

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Fuel cell*

Fuel cell adalah suatu alat yang mampu secara langsung mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik dan panas, dari reaksi kimia yang terdapat pada bahan bakar dan zat pengoksidasi tanpa memerlukan pembakaran langsung sebagai langkah perantara. Prinsip kerjanya hampir sama dengan prinsip kerja baterai, gas oksidan misalnya (oksigen di udara) dan campuran bahan bakar gas misalnya (bahan bakar hidrokarbon atau hidrogen) dialirkan melewati elektroda untuk menghasilkan reaksi setengah sel pada katoda dan anoda masing-masing, dengan jenis pembawa muatan aktif, melalui ion yang menghantarkan elektrolit. Elektron dilepas ke sirkuit eksternal untuk menghasilkan listrik. *Fuel cell* memberikan efisiensi perubahan energi yang lebih baik daripada pendekatan termo-mekanis konvensional [Shahzad Hossain, 2017].

Fuel cell dikategorikan berdasarkan bahan elektrolitnya. Terdapat beragam jenis bahan elektrolit yang digunakan seperti, *polymer electrolyte membrane* (PEMFC), *molten carbonate fuel cell* (MFC), *solid acid fuel cell* (SAFC), *phosphoric acid fuel cell* (PAFC), *alkaline fuel cell* (AFC), dan *solid oxide fuel cell* (SOFC) [Shahzad Hossain, 2017]. Selain berdasarkan bahan elektrolitnya, setiap jenis *fuel cell* ini memiliki karakteristik yang berbeda dan juga temperature operasinya yang berbeda. Pada **Tabel 2.1** memperlihatkan perbedaan dari setiap jenis *fuel cell* yang ada.

Tabel 2.1 Klasifikasi *fuel cell* [Suhada, 2001].

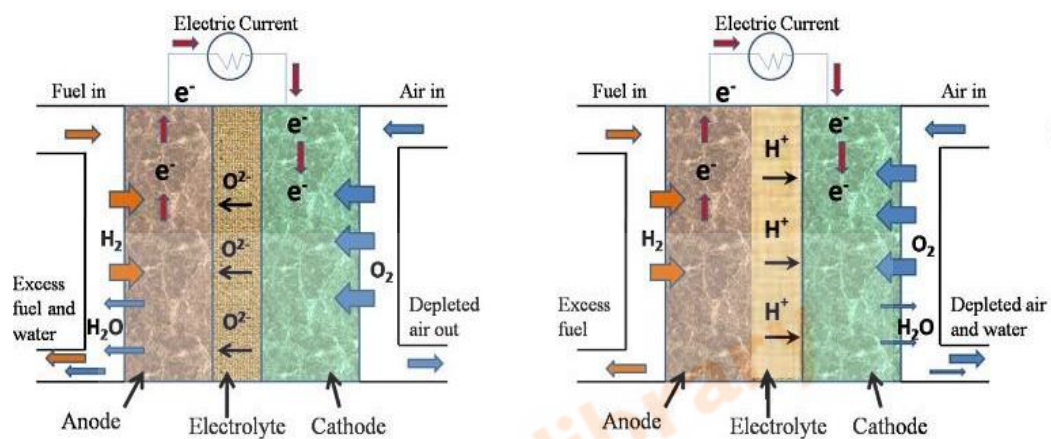
Jenis	Elektrolit	Katalis	Temperatur Operasi (°C)	Karakteristik
Alkaline Fuel Cell (AFC)	KoH	Platinum	60-120	Efisiensi energi tinggi
Phosphorie Acid Fuel Cell (PAFC)	Phosphorie Acid (H ²)	Platinum	160-200	Efisiensi energi terbatas, peka terhadap CO ₂ (<1,5% Vol)
Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)	Lapisan Keramik (O ²)	Electrode Material	800-1000	Efisiensi sistem tinggi, temperatur operasi perlu direduksi
Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)	Lapisan Keramik (O ²)	Electrode Material	800-1000	Efisiensi sistem tinggi, temperatur operasi perlu direduksi
Polymer electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC)	Polymer Electrolyte (H ⁺)	Platinum	60-100	Kerapatan energi tinggi, memiliki kepekaan terhadap CO (<100ppm)
Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)	Electrolyte Polymen (H ⁺)	Platinum	60-120	Efisiensi sistem tinggi, peka terhadap hasil oksidasi di anoda

2.2 *Solid oxide fuell cell* (SOFC)

Solid oxide fuel cell (SOFC) adalah perangkat konversi energi elektrokimia yang mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik dengan efisiensi >70% dengan regenerasi bahan bakar. *Solid oxide fuel cell* menghasilkan listrik yang berguna oleh reaksi bahan bakar dengan oksidan yang berdifusi melalui lapisan elektrolit padat sebagai penghantar ion [Mahato, N, 2015]. Berdasarkan bahan elektrolitnya, dalam hal ini SOFC menggunakan bahan keramik atau oksida

padat sebagai bahan elektrolitnya, dimana dengan lewatnya ion oksigen melalui kisi kristal akan menimbulkan aliran arus [Shahzad, Hossain, 2017].

Bagian *solid oxide fuel cell* (SOFC) terdiri dari lapisan elektrolit padat yang diapit oleh katoda dan anoda sebagai elektroda berpori, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Diagram skematik dari *solid oxide fuel cell* [Mahato, N, 2015].

Pada diagram skematik di atas ditunjukkan (a) SOFC dengan ion oksida beracun atau gambar (b) SOFC dengan konduksi proton melalui elektrolit. Elektron yang dihasilkan dari proses oksidasi bahan bakar di anoda, dialirkan ke elektroda melalui elektrolit padat untuk direduksi oksigen. Listrik dengan begitu dapat dihasilkan oleh aliran elektron melalui elektrolit padat dalam sirkuit eksternal yaitu dari anoda ke katoda [Mahato, N, 2015].

2.3 Komponen utama *solid oxide fuel cell* (SOFC)

Berdasarkan skematik **Gambar 2.1**, SOFC memiliki bagian-bagian penting dalam memaksimalkan kinerjanya, diantaranya ialah: anoda, katoda, dan elektrolit. Tiga bagian tersebut harus memiliki karakteristik yang baik untuk dapat diterapkan pada SOFC, [Abdalla, M, 2018].

- Anoda: Anoda adalah tempat terjadinya reaksi oksidasi bahan bakar, dan mengkatalisasi reaksi bahan bakar dengan oksigen. Bagian anoda harus

memiliki karakteristik seperti, harus sangat ionik, konduktif, kompatibel secara kimia, sifat termal yang stabil, struktur mikronya sangat berpori, dan struktur ukuran partikelnya yang terorganisir.

- Katoda: Katoda adalah bagian yang kontak dengan elektrolit dan terkena udara atau oksigen dan sebagai pembawa elektron dari sirkuit eksternal ke lokasi pemberian ion dan sebagai pembawa ion oksigen ke antarmuka elektrolit. Untuk bahan yang digunakan sebagai katoda harus memiliki karakteristik seperti, sangat konduktor, kompatibel secara kimia, stabil secara termal, struktur mikro dengan porositas yang tinggi, dan sifat katalitik yang baik.
- Elektrolit: Elektrolit adalah bagian yang terlewati ion oksida yang nantinya bereaksi dengan bahan bakar yang berdifusi ke sisi anoda pada antarmuka anoda dan elektrolit. Peran elektrolit sangatlah penting, karenanya elektrolit harus memiliki karakteristik seperti, konduktivitas ionic yang tinggi, kompatibel secara kimia, dan secara mekanis harus kompatibel dengan komponen sel lainnya, dan harus sangat padat dan tipis untuk meminimalisir resistensi sel internal selama berlangsung reaksi elektrokimia.

2.4 *Calcia stabilized zircon (CSZ)*

Pada penerapan *solid oxide fuel cell*, bahan yang banyak dipelajari untuk digunakan sebagai elektrolit padat adalah zirkonia pada fasa kubik. Zirkonia memiliki beberapa struktur kristal yang terjadi pada rentan temperatur yang berbeda diantaranya, monoklinik, kubik, tetragonal. Monoklinik, fasa ini terjadi pada temperatur 1150°C. Kubik, fasa ini terjadi pada temperatur 2370°C, dan tetragonal terjadi pada intermediet struktur monoklinik dan kubik antara temperatur (1170-2370°C).

Fasa kubik merupakan fasa yang paling stabil yang mampu mengalirkan ion-ion oksigen. Untuk mencapai fasa kubik yang stabil pada zirkonia pada temperatur yang lebih rendah, diperlukan penambahan oksida. *Calcia* (CaO)

merupakan oksida yang menjadi kandidat sebagai bahan penstabil zirkonia, membentuk *calcia stabilized zircon* (CSZ).

2.5 Sintesis metode kimia basah

Sintesis dengan metode kimia basah adalah metode sintesis yang dapat dilakukan pada temperatur rendah. Metode sintesis yang tergolong dalam metode kimiawi basah adalah sol-gel dan presipitasi. [Ramahdita G, 2011]

2.5.1. Sol-gel

Sol-gel merupakan salah satu metode sintesis yang tergolong kedalam *wet method* atau kimia basah, karena pada prosesnya melibatkan larutan sebagai medianya dan merupakan metode yang sering digunakan dalam mempreparasi material dengan ukuran nano. Sesuai dengan namanya sol-gel, sol adalah suspensi koloid yang fasa terdispersinya berbentuk padatan dan fasa pendispersinya berbentuk cairan. Gel (*gelation*) adalah partikel atau molekul, baik padatan dan cairan dimana polimer yang terjadi di dalam larutan diunakan sebagai tempat pertumbuhan zat anorganik. Reaksi yang terjadi adalah kondensasi yang menghasilkan oxygen bridge untuk mendapatkan logam oksida [Sherly, K., 2016].

Tujuan dari metode sintesis ini dikhususkan agar suatu material keramik dapat memiliki fungsional yang khusus seperti, elektrik, optic, dan magnetic. Produk akhir dari hasil sintesis dengan metode sol-gel ini bisa berupa *powder*, *film*, *aerogel* atau serat, tetapi cocok untuk preparasi *thin film* dan material serbuk. Metode sol-gel juga memiliki kelebihan diantaranya:

- Kehomogenan komposisi kimia baik
- Temperatur proses yang rendah
- Biaya yang murah

2.5.2. Presipitasi

Presipitasi secara bahasa artinya adalah pengendapan, reaksi pengendapan adalah suatu jenis reaksi yang dapat berlangsung dalam cairan, misalnya air. Suatu reaksi dapat dikatakan reaksi pengendapan apabila reaksi tersebut menghasilkan endapan. Presipitasi biasanya terjadi ketika konsentrasi ion yang larut telah mencapai batas kelarutan, reaksi tersebut dapat dipercepat dengan mengurangi pelarutnya. Reaksi presipitasi yang cepat akan menghasilkan residu mikrokristalin dan proses yang lambat akan menghasilkan kristal tunggal. Senyawa senyawa yang sering digunakan dalam reaksi pengendapan yaitu senyawa-senyawa ionik.

Sebagai contoh reaksi yang menghasilkan pengendapan adalah, antara larutan timbal nitrat $[Pb(NO_3)_2]$ yang ditambahkan ke dalam larutan natrium iodide (NaI) akan menghasilkan endapan timbal iodide (PbI_2) yang berwarna kuning. Reaksi yang terjadi adalah:



Terbentuknya endapan atau tidak dalam suatu reaksi, tergantung pada kelarutan dari zat terlarut, yaitu jumlah maksimum zat terlarut yang akan larut dalam sejumlah tertentu pelarut pada suhu tertentu. Dalam padatan, pengendapan terjadi jika konsentrasi salah satu padatan berada di atas batas kelarutan. Pengendapan padatan sering digunakan untuk mensintesis *nanoclusters*. Tahapan penting dalam proses presipitasi adalah nukleasi, pembentukan padatan yang memerlukan beberapa energi didasarkan energi permukaan relatif padatan atau larutan yang jika tidak, akan terjadi kejenuhan.

Pada bidang nanoteknologi, presipitasi sering digunakan karena produk hasil reaksinya akan mengandung nanopartikel atau nanokomposit. Metode ini juga menawarkan kelebihan antara lain:

- Temperatur sintesis rendah.
- Proses yang sederhana.
- Mudah dalam mengontrol setiap tahapan proses.

2.6 X-ray diffraction (XRD)

XRD merupakan metode karakterisasi yang memanfaatkan sinar X yang ditembakkan kepada material yang menghasilkan spektrum difraksi sinar-X untuk menganalisa struktur kristal, ukuran kristal dari suatu material dengan cara menentukan parameter kisi. Data berupa grafik peak intensitas, hasil dari rekaman spectrum difraksi sinar-X yang dideteksi oleh detektor akan membentuk suatu pola yang nantinya dianalisa dengan mencocokkan antara pola difraksi sinar-X dari sampel yang tidak diketahui dengan sampel yang sudah diketahui hingga sampel yang tidak diketahui tersebut dapat teridentifikasi.

Dasar dalam menggunakan dan menganalisa hasil XRD adalah menggunakan hukum Bragg [Ismunandar, 2006], berikut:

$$2d \cdot \sin\theta = \lambda$$

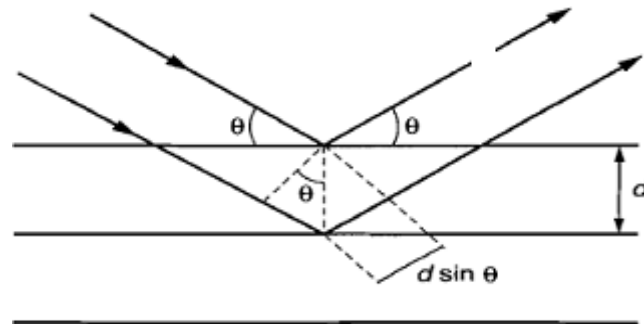
Dimana:

d = jarak antara dua bidang kisi (nm)

θ = sudut antara sinar datang dengan bidang normal

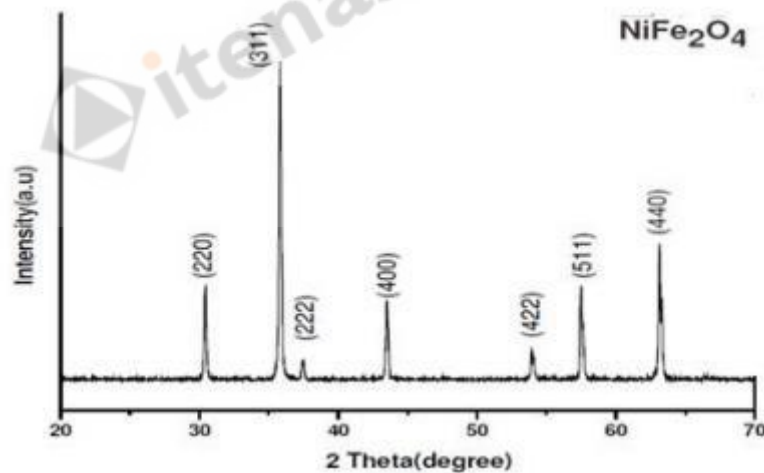
λ = panjang gelombang sinar-X yang digunakan (nm)

Berdasarkan persamaan tersebut, jika sinar-X ditembakkan pada sampel atau material yang memiliki struktur kristal, maka bidang kristal tersebut akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang yang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.2** proses pembentukan puncak pada XRD.



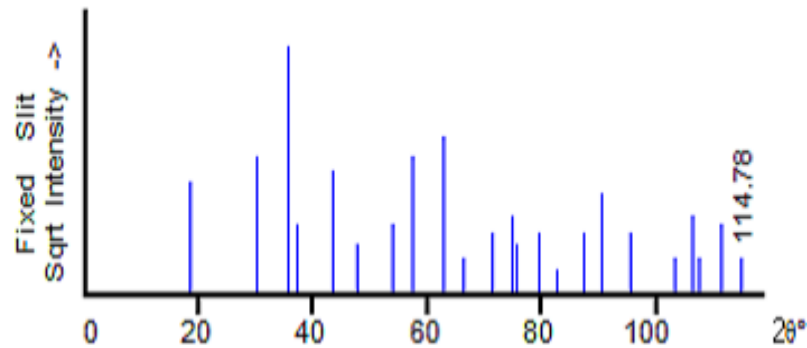
Gambar 2.2 Proses pembentukan puncak pada XRD [Ardiansyah, 2011].

Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor, yang kemudian diterjemahkan sebagai puncak difraksi. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu puncak bidang kristal yang memiliki orientasi tiga dimensi. Seperti pada **Gambar 2.3** contoh difraktogram sinar-X NiFe_2O_4 yang dipreparasi menggunakan metode EDTA *assisted hydrothermally*. Serta pada **Gambar 2.4** adalah pola difraksi sinar-X standar dari NiFe_2O_4 .



Gambar 2.3 Difraktogram nanokristal NiFe_2O_4 [Kasapoglu, 2007].

Pola difraksi sinar-X diatas diinterpretasi dengan mencocokkannya dengan pola difraksi sinar-X standar. Pencocokan dilakukan dengan melihat puncak-puncak yang mewakili NiFe_2O_4 yang terjadi pada difraktogram.

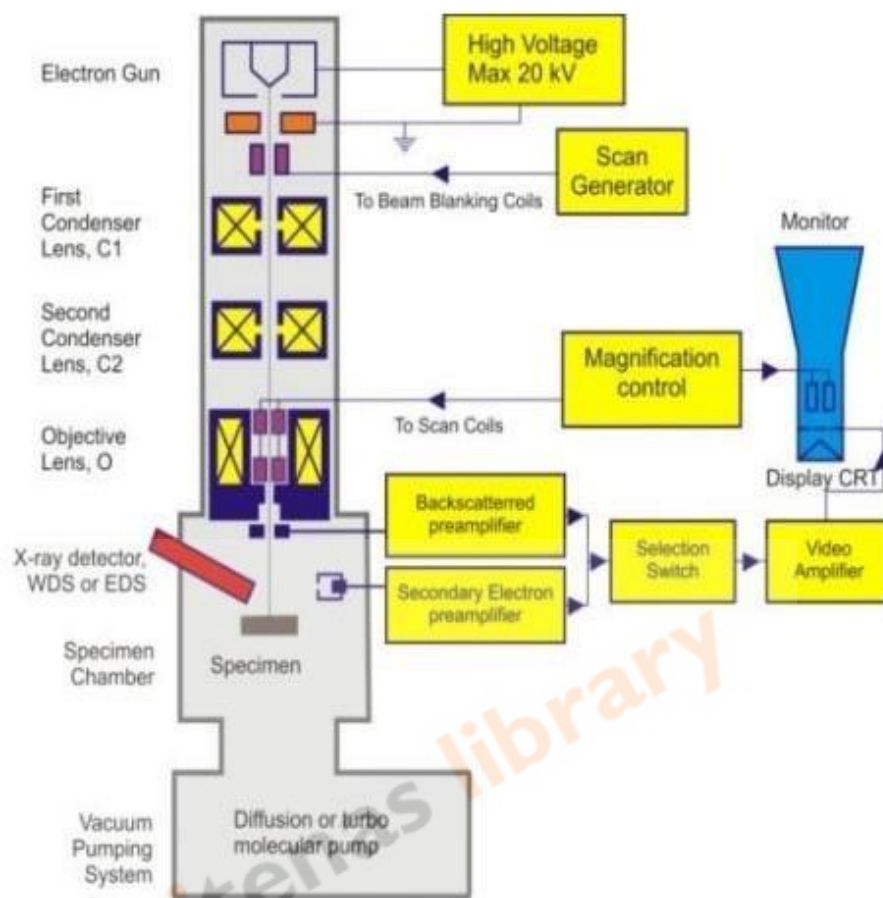


Gambar 2.4 Pola difraktogram standar NiFe₂O₄ [PCPDFwin, 1997].

2.7 Scanning electron microscopy (SEM)

SEM merupakan metode identifikasi dalam karakterisasi yang mampu memberikan resolusi yang tinggi untuk dapat mengamati apa yang terjadi di dalam dan di sekitar *interface* antara bahan dengan lapisan oksida secara detil. *Scanning electron microscopy* menggunakan electron yang menggambarkan sampel dengan memindai seberkas elektron dalam pola scan raster. Pada proses identifikasi menggunakan SEM, tidak hanya sekedar pengambilan gambar dan fotografi, tetapi perlu dilakukan dengan teknik dan metode operasi yang benar karena pembentukan image pada alat ini merupakan interaksi korpuskular antara elektron sumber dengan atom pada bahan yang menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang topografi permukaan sampel, komposisi dan sifat-sifat lainnya seperti konduktivitas listrik. Pada penggunaan SEM pada obyek pengamatan yang berukuran kecil dan mengandung komponen non konduktif, akan memberikan kontras yang relative rendah terlebih pada pembesaran yang tinggi, karena itu perlu pengaturan parameter seperti, *high voltage*, *spot size*, *bias*, dan *beam current* serta parameter optiknya seperti, kontras, focus dan *astigmatismus* yang tepat untuk memberikan gambar yang optimal secara ilmiah.

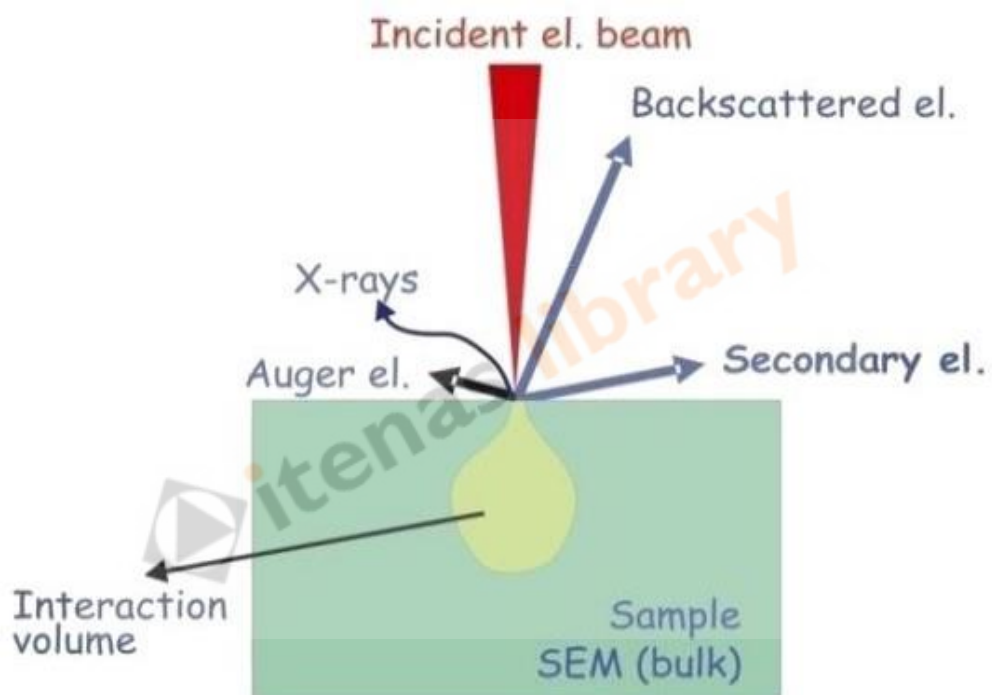
Pada **Gambar 2.5** menunjukkan skema diagram standar SEM JSM-6510LA dengan tambahan perangkat analisis komposisi kimia berupa detektor sinar X.



Gambar 2.5 Blok diagram SEM [Sujatno Agus, 2015].

Komponen utama pada alat SEM ini terdiri dari, 3 pasang lensa elektromagnetik, sumber elektron, dan *imaging detector*. Lensa elektromagnetik, berfungsi memfokuskan berkas electron menjadi sebuah titik kecil. 2 pasang scan koil discan-kan dengan frekuensi variabel pada permukaan sampel. Sumber electron, berupa filament dari bahan kawat tungsten atau berupa jarum dari paduan lanthanum hexaboride atau cerium hexaboride, sebagai penyedia berkas electron yang teoritis memiliki energi tunggal (monokromatik). *Imaging detector*, berfungsi sebagai pengubah sinyal electron menjadi gambar. Detektor dalam SEM ada dua jenis sesuai dengan jenis elektronnya yaitu, detektor *secondary electron* (SE) dan detektor *backscattered electrons* (BSE).

Interaksi bahan dengan elektron terjadi saat berkas electron discan ke permukaan sampel. Pada **Gambar 2.6** menunjukkan interaksi electron dengan sampel yang menyebabkan sebagian berkas electron keluar kembali, yang disebut dengan *backscattered electrons* (BSE), sedangkan sebagian kecil elektron masuk ke dalam sampel bahan yang kemudian memindahkan sebagian besar energi pada electron atom sehingga keluar permukaan bahan atau sampel, disebut dengan *secondary electrons* (SE).



Gambar 2.6 Skema interaksi antara bahan dan elektron [Sujatno Agus, 2015].