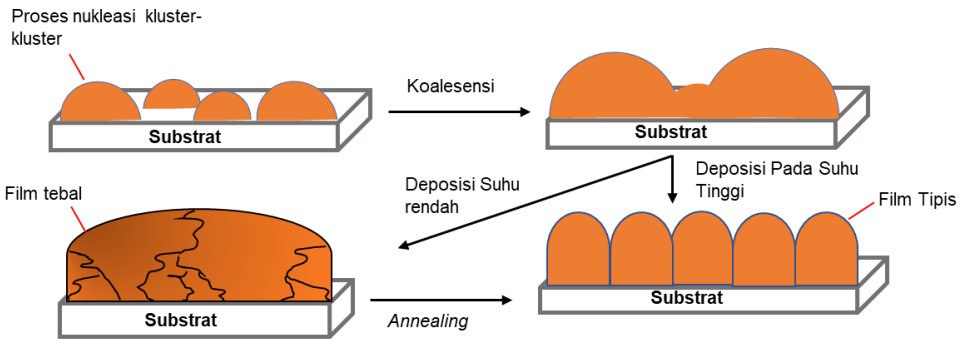
Proses pembentukan lapisan tipis pada substrat secara garis beras terdiri dari empat tahap yaitu : sumber, transportasi material ke substrat, deposisi lapisan di atas substrat dan analisis. Proses *annealing* kadang-kadang diperlukan untuk keadaan tertentu, seperti ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2. 1 Proses pembentukan lapisan tipis [9]

Sumber material dapat berbentuk padat, cair, uap atau gas ditransportasikan ke substrat. Proses transport material ke substrat menentukan uniformitas dari lapisan tipis. Uniformitas yang berlangsung dalam fluida ditentukan oleh pola aliran fluida dan difusi molekul. Laju aliran dari sumber prekursor sangat penting karena sifat-sifat lapisan tipis sangat bergantung pada laju deposisi dan perbandingan elemen-elemen yang disuplai ke lapisan tipis[10].Gambar 2.2 menunjukkan tahap berikutnya dalam proses lapisan tipis, yaitu proses deposisi atau kondensasi membentuk lapisan padat pada substrat yang terdiri dari beberapa tahap, antara lain :

a) Physisorpsi spesies-spesies yang mengenai substrat.
b) Pembentukan kluster-kluster (inti-inti) besar.
c) Tumbukan kluster-kluster membentuk inti yang lebih besar dan stabil atau disebut dengan nukleasi (*nucleation).*
d) Pembentukan pulau-pulau (*islands*) yaitu pertumbuhan inti secara paralel maupun tegak lurus substrat.
e) Pulau-pulau kecil berkoalesen (*coalescence*) sehingga semakin luas permukaan substrat yang terlapisi.
f) Pertumbuhan kontinu pulau-pulau menjadi lebih besar menutupi permukaan substrat.



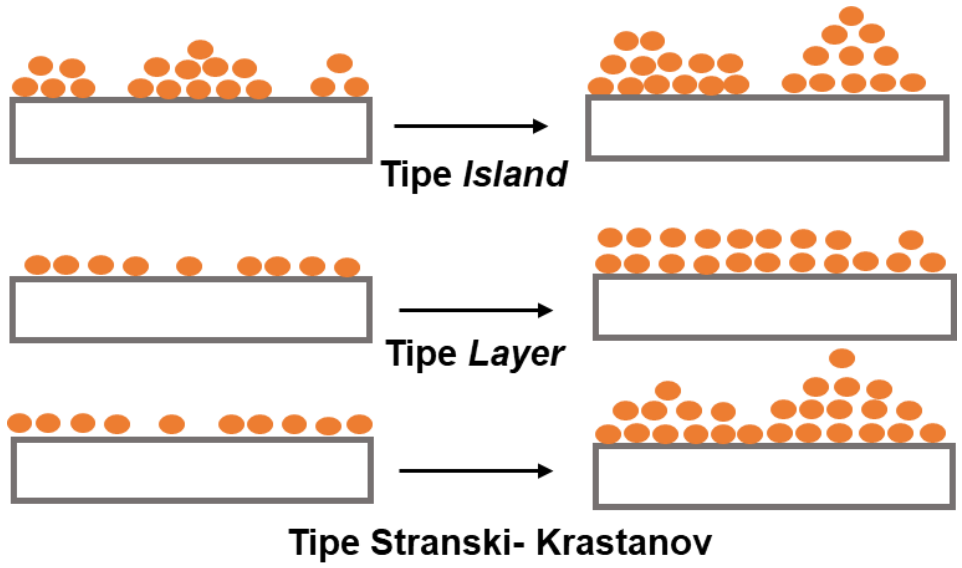
Gambar 2. 2 Proses pertumbuhan atom pada film tipis [10]

Nukleasi dan pertumbuhan lapisan tipis bergantung pada berbagai kondisi deposisi[11]. Kondisi deposisi ditentukan oleh sumber, transport dan permukaan substrat. Terdapat tiga faktor utama permukaan substrat yang menentukan

berlangsungnya proses deposisi, yaitu: kondisi permukaan (kekasaran, tingkat kontaminan, derajat ikatan kimia dengan material yang dideposisikan dan kristalografi), reaktivitas material yang mencapai substrat dan energi *input*.

Energi *input* dapat diperoleh dari berbagai sumber dan bentuk, misalnya: foton dan ion bermuatan, namun yang paling mendasar adalah temperatur substrat. Energi *input*/masukan sangat mempengaruhi reaktivitas material yang menuju substrat, komposisi dan struktur lapisan tipis. Kondisi substrat, reaktivitas dan energi *input* secara bersamaan menentukan komposisi dan struktur lapisan tipis yang kemudian menentukan sifat-sifat lapisan tipis.

Pertumbuhan lapisan tipis membentuk pola/mode yang berbeda-beda. Menurut Ohring [12] terdapat 3 mode pertumbuhan lapisan tipis seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3 di bawah ini:



Gambar 2. 3 Pola dasar pertumbuhan lapisan tipis menurut Ohring [11]

a. Tipe *Island* (tipe Volmer-Weber)

Mode pertumbuhan tipe *island* terjadi ketika kluster stabil terkecil berinti pada substrat dan tumbuh dalam tiga dimensi untuk membentuk pulau (*island*).Hal ini terjadi ketika atom atau molekul dalam endapan lebih terikat satu sama lain daripada ke substrat. Contohnya adalah logam pada isolator, kristal alkali halida, grafit, dan substrat mika menampilkan mode pertumbuhan ini.

b. Tipe *layer* (Frank-Van der Merwe)

Mode pertumbuhan *layer* menghasilkan pembentukan lembaran planar dalam dua dimensi yang menutupi seluruh permukaan substrat. Dalam mode pertumbuhan ini, atom lebih terikat kuat ke substrat. Atom-atom akan tersusun menyeluruh terlebih dahulu pada lapisan pertama kemudian akan membentuk lapisan kedua yang agak kurang terikat. Penurunan energi permukaan lapisan tipis pada atom terjadi secara kontinu hingga terbentuk kristal. Contohnya pada kristal tunggal dari film semikonduktor.

c. Tipe campuran (tipe Stranski-Krastanov)

Tipe pertumbuhan lapisan tipis Stranski-Krastanov (S.K.) adalah kombinasi dari tipe *island* dan tipe *layer*. Dimana, setelah membentuk satu atau lebih lapisan tunggal, pertumbuhan lapisan selanjutnya membentuk pulau-pulau. Faktor-faktor yang menyebabkan hal ini terjadi adalah ketidakcocokan kisi film-substrat, energi regangan yang terakumulasi dalam film yang tumbuh, energi *interface* (antara substrat dan film) yang tinggi dapat memicu pembentukan pulau. Mode pertumbuhan ini terdapat lapisan tipis dari material logam-logam dan semikonduktor-logam.

Tahap analisis merupakan tahap terakhir dalam proses deposisi yang meliputi pengukuran sifat-sifat lapisan tipis yang penting untuk aplikasinya. Sebagai contoh adalah pengukuran ketebalan lapisan tipis, konstanta dielektrik dan tegangan dadal isolator, indeks bias (sifat optik), resistivitas dan kekasaran. Selain itu analisis dilakukan menggunakan pendekatan empirik melalui optimasi dengan memvariasikan parameter deposisi, misalnya: variasi temperatur substrat [9].

2.2. Metode *Spray Pyrolysis*

Metode *spray pyrolysis* didasarkan pada pembentukan aerosol dari berbagai larutan prekursor, yang bisa berupa larutan garam logam atau larutan koloid [11]. Ini adalah metode penumbuhan lapisan tipis yang dideposisikan di atas substrat dengan pemanasan pada suhu tertentu untuk bereaksi dan membentuk senyawa kimia yang diinginkan. Pemanasan pada substrat diberikan agar selain dari senyawa yang

diinginkan dapat menguap [13]. Metode ini termasuk juga dalam teknik deposisi lapisan secara kimia yang memberikan banyak keuntungan, diantaranya biaya operasional yang lebih murah, proses sintesis yang relatif mudah, dapat menumbuhkan lapisan yang seragam dengan permukaan yang halus[9], rentang waktu produksi yang singkat[13], lebih mudah dalam menentukan konsentrasi prekursor yang digunakan[14], dapat dilakukan pada suhu yang rendah dan banyak diaplikasikan dalam industri kaca serta sel surya[15],[16].

Junhee Cho (2019) berhasil menumbuhkan lapisan ZnO berukuran 20 nm dengan metode *spray pyrolysis* menggunakan kompresor [17] dan Saravanakkumar (2018) membuat lapisan ZnO dengan ketebalan 36 nm dengan metode *spray pyrolysis* menggunakan botol parfum [18]. Selain dari kompresor dan botol parfum, *nanospray* menjadi alternatif yang menjanjikan sebagai alat *spray*. Seperti pada gambar 2.4 dibawah ini :

Gambar 2. 4 Alat nanospray

Nanospray adalah alat yang mampu mengubah partikel kecil ke skala nanometer. Alat ini memiliki kapasitas tangki 20 ml dan memiliki daya *atomizer* minimal 0.2 atau 200 nm. Harga alat ini sangat murah, sehingga mengurangi biaya penumbuhan film tipis. Jarak optimum *spray* alat ini sampai 15 cm pada temperatur ruang[19]. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan dari proses deposisi lapisan tipis pada metode ini adalah waktu deposisi, temperatur penumbuhan, molaritas prekursor, dan jarak *nozzle*-substrat.

2.2.1. Waktu Deposisi

Waktu deposisi sangat penting dalam proses penumbuhan lapisan tipis. Waktu deposisi mempengaruhi bentuk dan morfologi serta keseragaman permukaan dari lapisan tipis yang tumbuh. Waktu yang singkat akan cenderung menghasilkan lapisan tipis yang sangat sedikit sedangkan waktu yang terlalu lama akan menghasilkan lapisan tipis yang lebih tebal dan gumpalan.

2.2.2. Temperatur Penumbuhan

Temperatur pada substrat berperan penting dalam menentukan morfologi dan sifat dari lapisan tipis yang terbentuk. Lapisan tipis ZnO yang dideposisikan pada substrat dengan suhu 490^{o}C dapat meningkatkan kualitas kristalinitas dan memiliki nilai transmitansi yang tinggi pada rentang suhu 420-490^{o}C [20]. Nezzari Hassene (2019) menumbuhkan lapisan ZnO pada substrat dengan suhu 450^{o}C menghasilkan ukuran butir 64 nm, *energy gap* 3,2 eV dan nilai transmitansi mencapai 90% [21]. Hal ini membuktikan bahwa dengan meningkatnya suhu substrat akan meningkatkan nilai transmitansi, ukuran kristal dan *energy gap* dari lapisan tipis ZnO.

2.2.3. Molaritas Prekursor

Pada metode *spray pyrolysis*, molaritas prekursor adalah variabel yang dapat dikontrol untuk menghasilkan kualitas kristal dan sifat dari lapisan tipis yang diinginkan. Molaritas larutan yang meningkat akan menyebabkan ukuran butir akan semakin meningkat dan tingkat kekasaran semakin meningkat. Disisi lain, kenaikan molaritas larutan dapat menyebabkan penurunan resistivitas lapisan tipis [22]. Tetapi nilai transmitansi pada lapisan tipis ZnO akan menurun jika molaritas larutan meningkat akibat kekasaran permukaan yang ikut meningkat [23]. Penelitian yang dilakukan oleh Rajendra, menggunakan konsentrasi 0,45 M adalah molaritas optimal untuk menghasilkan lapisan tipis ZnO dimana nilai transmitansi mencapai 82% dan resistivitas yang rendah yaitu 1.88 x 10^{-2} Z/cm [24].

2.2.4. Jarak *Nozzle* Terhadap Substrat

Jarak *nozzle* terhadap substrat memberikan pengaruh pada proses pencapaian prekursor menuju substrat. Untuk itu jarak yang tepat masing-masing alat *spray* bergantung terhadap jarak optimum yang dimiliki alat *spray* tersebut dimana untuk alat *nanospray* sendiri memiliki jarak optimum sejauh 15 cm. Jika jarak yang diberikan terlalu dekat maka larutan akan menumpuk di satu bagian yang mengakibatkan lapisan tipis yang tidak merata sedangkan jika jarak terlalu jauh, larutan yang keluar dari *nozzle* akan menguap terlebih dulu sebelum mencapai substrat yang mengakibatkan tidak adanya lapisan tipis yang terbentuk. Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menghasilkan lapisan tipis ZnO dengan nilai *energy gap* 3,21 eV dan 3,26 eV pada jarak 25 cm dan 30 cm [25],[26].

2.2.5. Substrat

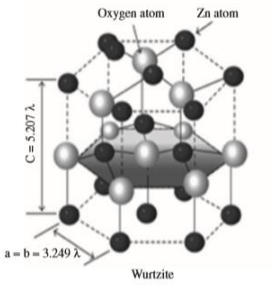
Substrat diperlukan sebagai tempat untuk tumbuhnya lapisan tipis. Pemilihan substrat yang digunakan harus memiliki parameter kisi dan koefisien termal yang hampir sama dengan film tipis yang ditumbuhkan. Substrat berfungsi sebagai komponen penunjang interkoneksi dan perakitan divais. Terdapat berbagai jenis substrat dalam pembuatan lapisan tipis, diantaranya kaca, Si (111), ITO *(Indium Tin Oxide)*, *quarzt* dan *Sapphire* [19]. ITO sebagai substrat memiliki nilai transmitansi yang mencapai 50-60%, resistivitas yang kecil $10^{-3}\ \Omega$ m [27], dan kestabilan termal yang baik [28]. Karakteristik yang dimiliki ITO ini banyak diaplikasikan pada optoelektronik dan sel surya sebagai TCO (*Transparent Conductor Oxide*). Substrat kaca memiliki nilai transmitansi yang cukup tinggi dan murah sering digunakan dalam penumbuhan lapisan tipis. Lapisan tipis ZnO yang ditumbuhkan diatas kaca dapat memperbesar transmitansi dan dapat menaikkan *energy gap* dari ZnO sendiri [20].

2.3. Seng Oksida (ZnO)

ZnO adalah semikonduktor tipe-n tanpa doping dengan celah pita yang lebar yaitu 3,37 eV dan energi pengikat eksiton sebesar 60 meV. ZnO adalah material yang tidak beracun, murah, sangat melimpah [29], memiliki kepadatan 5.606 g/cm^3, dapat meleleh pada suhu 1,975°C, tidak mudah larut dalam air, larut dalam asam encer, larutan amonia, alkali hidroksida [30], dan kristalisasi dapat terbentuk pada suhu dekomposisi yang rendah serta sensitivitas terhadap cahaya yang cukup tinggi. Sehingga dari karakteristik tersebut ZnO banyak dikembangkan sebagai sensor cahaya, sel surya, fotokatalis dan laser UV [29]. ZnO ditemukan di alam dalam bentuk mineral *zincite* [30]. ZnO terbentuk dari persenyawaan antara logam Zn (Seng) yang tergolong senyawa oksida. ZnO dapat dihasilkan dari proses reaksi antara *Zinc Acetate Dihidrat* bersama etanol sebagai pelarut.

Seng adalah unsur yang termasuk dalam logam transisi, berwarna putih keperakan, ringan, kuat, tahan korosi dan mudah dibentuk pada temperatur antara 100^{o}C hingga 150^{o}C. Seng memiliki kepadatan 7,14 g/cm^3 , mudah meleleh pada suhu 419^{o}C, dapat menguap pada suhu 907^{o}C dan merupakan konduktor yang baik [30]. Unsur Seng memiliki nomor atom 30 dan massa atom relatif 65,39. Komposisi Seng dan Oksigen dalam ZnO yaitu Zn 80,34% , O 19,66% [30].

Film tipis ZnO memiliki tiga bentuk kristal: *wurtzite* heksagonal, *zincblende* kubik (fcc) dan *rocksalt* kubik (fcc) [31]. Struktur *wurtzite* paling stabil dibandingkan bentuk yang lain. Film tipis ZnO dengan tipe kristal *wurtzite* heksagonal, memiliki parameter kisi pada sumbu a = 3,2495 Å dan sumbu c = 5,2069 Å [32], seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2. 5 Struktur *wurtzite* untuk kristal ZnO [32]

2.4. Besi (Fe)

Besi (Fe) adalah logam transisi yang memiliki nomor atom 26 dan nomor massa 55,847 berwarna metalik mengkilap keabu-abuan. Logam Fe memiliki jari-jari atom 1,24 Å dengan konfigurasi elektron [Ar] $3d^6\ 4s^2$, berwarna putih dan ulet. Logam Fe memiliki kerapatan 7,873 g/cm^3 pada 20°C, titik lebur 1.538°C, dan menguap pada 2.861°C. Fe bersifat feromagnetik pada suhu biasa dan dapat menjadi paramagnetik jika dipanaskan hingga mencapai titik *Curie* yaitu pada suhu 768^{o}C [30]. Besi terdapat di alam dalam bentuk senyawa, misalnya pada mineral *hematite* (Fe_2O_3), *magnetit* (Fe_2O_4), *pirit* (FeS_2), *siderite* ($FeCO_3$), dan *limonit* ($2Fe_2O_3.3H_2O$). Pada lapisan tipis ZnO doping Fe, menggunakan garam *Iron (III) Chloride Hexahydrat* ($FeCl_3.\ 6H_2O$) yang berwarna kuning kecokelatan, dapat meleleh pada suhu 37°C, dapat menguap sekitar 280°C, sangat larut dalam air (92/100 g air pada 20°C) serta sangat larut dalam pelarut organik seperti etanol, eter dan aseton. Reaksi kimia yang akan terjadi pada deposisi ZnO doping Fe (FZO) [5] adalah sebagai berikut:

$$Zn(CH_3COO)_2.2H_2O \xrightarrow{\Delta} Zn(OH)_2 + 2CH_3COOH \uparrow$$

$$2CH_3COOH + 2(OH)^- \xrightarrow{\Delta} CH_3OH \uparrow + CO_2 \uparrow + H_2 \uparrow$$

$$FeCl_3 + 3H_2O \xrightarrow{\Delta} Fe^{3+} + 3HCl + 3(OH)^-$$

$$Zn(OH)_2 + Fe^{3+} \xrightarrow{\Delta} ZnO : Fe + H_2O \uparrow$$

2.5. Karakterisasi Lapisan Tipis ZnO

Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik yang muncul pada lapisan tipis yang telah disintesis. Adapun karakterisasi yang dilakukan yaitu karakterisasi XRD (*X-Ray Diffractometer*) untuk mengetahui struktur kristal dari material, karakterisasi SEM untuk mengetahui keadaan morfologi dan ukuran butir material, karakterisasi UV-Vis untuk mengetahui sifat optik seperti tingkat

penyerapan (adsorpsi) dan transparan dari material serta karakterisasi dengan I-V Meter untuk mengukur sifat listrik yang dimiliki material.

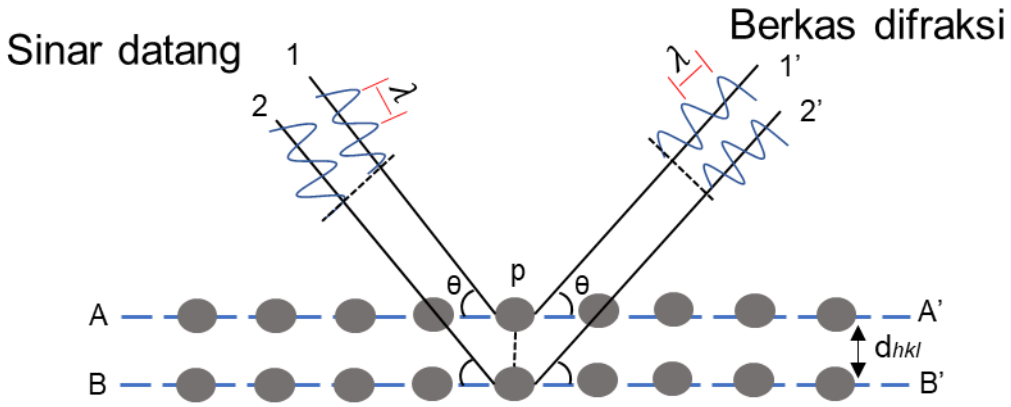
2.5.1. Karakterisasi XRD (*X-Ray Diffractometer*)

XRD merupakan salah satu metode yang bersifat tidak destruktif dan paling banyak digunakan dalam Fisika Zat Padat untuk menentukan struktur kristal dan informasi mengenai jarak kisi atau penentuan konstanta kisi di dalam kristal[9]. Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang antara 10 nm ke 100 pm. Sinar-X dihasilkan dari tumbukan elektron berkecepatan tinggi dengan logam sasaran. Oleh karena itu, suatu tabung sinar-X harus mempunyai suatu sumber elektron, voltase tinggi, dan logam sasaran. Apabila suatu bahan dikenai sinar-X maka intensitas sinar-X yang ditransmisikan lebih kecil dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh bahan dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar yang dihantarkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasenya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasenya sama. Berkas sinar-X yang saling menguatkan disebut sebagai berkas difraksi. Persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan merupakan berkas difraksi dikenal sebagai Hukum Bragg. Hukum Bragg menyatakan bahwa perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-X harus merupakan kelipatan panjang gelombang, secara matematis diungkapkan sebagai berikut:

$$2d \sin\theta = n\lambda \tag{2.1}$$

dengan d adalah jarak antara kisi kristal, θ adalah sudut difraksi, n adalah orde difraksi dan λ adalah panjang gelombang dari sumber sinar- X. Dengan mengatur sudut θ, kondisi hukum Bragg dipenuhi oleh perbedaan jarak antar bidang difraksi dari bahan. Hukum keadaan menyatakan bahwa difraksi hanya terjadi ketika beda lintasan antara berkas sinar datang dan sinar pantul berbeda nilai integer dari panjang gelombangnya, seperti diperlihatkan pada Gambar 2. 6. Ketika hal ini terjadi, seluruh berkas dipantulkan dalam satu fasa dan akan membentuk interferensi yang konstruktif. Dengan memplot posisi angular dan intensitas dari

resultan puncak-puncak berkas terdifraksi akan dihasilkan suatu pola yang menunjukkan karakteristik dari sampel [9], [33].



Gambar 2. 6 Proses difraksi pada XRD (material characterization) [33]

Hukum Bragg menghubungkan sudut difraksi (2θ) dan d_{hkl}. Pada umumnya dalam difraktometer panjang gelombang sinar-X tetap, sehingga jarak pada bidang-bidang menghasilkan puncak difraksi hanya pada sudut 2θ. d_{hkl} merupakan fungsi geometris ukuran dan bentuk pada sel satuan. d_{hkl} dapat didefinisikan juga sebagai besaran vektor yang diambil dari bidang *hkl* pada sudut 90^o karena d_{hkl} menyatakan jarak antar bidang-bidang yang sejajar pada atom[19]. Struktur kristal bahan dapat ditentukan setelah mengetahui jarak antar bidang kristal kubik berhubungan dengan parameter kisi (a) dengan persamaan sebagai berikut :

$$d_{hkl} = \frac{a^2}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \tag{2.2}$$

Indeks Miller (*hkl*) mewakili bidang-bidang paralel dalam kristal dengan jarak d_{hkl}. Sehinggga Persamaan 2.5 dan 2.6, diperoleh hubungan antara data difraksi dan parameter kristal untuk sistem kristal kubik yaitu [33]:

$$\sin^2\theta = \frac{\lambda^2}{4a^2}\left(h^2 + k^2 + l^2\right) \tag{2.3}$$

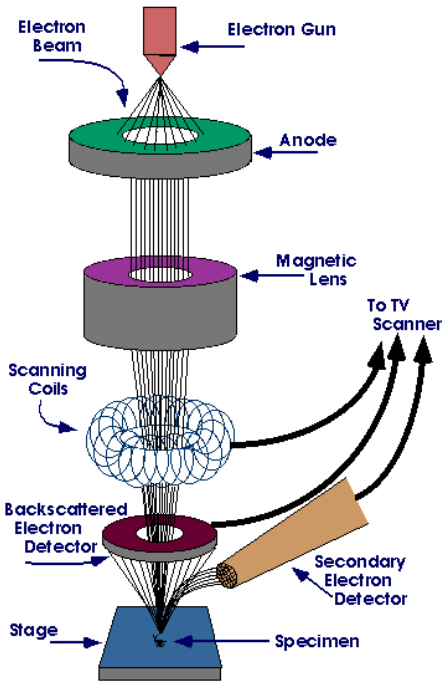
Untuk menghitung ukuran butir kristal yang memiliki arah orientasi sama, dapat menggunakan persamaan *Debye-Scherrer* sebagai berikut:

$$D = \frac{0,94\lambda}{\beta \cos\theta} \tag{2.4}$$

dengan D adalah ukuran butir (nm), λ merupakan panjang gelombang sumber sinar-X (nm), β adalah lebar puncak difraksi pada setengah tinggi puncak maksimum (radian), serta θ adalah sudut difraksi (^{o}) [19].

2.5.2. Karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

SEM merupakan salah satu teknik observasi dan analisis morfologi permukaan sampel. Pada dasarnya prinsip kerja SEM adalah seperti mikroskop, perbedaannya adalah SEM menggunakan berkas elektron sebagai pengganti cahaya untuk membentuk suatu gambaran tiga dimensinya. Suatu berkas elektron diberikan melalui suatu lensa elektromagnetik sehingga mengarah pada suatu sampel. Sampel akan menghamburkan sejumlah elektron (*secondary electron*) yang nantinya akan ditangkap oleh detektor dan mengkonversi dalam suatu layar, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.7 dibawah ini:



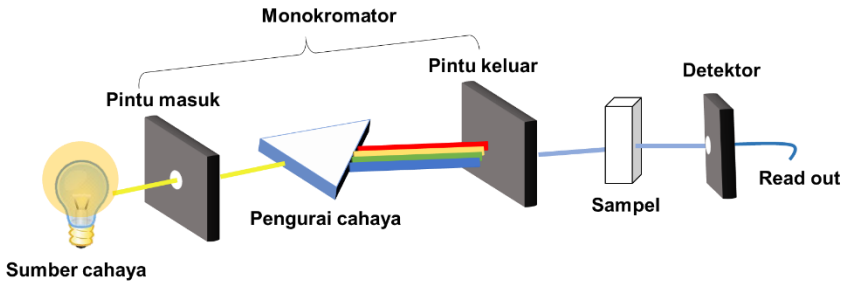
Gambar 2. 7 Skema Scanning Electron Microscopy (SEM) [9]

Data yang diperoleh dari SEM merupakan data hasil interaksi berkas elektron yang ditembakkan dari permukaan sampel pada daerah volum tertentu yang diamati. Katoda dioperasikan pada tegangan 0-30 kV untuk menghasilkan pancaran elektron yang dipercepat menuju anoda. SEM terdiri dari dua sub sistem, yaitu kolom optik elektron dan sistem *display*. Berkas elektron dijatuhkan secara merata pada permukaan sampel dan proses *scanning*-nya diatur oleh *scanning coil*. Kolom optik elektron menghasilkan berkas elektron terfokus melalui lensa menuju permukaan sampel. Sistem menghasilkan berkas elektron terfokus melalui lensa menuju permukaan sampel. Sistem *display* mendeteksi energi yang dipancarkan oleh sampel akibat tembakan berkas elektron. Energi ditangkap oleh detektor dan diteruskan sebagai sinyal video menuju *amplifier* dan diolah menjadi bentuk citra yang dapat ditampilkan dalam layar tabung sinar katoda. Kontras dari citra SEM sebanding dengan laju/fluks pancaran elektron yang terkumpul detektor. Untuk menghasilkan suatu gambar dalam suatu layar, berkas elektron yang diterima oleh detektor diperbesar dan diinterpretasikan dalam bentuk tiga dimensi. Berkas elektron sebesar 1000 titik diteruskan secara horizontal ke sampel secara tegak lurus. Ini memberi 1000.000 titik informasi. Elektron yang datang ditransfer untuk disesuaikan dengan titik pada layar. Karena layar juga mempunyai 1000 titik horizontal dan 1000 bentuk tegak lurus, maka citra atau gambar dapat secara tepat ditampilkan dalam layar [9].

2.5.3. Karakterisasi Spektroskopi UV-VIS

Spektrofotometer UV-VIS merupakan alat untuk mengukur transmitansi dan absorbansi pada daerah ultraviolet dan sinar tampak. Alat ini digunakan untuk mengukur serapan sinar ultraviolet atau sinar tampak oleh suatu materi. Konsentrasi larutan yang dianalisis sebanding dengan jumlah sinar yang diserap oleh zat yang terdapat dalam larutan tersebut. Spektrofotometer akan mengukur intensitas cahaya sebelum melewati sampel (Io). Rasio disebut *transmittance* dan biasanya dinyatakan dalam persentase (%T) sehingga nilai dari absorban (A) dapat dihitung. Rekorder dipergunakan untuk mencatat data hasil pengukuran dari detektor, yang dinyatakan dengan angka. Jika berkas cahaya dilewatkan pada sampel transparan

untuk intensitas yang melewati sampel (I_T) dengan ketebalan (d), koefisien absorbsi (α), dan cahaya yang datang (I_0), maka intensitas cahaya yang ditransmisikan akan semakin berkurang. Susunan rangkaian alat pada spektrometer UV-Vis gambar 2.8 adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 8 Skema susunan alat spektrofotometer UV-Vis [34].

Metode Spektrofotometri UV-Vis berdasarkan pada hukum *Lambert-Beer* dimana intensitas cahaya yang ditransmisikan dapat dirumuskan seperti persamaan berikut:

$$I_T = I_0 e^{-\alpha d} \tag{2.5}$$

dengan I_T adalah intensitas yang melewati sampel, d adalah ketebalan, α adalah koefisien absorbsi dan I_o adalah cahaya yang datang. Nilai transmitansi (T) merupakan perbandingan antara intensitas yang diteruskan dan intensitas cahaya datang, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$T = \frac{I_T}{I_o} \tag{2.6}$$

Maka dapat diperoleh nilai koefisien absorbansi (α) yang merupakan karakteristik dari suatu lapisan tipis pada panjang gelombang tertentu dan fraksi serap pada jarak yang dilewati dari persamaan 2.9 dan persamaan 2.10.

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln\left(\frac{1}{T}\right) \tag{2.7}$$

Semikonduktor dengan celah pita energi langsung memiliki hubungan antara koefisien absorbsi terhadap frekuensi foton yang memenuhi persamaan berikut :

$$\alpha = \mathrm{B}\frac{\sqrt{h\nu - E_g}}{h\nu} \tag{2.8}$$

dengan $h\nu$ merupakan energi foton, Eg merupakan lebar pita energi, dan B merupakan sebuah konstanta [34],[35].

2.5.4. Karakterisasi I-V Meter

Pengukuran kurva I-V merupakan suatu teknik untuk mengetahui sifat listrik suatu material. Karakteristik I-V merupakan hubungan fisis arus dengan tegangan yang menggambarkan unjuk kerja dari suatu divais sel surya. Kurva I-V merupakan superposisi dari sel surya pada keadaan gelap dengan arus yang dibangkitkan oleh cahaya (*light generated current*). Cahaya memberikan efek pada pergeseran kurva I-V yang menunjukkan bahwa sel surya menghasilkan daya [36].

2.6. Sel Surya

Sel surya merupakan salah satu divais yang dapat di fabrikasi dengan material film tipis. Sel surya adalah divais yang mampu mengubah langsung cahaya matahari menjadi listrik dengan proses fotovoltaik. Efek fotovoltaik pertama kali diteliti oleh seorang fisikawan berkebangsaan Perancis yaitu Alexander Edmond Becquerel pada tahun 1839. Kemudian pada tahun 1873, Fisikawan yang bernama William Grylls Adams dan Richard Evans Day berhasil menemukan material Selenium yang dapat menghasilkan listrik ketika dikenai paparan sinar. Efek Fotovoltaik merupakan suatu fenomena munculnya voltase listrik akibat kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat dikenai energi cahaya [37].

Radiasi dari cahaya matahari berperan penting dalam proses terjadi efek fotovoltaik. Cahaya matahari terdiri dari paket-paket energi yang disebut foton yang memiliki tingkat energi tertentu dan panjang gelombang tertentu. Foton yang mengenai permukaan sel surya akan diserap dan menghasilkan energi listrik. Secara sederhana efek fotovoltaik terjadi karena lepasnya elektron sebagai pembawa

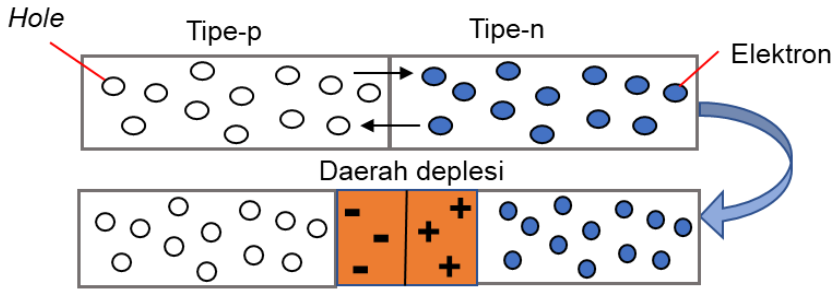
muatan akibat adanya cahaya yang mengenai bahan yang menimbulkan munculnya arus listrik. Sel surya menggunakan material semikonduktor untuk menghasilkan elektron bebas tersebut. Material semikonduktor yang digunakan berupa logam dengan konduktivitas elektriknya ditentukan oleh elektron valensinya dan nilai konduktivitasnya meningkat seiring dengan kenaikan temperatur yang diberikan. Sistem sel fotovoltaik pada dasarnya terdiri dari *p-n junction.* Persambungan p-n berasal dari satu bahan semikonduktor tipe-n dan satu bahan semikonduktor tipe-p. Material semikonduktor adalah suatu material yang mempunyai daya hantar listrik berada di antara konduktor dan isolator yang memiliki *energy gap* sekitar 1 eV. Tahanan jenis semikonduktor sekitar 10^{-3} Ωm sampai 10^{3} Ωm [38]. Ikatan atom yang terjadi pada bahan semikonduktor adalah ikatan kovalen yaitu pemakaian elektron bebas secara bersama. Sebuah bahan semikonduktor dapat bersifat sebagai isolator pada temperatur yang sangat rendah namun pada temperatur ruangan dapat bersifat konduktor yang berarti bahan semikonduktor dapat dikontrol sifat elektriknya.

2.6.1. *P-N Junction*

Semikonduktor tipe-n adalah semikonduktor ekstrinsik yang di doping dengan atom yang memiliki 5 elektron valensi misalnya unsur *Phosporus* (P), dan *Arsenic* (As). Atom yang ditambahkan (dopan) disebut atom donor. Atom donor akan menyumbangkan sebuah elektron valensi sehingga atom donor tersebut menjadi positif yang menyebabkan pembawa muatan mayoritas adalah elektron. Sedangkan semikonduktor tipe-p adalah semikonduktor yang berasal dari unsur dengan 3 elektron valensi misalnya Boron (B) dan Aluminium (Al). Dopan disebut atom akseptor. Atom akseptor akan menerima sebuah elektron valensi sehingga menjadi atom yang lebih negatif yang menyebabkan pembawa muatan mayoritas adalah *hole.* Jika kedua semikonduktor ini disambungkan maka akan membentuk *p-n junction.*

Ketika kedua tipe semikonduktor ini bergabung, akan terjadi difusi atau perpindahan elektron-elektron dari tipe n menuju tipe p dan perpindahan *hole* dari tipe-p menuju tipe-n akibat adanya gaya tarik-menarik (gaya elektrostatik).

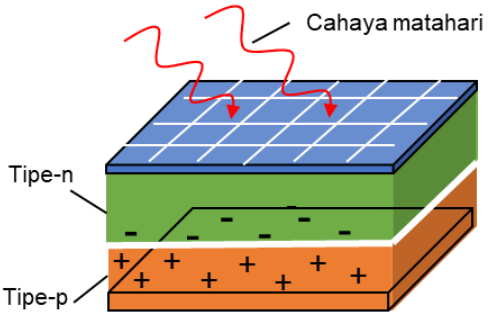
Elektron dari tipe-n yang berpindah ke tipe-p akan mengakibatkan jumlah *hole* pada tipe-p semakin berkurang hingga akhirnya bermuatan positif dan hal yang sama juga terjadi pada *hole* yang berpindah dari tipe-p menuju tipe-n akan mengakibatkan jumlah elektron pada tipe-n semakin berkurang hingga akhirnya bermuatan negatif. Hal ini menyebabkan adanya daerah deplesi yang berperan untuk menghambat proses difusi secara terus-menerus antara elektron-hole. Pada daerah ini akan timbul medan listrik internal (E) karena perbedaan muatan positif dan negatif. Dengan adanya medan listrik maka akan timbul arus listrik yang mengalir pada beban. Medan listrik yang terjadi berlawanan arah dengan elektron. Jika daerah deplesi semakin besar maka medan listrik internal yang terjadi ikut membesar sehingga akan semakin sulit elektron dan *hole* untuk berdifusi seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2. 9.



Gambar 2. 9 Persambungan p-n pada semikonduktor [36]

Pada sel surya, semikonduktor tipe-n berada di posisi atas semikonduktor tipe-p dan dibuat lebih tipis dengan menghadap arah datangnya cahaya matahari. Cahaya matahari yang masuk akan menyebabkan elektron tereksitasi dari semikonduktor tipe-n dan meninggalkan *hole* dan bergerak menuju semikonduktor tipe-p hingga terbentuknya pasangan elektron dan *hole* yang disebabkan cahaya matahari (*elektron-hole photogenerated*). Elektron dapat tereksitasi jika energi dari cahaya matahari lebih besar dibandingkan *energy gap* yang dimiliki bahan semikonduktor tersebut. Cahaya matahari akan menempati bagian dari persambungan p-n sesuai dengan spektrum panjang gelombang tertentu. Spektrum dengan panjang gelombang yang panjang mampu menembus lapisan semikonduktor tipe-p yaitu spektrum merah. Sedangkan spektrum dengan panjang gelombang yang pendek

mampu diserap oleh lapisan semikonduktor tipe-n yaitu spektrum biru. Hingga akhirnya tercipta medan listrik dan munculnya perbedaan potensial pada sambungan p-n yang dapat mengalirkan arus listrik seperti yang terlihat pada gambar 2.10 di bawah ini.

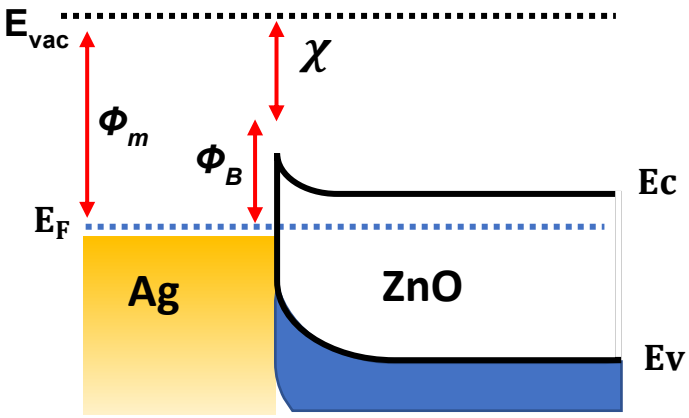


Gambar 2. 10 Skema sel surya

2.6.2. *Metal-Semiconductor Junction*

Pembuatan suatu divais membutuhkan dua atau lebih bahan yang berbeda sifat listriknya (semikonduktor, isolator dan logam) misalnya material logam (konduktor) dengan material semikonduktor yang digabungkan akan membentuk *junction* (persambungan). Persambungan yang ideal adalah persambungan dimana tidak ada cacat yang terbentuk pada *interface* kedua bahan. Fenomena yang terjadi pada persambungan logam-semikonduktor yaitu adanya *Schottky barrier* (penghalang Schottky). *Schottky barrier* dapat diidentifikasi dengan diagram pita energi dan level fermi. Level fermi adalah tingkat energi minimum yang dimiliki oleh elektron pada suhu 0^oK.

Setiap material memiliki fungsi kerja yang berbeda-beda. Fungsi kerja logam (Φ_m) merupakan jumlah energi yang dibutuhkan untuk memindahkan elektron dari level Fermi ke tingkat vakum. Sedangkan fungsi kerja semikonduktor (Φ_n) adalah energi yang diperlukan untuk memindahkan elektron dari pita konduksi ke tingkat vakum. Tingkat vakum adalah tingkat energi dimana energi kinetik yang dimiliki elektron sama dengan nol [39]. Pada gambar 2. 11a menunjukkan diagram pita energi antara logam dan semikonduktor sebelum disambungkan. Fungsi kerja logam lebih besar dibandingkan dengan fungsi kerja semikonduktor.



Gambar 2. 11 Diagram pita energi pada persambungan logam-semikonduktor [40]

Ketika logam-semikonduktor disambungkan level fermi dari logam dan semikonduktor harus sama untuk mencapai kesetimbangan seperti pada gambar 2. 11b. Untuk mencapai level Fermi yang sama, maka posisi pita konduksi semikonduktor akan dekat dengan level Fermi logam. Sehingga elektron yang berada pada pita konduksi semikonduktor akan turun mengisi tingkat energi yang lebih rendah yaitu level Fermi logam sehingga tingkat Fermi semikonduktor menurun. Elektron dari pita konduksi ditinggalkan menjadikan daerah tersebut bermuatan positif akibat kekurangan elektron. Pergerakan elektron ini menyebabkan adanya daerah deplesi akibat perbedaan muatan. Muatan tersebut menyebabkan munculnya penghalang energi antara logam-semikonduktor yang disebut *Schottky barrier* (Φ_B). Besarnya potensial penghalang *Schottky* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\phi_B = \phi_m - \chi = eV_o + \left(E_C - E_F\right) \tag{2.9}$$

Dimana Φ_B = Potensial penghalang *Schottky*, Φ_m = fungsi kerja logam, χ adalah afinitas elektron (celah energi antara pita konduksi E_c dan tingkat vakum) [39–42]