

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sifat Kelistrikan

Ketika mendengar listrik, sering ditemukan istilah yang erat kaitannya dengan listrik, seperti arus, tegangan, hambatan, dan juga daya listrik. Arus merupakan aliran muatan listrik yang menunjukkan seberapa banyak muatan listrik yang berpindah per satuan waktu. Arus di lambangkan dengan I dengan satuan Ampere (A). Tegangan atau beda potensial merupakan perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik yang mengakibatkan muatan listrik dapat berpindah dari suatu titik menuju titik yang lainnya, ketika tidak ada perbedaan potensial sehingga arus pada rangkaian tersebut bernilai nol. Tegangan di lambangkan dengan V dengan satuan Volt (V). Hambatan merupakan resistansi di antara dua titik dalam rangkaian listrik. Semakin besar nilai hambatan maka arus listrik sukar mengalir, ditandai dengan besar arus yang semakin kecil. Hambatan dilambangkan dengan R dengan satuan Ohm (Ω). Besarnya arus yang berpindah berbanding lurus dengan besarnya tegangan, tetapi berbanding terbalik dengan besarnya hambatan, hal ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.1)$$

$$V = I * R \quad (2.2)$$

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.3)$$

Dengan I merupakan kuat arus dengan satuan Ampere (A), V merupakan tegangan dengan satuan Volt (V), dan R merupakan hambatan dengan satuan Ohm (Ω). Pada saat arus listrik yang mengalir pada sebuah hambatan, maka temperatur hambatan tersebut akan meningkat. Hal ini menunjukkan perubahan energi listrik menjadi energi panas. Daya merupakan energi yang diperlukan untuk memindahkan muatan listrik dalam satuan waktu, dimana jika terdapat muatan yang melewati suatu hambatan akan terjadi penurunan potensial listrik. Daya dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$P = V * I \quad (2.4)$$

Dengan P merupakan daya listrik dengan satuan Watt (W), I merupakan kuat arus dengan satuan Ampere (A), dan V merupakan tegangan dengan satuan Volt (V) (Serway dan Jewett, 2014).

2.2 Rangkaian Listrik

Pada rangkaian listrik, rangkaian dapat berupa rangkaian seri, rangkaian paralel, dan rangkaian seri paralel. Setiap dari rangkaian tersebut memiliki keuntungannya masing-masing. Pada rangkaian seri, yang ditunjukkan pada Gambar 2.1, seluruh elemen elektronika disusun segaris. Rangkaian seri, jika ditinjau pada sisi kuat arus, beda potensial, dan hambatan, dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$I = I_1 = I_2 \quad (2.5)$$

$$V = V_1 + V_2 \quad (2.6)$$

$$R = R_1 + R_2 \quad (2.7)$$

Dengan I merupakan kuat arus dengan satuan Ampere (A), V merupakan tegangan dengan satuan Volt (V), dan R merupakan hambatan dengan satuan Ohm (Ω). Dengan menggunakan rangkaian seri, maka kuat arus di dalam rangkaian tersebut sama, namun beda potensial yang terdapat pada rangkaian tersebut lebih besar, karena beda potensial di akhir merupakan penjumlahan dari seluruh beda potensial yang ada di rangkaian tersebut.

Rangkaian paralel, yang ditunjukkan pada Gambar 2.2, meletakkan elemen elektroniknya secara paralel ke bawah. Rangkaian paralel, jika ditinjau pada sisi kuat arus, beda potensial, dan hambatan, dapat dirumuskan sebagai berikut.

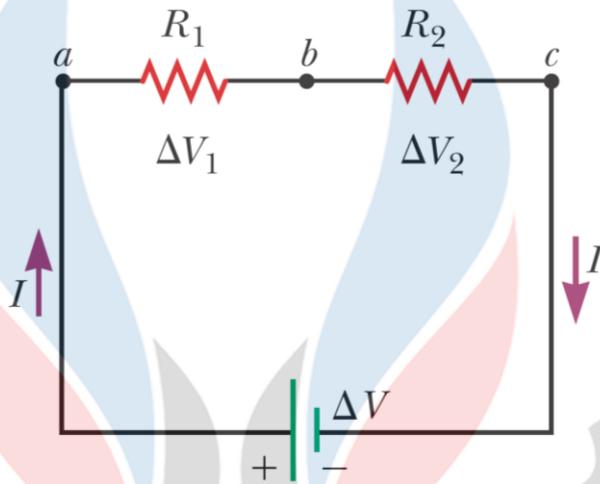
$$I = I_1 + I_2 \quad (2.8)$$

$$V = V_1 = V_2 \quad (2.9)$$

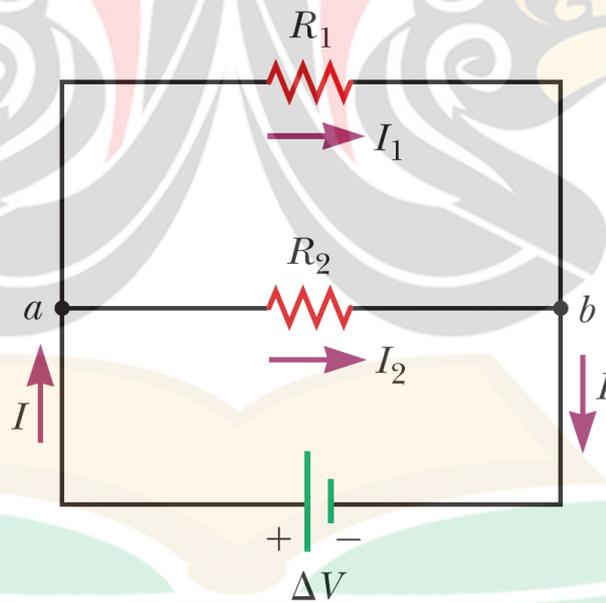
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (2.10)$$

Dengan I merupakan kuat arus dengan satuan Ampere (A), V merupakan tegangan dengan satuan Volt (V), dan R merupakan hambatan dengan satuan Ohm (Ω). Dengan menggunakan rangkaian paralel, maka kuat beda potensial di dalam

rangkaian tersebut sama, namun kuat yang terdapat pada rangkaian tersebut lebih besar, karena kuat di akhir merupakan penjumlahan dari seluruh kuat yang ada di rangkaian tersebut (Serway dan Jewett, 2014). Pada penelitian ini akan menggunakan rangkaian berjenis seri untuk meningkatkan kapasitas rangkaian Bio-Baterai.



Gambar 2.1 Rangkaian Seri (Serway dan Jewett, 2014)



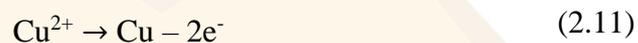
Gambar 2.2 Rangkaian Paralel (Serway dan Jewett, 2014)

2.3 Elektrokimia

Elektrokimia merupakan suatu bidang ilmu yang mendalami tentang perpindahan elektron yang terjadi pada elektroda. Elektroda dapat mengalami penambahan elektron, yang disebut sebagai reduksi, dan elektroda mengalami

pelepasan elektron, yang disebut sebagai oksidasi. Elektroda yang melakukan proses reduksi dikenal dengan sebutan katoda, dan elektroda yang melakukan proses oksidasi dikenal dengan sebutan anoda. Katoda dan anoda berperan sebagai tempat terjadinya proses reduksi-oksidasi, tentu proses ini dilakukan dengan suatu media penghantar yang dikenal dengan sebutan elektrolit. Proses elektrokimia memerlukan media sebagai tempat terjadinya perpindahan elektron yang disebut sebagai larutan elektrolit. Larutan elektrolit dapat berupa larutan elektrolit kuat, larutan elektrolit lemah, dan larutan non elektrolit. Larutan elektrolit kuat merupakan larutan yang terdapat ion-ion terlarut sehingga dapat menghantarkan listrik dengan baik. Larutan elektrolit lemah merupakan larutan yang juga mengandung ion-ion namun hanya terionisasi sebagian, sehingga listrik yang dapat dihantarkan tidak sebaik larutan elektrolit kuat. Larutan non elektrolit merupakan larutan yang tidak dapat menghantarkan energi listrik. Adapun contoh dari larutan elektrolit kuat seperti larutan asam klorida (HCl), sedangkan larutan elektrolit lemah dapat diwakili oleh hidrogen sulfida (H₂S) (Harahap, 2016).

Reaksi reduksi-oksidasi, atau yang dikenal dengan sebutan redoks, merupakan proses perpindahan elektron yang terjadi secara kimiawi. Redoks merupakan reaksi yang berlangsung pada proses elektrokimia. Reduksi merupakan perubahan kimia dimana suatu atom mengalami penambahan elektron, dan oksidasi merupakan perubahan kimia dimana suatu atom melakukan pelepasan elektron. Redoks berlangsung secara bersamaan, dan jumlah elektron yang diterima oleh katoda sama dengan jumlah elektron yang dilepaskan oleh anoda. Contoh dari reaksi redoks dapat dilihat pada persamaan 2.11 dan 2.12 (Revie dan Uhlig, 2008).



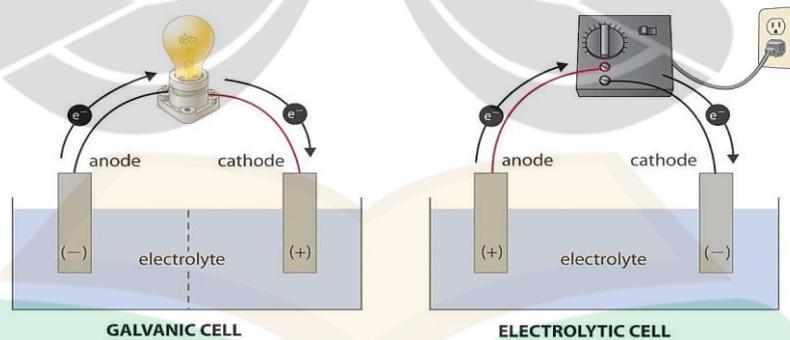
Sel elektrokimia terdiri dari 2 jenis, yaitu sel volta dan sel elektrolisis. Kedua jenis sel elektrokimia tersebut sama-sama mengalami proses kimia, namun terdapat perbedaan yang memisahkan kedua sel tersebut. Sel volta, atau juga dapat disebut sebagai sel galvanis, merupakan sel elektrokimia yang memperoleh energi listrik dari terjadinya reaksi kimia. Pada sel volta, digunakan katoda sebagai kutub positif, dan anoda sebagai kutub negatif. Katoda dan anoda tersebut akan dicelupkan ke dalam larutan elektrolit. Elektroda yang akan digunakan mengikuti

kaidah deret volta, dimana logam tersebut disusun berdasarkan daya oksidasi dan reduksinya. Gambar 2.3 menunjukkan deret volta.

Deret Volta:																	
K	Ba	Ca	Na	Mg	Al	Mn	Zn	Fe	Ni	Sn	Pb	H	Cu	Hg	Ag	Pt	Au
← mudah mengalami oksidasi (reduktor)											→ mudah mengalami reduksi (oksidator)						

Gambar 2.3 Deret Volta (Harahap, 2016)

Sel elektrolisis merupakan sel elektrokimia yang menggunakan sumber energi listrik untuk mengubah reaksi kimia. Sel elektrolisis menggunakan katoda yang memiliki muatan negatif dan anoda yang memiliki muatan positif. Energi listrik dialirkan dari kutub negatif sumber energi listrik menuju katoda. Larutan elektrolit yang digunakan akan mengalami ionisasi, dimana kation di katoda akan mengalami reduksi, dan anion di anoda akan mengalami oksidasi (Harahap, 2016). Adapun skema sederhana dari sel volta dan sel elektrolisis terlampir pada Gambar 2.4. Pada penelitian ini akan menggunakan prinsip sel volta, dimana dilakukan penelitian dengan harapan memperoleh daya listrik dari bio-baterai yang dibuat menggunakan limbah bubuk kopi.



Gambar 2.4 Proses Sel Volta dan Sel Elektrolisis (Harahap, 2016)

2.4 Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen elektronik yang umum ditemui pada kegiatan sehari-hari. Menurut penelitian dari Thowil Afif dan Ayu Putri Pratiwi pada tahun 2015, baterai merupakan sebuah sel listrik yang mengalami

proses elektrokimia yang *reversible* atau dapat berkebalikan dengan efisiensi yang tinggi. Proses elektrokimia yang dapat berkebalikan berarti baterai tersebut dapat mengalami perubahan dari energi kimia menjadi energi listrik pada saat dipakai, dan mengalami perubahan dari energi listrik menjadi energi kimia pada saat di cas. Baterai terbagi menjadi dua jenis berdasarkan prosesnya, yaitu *primary battery* dan *secondary battery*. *Primary battery* merupakan baterai yang hanya dapat digunakan sekali kemudian dibuang. *Secondary battery* merupakan baterai yang dapat digunakan berulang kali. Baterai mengandung bahan yang tidak ramah lingkungan, dengan harga yang mahal, dan juga mengandung logam berat. Seiring kemajuan zaman, maka teknologi semakin berkembang. Hal ini mengakibatkan meningkatnya penggunaan baterai pada barang-barang elektronik. Ketika baterai tersebut sudah habis daya listriknya atau sudah termakan usia, maka baterai tersebut akan dibuang begitu saja. Hal inilah yang menyebabkan pencemaran lingkungan semakin meningkat (Yeşiltepe dan Şeşen, 2020).

Limbah baterai dianggap sebagai limbah berbahaya karena elektrolit yang digunakan di dalam baterai. Oleh karena itu, perlu dilakukan solusi yang ramah lingkungan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Menurut Luna-Lama dkk., pada tahun 2019, telah banyak penelitian yang dilakukan untuk memanfaatkan bahan organik sebagai penyusun baterai. Penelitian menggunakan karbon yang berasal dari buah Cherry, Zaitun, limbah Apel, Ubi jalar, Jamur, Ganggang mekar, minyak kelapa, dan sekam padi. Selain contoh tersebut di atas, banyak contoh lainnya yang memanfaatkan limbah organik, seperti Zhu dkk., pada tahun 2014 menggunakan gula, Erviana dkk., tahun 2020 yang menggunakan onggok singkong, dan Tsai dkk., pada tahun 2019 yang menggunakan limbah bubuk kopi. Penelitian mengenai penggunaan kopi sebagai bahan dasar penyusun bio-baterai telah banyak dilakukan, seperti Luna-Lama dkk. yang memanfaatkan limbah bubuk kopi sebagai pengganti anoda untuk baterai lithium-ion, dan Krikstolaityte dkk., pada tahun 2018 yang memanfaatkan limbah bubuk kopi sebagai pengganti katoda pada *vanadium redox flow battery*. Baterai memiliki kemampuan ketika dilewati arus listrik dalam waktu tertentu, yang disebut dengan kapasitas baterai. Kapasitas baterai merupakan kemampuan baterai yang dinyatakan dalam *Ampere Hour* (Ah). Kapasitas dari suatu baterai dapat dirumuskan sebagai berikut

$$C = I * t \quad (2.13)$$

Dengan C merupakan kapasitas baterai dengan satuan *Ampere Hour* (Ah), I merupakan kuat arus dengan satuan Ampere (A), dan t merupakan performa baterai yang diukur dengan satuan jam (h). Kapasitas baterai (C) juga memiliki turunan dengan satuan *Mili Ampere Hour* (mAh), dengan arus menggunakan satuan Mili Ampere (mA) (Susanti dkk., 2019).

2.5 Kopi

Kopi merupakan minuman berkafein yang umum digemari oleh masyarakat, yang berupa biji dengan bentuk, warna, dan ukuran yang bervariasi. Kopi tersusun dari beberapa komponen kimia yang menghasilkan keragaman struktur. Komposisi kimia kopi tergantung dari jenisnya, kopi berjenis *arabica* memiliki kadar lipid dan sukrosa yang lebih tinggi dari kopi berjenis *canephora*. Kopi berjenis *robusta* memiliki kadar polisakarida, kafein, dan *chlorogenic acids* yang lebih tinggi (Sofia dkk., 2020). Tabel 2.1 menunjukkan komposisi dari kopi berjenis *robusta*.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Kopi berjenis Robusta*

Komposisi Kimia	Persentase (%)
<i>Polysaccharides</i>	56,4
<i>Sucrose</i>	4,0
<i>Reducing sugars</i>	0,4
<i>Protein</i>	9,5
<i>Amino acids</i>	0,8
<i>Caffeine</i>	2,2
<i>Trigonelline</i>	0,7
<i>Lipids</i>	10
<i>Aliphatic acids</i>	1,2
<i>Chlorogenic acids</i>	10,4
<i>Minerals</i>	4,4
<i>Aromatic compounds</i>	<i>Trace</i>

*(Sofia dkk., 2020)

Berdasarkan data dari *International Coffee Organization* (ICO) pada tahun 2021, diperkirakan sebanyak 166,4 juta bungkus kopi dikonsumsi pada periode tahun 2020/2021. Penelitian yang dilakukan oleh Luna-Lama dkk., di tahun 2019 menyebutkan bahwa 10% dari jumlah kopi yang dikonsumsi diolah menjadi minuman, sedangkan 90% sisanya hanya menjadi limbah bubuk kopi yang terbuang percuma. Seiring dengan meningkatnya konsumsi kopi maka semakin banyak

limbah padat yang dihasilkan dari kopi. Tentu limbah bubuk kopi dapat dimanfaatkan kembali menjadi hal yang lebih berguna. Penelitian mengenai limbah bubuk kopi telah menarik perhatian peneliti dan industri yang ingin memanfaatkan kembali limbah bubuk kopi sebagai sumber yang dapat diperbaharui untuk memproduksi zat kimia sebagai pengganti produk berbasis bahan bakar fosil. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Dattatraya Saratale dkk., pada tahun 2020, limbah bubuk kopi dapat diolah kembali menjadi berbagai macam produk, seperti bio-diesel, kompos, bio-absorben, serta bio-baterai.

Tabel 2.2 Jumlah Kopi yang dikonsumsi dalam Juta Bungkus Kopi*

	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21
World	161,377	168,8492	164,202	166,346
Africa	11,087	12,017	12,024	12,242
Asia & Oceania	34,903	36,472	36,002	36,503
Central America & Mexico	5,273	5,431	5,327	5,364
Europe	53,251	55,637	53,372	54,065
North America	29,941	31,779	30,508	30,993
South America	26,922	27,156	26,898	27,180

*(ICO, 2021)

Limbah bubuk kopi sendiri mulai diaplikasikan dan diuji coba sebagai material pengganti penyusun baterai yang ramah lingkungan. Pengaplikasian limbah bubuk kopi pada baterai tidak hanya terbatas pada elektrolit, namun juga dapat diaplikasikan pada elektroda bio-baterai tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh Luna-Lama dkk., pada tahun 2019 memanfaatkan limbah bubuk kopi sebagai pengganti anoda untuk baterai lithium-ion, didapatkan hasil bahwa limbah bubuk kopi dapat menjadi calon yang menjanjikan dalam pengembangan baterai lithium-ion. Penelitian tentang pemanfaatan limbah bubuk kopi sebagai anoda juga dilakukan oleh Tsai dkk., pada tahun 2019 yang memanfaatkan limbah bubuk kopi sebagai material penyusun anoda untuk baterai lithium/natrium-ion, didapatkan hasil bahwa penggunaan limbah bubuk kopi sebagai anoda dan carbon yang telah dimodifikasi oleh nitrogen memiliki kemampuan elektrokimia yang baik sebagai alat penyimpanan energi. Penelitian oleh Krikstolaityte dkk., pada tahun 2018 yang memanfaatkan limbah bubuk kopi sebagai pengganti katoda pada *vanadium redox flow battery*. Dari penelitian yang dilakukan, didapatkan hasil bahwa limbah bubuk

kopi yang telah diolah dapat dijadikan sebagai pengganti katoda dengan sifat konduktivitas yang cukup baik.

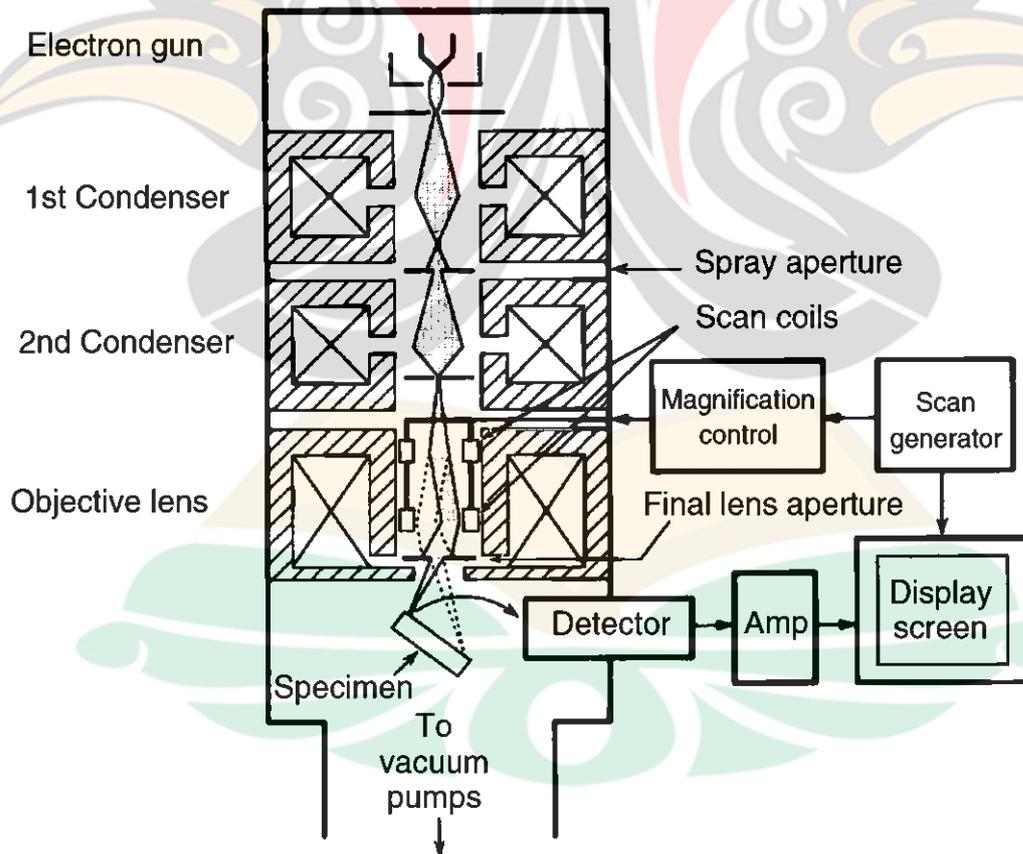
2.6 *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Scanning Electron Microscope, atau yang dikenal dengan sebutan SEM, merupakan alat yang digunakan untuk melakukan karakterisasi suatu material guna mendapatkan informasi mengenai permukaan atau struktur yang berada di dekat permukaan, Gambar 2.5 menunjukkan alat uji SEM. komposisi, dan cacat yang terdapat pada material tersebut. SEM memungkinkan peneliti untuk mengamati permukaan pada tingkat sub-mikron dan nano untuk mengetahui sifat material. SEM berfungsi untuk memperbesar objek yang tidak terlihat oleh pandangan manusia dengan menggunakan berkas elektron pada permukaan sampel (Ul-Hamid, 2018). Detail dari objek yang dipindai didapatkan berdasarkan panjang gelombang yang dihasilkan dari elektron yang dikeluarkan. SEM bekerja dengan cara memancarkan sinar melalui pengatur pancaran sinar elektron yang ditembakkan menuju dua buah lensa kondensor. Sinar melewati dua buah lensa kondensor yang mengurangi diameter silang berkas elektron, kemudian diteruskan menuju lensa objektif. Lensa objektif memfokuskan berkas elektron sebagai *probe* dengan diameter pada skala nanometer yang memperkecil penampang berkas elektron. Sinar yang melewati lensa objektif diteruskan pada spesimen yang peletakannya diatur miring. Spesimen tersebut disinari oleh x-ray yang menghasilkan gambar yang akan di teruskan di layar monitor, Gambar 2.6 menunjukkan skematik SEM (Leng, 2013).





Gambar 2.5 Alat Uji SEM



Gambar 2.6 Skematik SEM (Leng, 2013)

Penggunaan SEM pada karakterisasi limbah bubuk kopi sebagai penyusun bio-baterai telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Chiang dkk., 2020) pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi dari karbon berbahan dasar limbah bubuk kopi yang telah divariasikan dengan penambahan kalium hidroksida (KOH), dari penelitian tersebut didapatkan bahwa sampel yang tidak diberikan penambahan KOH mempunyai bentuk yang lebih halus jika dibandingkan dengan sampel yang diberikan penambahan KOH. Penelitian yang digunakan oleh Krikstolaityte dkk., pada tahun 2018 menggunakan *field emission scanning electron microscopy* (FESEM) untuk mempelajari struktur morfologi dari limbah bubuk kopi yang digunakan sebagai elektroda. Dari dua sampel yang diuji menggunakan FESEM, didapatkan bahwa terjadi perubahan morfologi menjadi struktur berpori akibat pemberian uap pada salah satu sampel.

2.7 X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction, atau XRD, merupakan metode yang paling efektif untuk menentukan struktur kristal dari suatu material, Gambar 2.7 menunjukkan alat uji XRD. Metode difraksi dapat mengidentifikasi senyawa kimia bukan dari komposisi kimianya, namun dari struktur kristal material tersebut. Hal ini memungkinkan untuk mengetahui komposisi maupun fasa yang berbeda dari suatu material. Instrumen dari XRD dikenal dengan sebutan *X-ray diffractometer*, dimana berkas sinar *X-ray* dari Panjang gelombang tunggal menginspeksi spesimen polikristalin. Dengan mengubah sudut datang berkas sinar *X-ray*, data spektrum intensitas difraksi dengan sudut antara insiden dan sinar difraksi dicatat. XRD digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kristalinitas suatu padatan dengan cara dilakukan analisa sesuai dengan tingkatan kristalinitasnya. Fasa suatu material dapat berupa fasa murni dan fasa kristal, yang dapat diamati dengan menggunakan XRD (Leng, 2013).



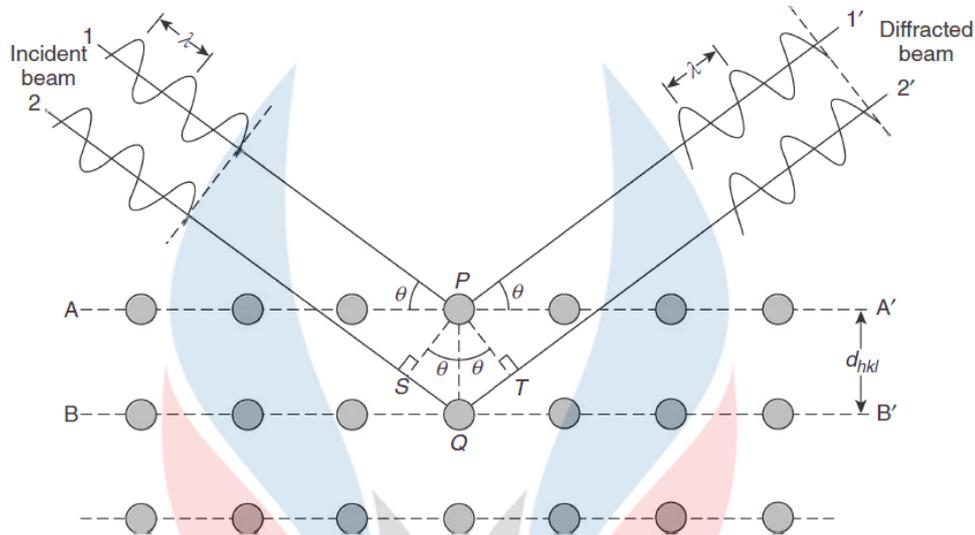
Gambar 2.7 Alat Uji XRD

XRD bekerja berdasarkan Hukum Bragg (*Bragg's Law*), Hukum Bragg merupakan salah satu kunci untuk memahami XRD. Dalam Hukum Bragg terdapat persamaan, dimana n merupakan bilangan integer yang menunjukkan orde gelombang, λ merupakan panjang gelombang x -ray yang mengenai sampel kristal, d merupakan jarak antara bidang kristal, dan θ merupakan sudut berkas gelombang x -ray terhadap bidang datar. Persamaan Bragg dapat dituliskan seperti terlampir pada persamaan (2.14).

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (2.14)$$

Hukum Bragg dapat diperoleh dengan menghitung perbedaan jalur gelombang x -ray. Perbedaan jalur antara gelombang x -ray bergantung pada sudut berkas gelombang x -ray terhadap bidang datar (θ) dan jarak antara bidang kristal (d). Untuk menjaga agar gelombang x -ray bersifat *inphase*, perbedaan jalur antara gelombang ($SQ + QT = 2d \sin \theta$) harus sama dengan beberapa (n) panjang

gelombang x -ray ($n\lambda$), Gambar 2.8 menunjukkan skematik *Bragg's Condition* (Leng, 2013).



Gambar 2.8 Skematik *Bragg's Condition* (Leng, 2013)

Karakterisasi limbah bubuk kopi dengan metode XRD telah dilakukan pada penelitian terdahulu. Penelitian yang dilakukan oleh Tsai dkk., pada tahun 2019 melakukan karakterisasi limbah bubuk kopi yang dimanfaatkan sebagai material anoda, dilakukan pengujian pada limbah bubuk kopi dan limbah bubuk kopi yang mengalami infusi nitrogen. Didapatkan hasil puncak dengan derajat 2θ pada 24° dan 43° . Penelitian yang dilakukan oleh Luna-Lama dkk., pada tahun 2019 melakukan karakterisasi limbah bubuk kopi yang dimanfaatkan sebagai anoda untuk baterai lithium-ion. Hasil dari karakterisasi yang dilakukan menunjukkan puncak maksimum dengan 2θ pada $24,5^\circ$ dan 44° . Keberadaan kedua puncak tersebut mengkonfirmasi terbentuknya material karbon yang tidak beraturan.

2.8 *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*

Fourier Transform Infra-Red, atau FTIR, merupakan spektroskop inframerah dengan menggunakan metode transformasi fourier untuk memperoleh spektrum inframerah dalam rentang gelombang secara bersamaan, Gambar 2.9 menunjukkan alat uji FTIR. FTIR memiliki rasio *signal-to-noise* yang lebih tinggi dari metode dispersif. FTIR memiliki keuntungan dan juga kerugian. Keuntungan dari FTIR adalah kemampuan untuk mengukur spektrum dengan rasio *signal-to-*

noise yang tinggi. Keuntungan berikutnya dari pemakaian FTIR adalah keunggulan multipleks. Keuntungan selanjutnya adalah kepresisian bilangan gelombang, sangat penting bahwa bilangan gelombang dan posisi puncaknya dalam spektrum inframerah diukur secara reproduktif. Walaupun keuntungan dari pemakaian FTIR ada banyak, namun FTIR memiliki kerugian yaitu terdapat limitasi karena ukuran alatnya yang relatif kecil (Smith, 2011).

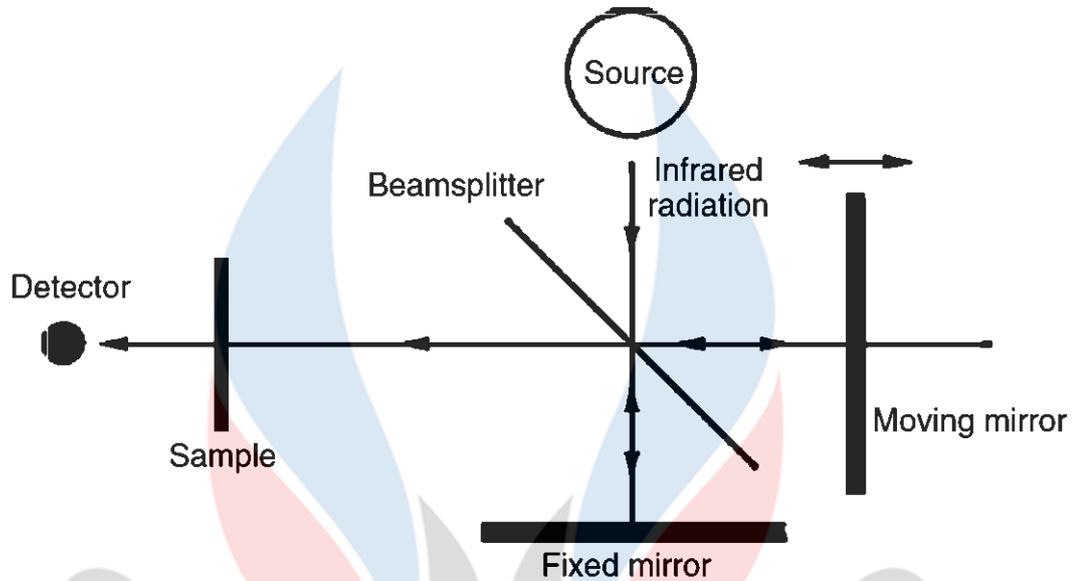


Gambar 2.9 Alat Uji FTIR

FTIR bekerja dengan cara radiasi infra merah dari sumber memasuki interferometer Michelson. Sumber cahaya inframerah menghasilkan radiasi dengan memanaskan bahan padat hingga berpijar. Dua sumber infra merah yang umum digunakan adalah *Nernst Glower*, yang tersusun dari oksida dan *rare earth element*, dan *Globar*, yang tersusun dari silikon karbida. Interferometer terdiri dari satu *beam splitter* dan dua cermin. *Beam splitter* terbuat dari bahan semi transparan terhadap cahaya inframerah. *Beam splitter* mentransmisikan setengah dari sinar inframerah ke cermin bergerak dan memantulkan setengah lainnya ke cermin tetap. Setelah dipantulkan oleh cermin, kedua balok terbelah bergabung di *beam splitter* untuk menyinari sampel sebelum balok diterima oleh detektor. Cermin bergerak memiliki fungsi untuk mengubah panjang jalur optik untuk menghasilkan interferensi cahaya

antara dua balok yang terpisah, Gambar 2.10 menunjukkan skematik FTIR (Leng, 2013).

www.itk.ac.id



Gambar 2.10 Skematik FTIR (Leng, 2013)

Pada penelitian yang sebelumnya, FTIR digunakan oleh Polat dan Sayan, pada tahun 2020 untuk melakukan pengujian yang menentukan gugus fungsi yang terdapat pada limbah bubuk kopi. Didapatkan hasil pada pengujian yang dilakukan, yaitu limbah bubuk kopi cocok untuk pembuatan *bio-fuel* dan analisis pada elemennya menunjukkan bahwa limbah bubuk kopi berguna untuk menghasilkan energi melalui metode *pyrolysis*.

2.9 Penelitian Terdahulu

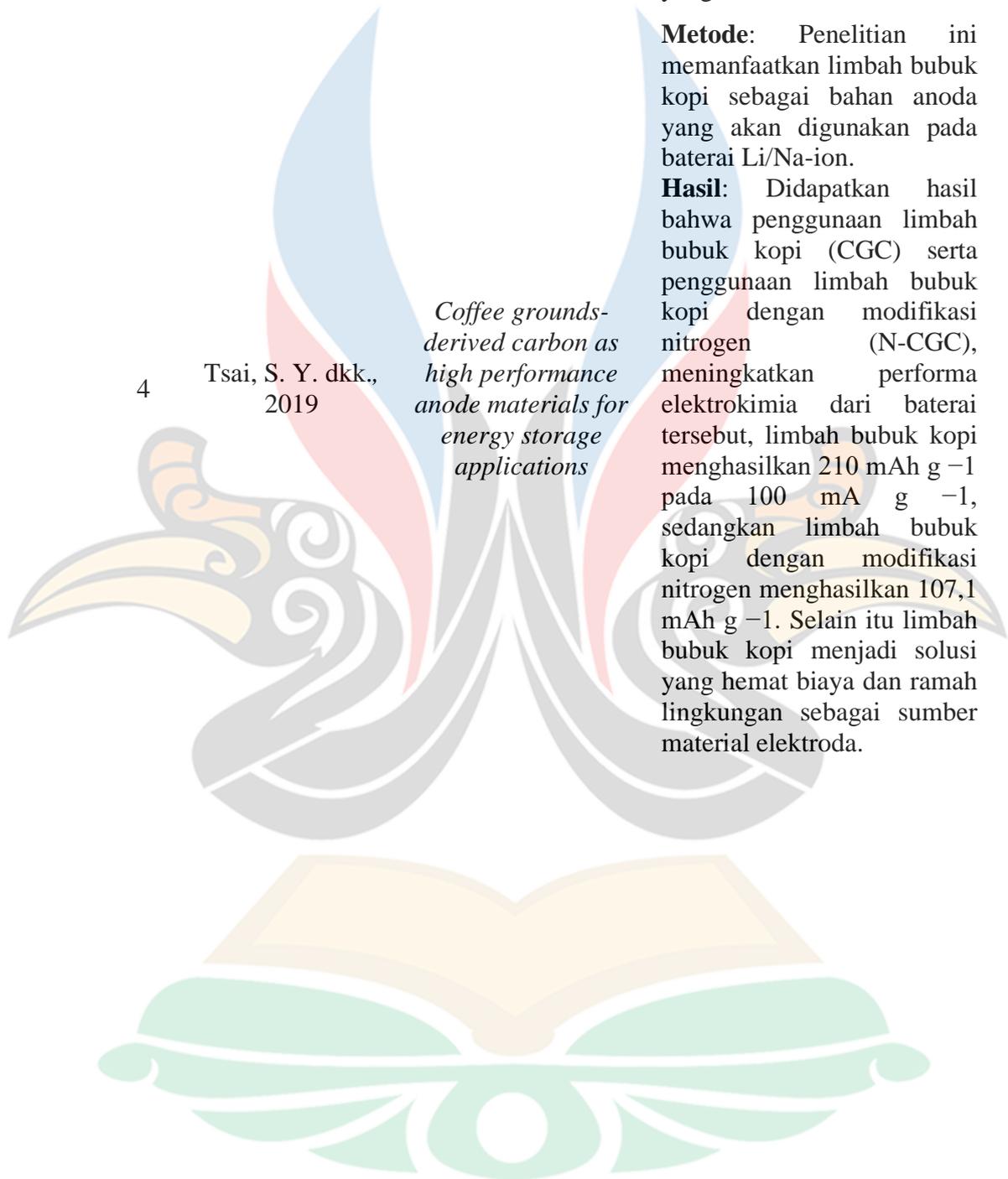
Adapun penelitian terdahulu yang menjadi referensi pada penelitian yang akan dilakukan, terlampir pada Tabel 2.3.

www.itk.ac.id

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Tahun Publikasi	Judul Publikasi	Hasil
1	Zhu, Z. dkk., 2014	<i>A high-energy-density sugar biobattery based on a synthetic enzymatic pathway</i>	<p>Metode: Penelitian ini membuat bio-baterai berbahan dasar gula dengan metode <i>enzymatic fuel cells</i>.</p> <p>Hasil: Didapatkan daya maksimum sebesar 0,8mW cm⁻² dan densitas arus maksimum sebesar 6mAcm⁻²</p>
2	Krikstolaityte, V. dkk., 2018	<i>Conversion of spent coffee beans to electrode material for vanadium redox flow batteries</i>	<p>Metode: Penelitian ini memanfaatkan limbah bubuk kopi sebagai elektroda untuk baterai <i>vanadium redox flow</i>. Karbon aktif yang berbahan dasar limbah bubuk kopi yang dipanaskan menghasilkan reaksi elektrokimia yang cukup baik.</p> <p>Hasil: Didapatkan bahwa elektroda dengan bahan dasar limbah bubuk kopi dapat menjadi material elektroda yang hemat biaya untuk baterai <i>vanadium redox flow</i>.</p>
3	Luna-Lama, F. dkk., 2019	<i>Non-porous carbonaceous materials derived from coffee waste grounds as highly sustainable anodes for lithium-ion batteries</i>	<p>Metode: Penelitian ini memanfaatkan limbah bubuk kopi sebagai bahan anoda yang akan digunakan pada baterai <i>lithium-ion</i>.</p> <p>Hasil: Didapatkan hasil bahwa penggunaan limbah bubuk kopi sebagai material anoda memiliki kapasitas reversible 285 mA h g⁻¹ pada 0,1 A g⁻¹, ketahanan kapasitas lebih dari 100 siklus, dan memiliki efisiensi mendekati 100%. Limbah bubuk kopi sangat efektif dan dapat berkembang menjadi</p>

No	Nama dan Tahun Publikasi	Judul Publikasi	Hasil
4	Tsai, S. Y. dkk., 2019	<i>Coffee grounds-derived carbon as high performance anode materials for energy storage applications</i>	<p>sumber penyimpanan energi yang <i>sustainable</i>.</p> <p>Metode: Penelitian ini memanfaatkan limbah bubuk kopi sebagai bahan anoda yang akan digunakan pada baterai Li/Na-ion.</p> <p>Hasil: Didapatkan hasil bahwa penggunaan limbah bubuk kopi (CGC) serta penggunaan limbah bubuk kopi dengan modifikasi nitrogen (N-CGC), meningkatkan performa elektrokimia dari baterai tersebut, limbah bubuk kopi menghasilkan 210 mAh g⁻¹ pada 100 mA g⁻¹, sedangkan limbah bubuk kopi dengan modifikasi nitrogen menghasilkan 107,1 mAh g⁻¹. Selain itu limbah bubuk kopi menjadi solusi yang hemat biaya dan ramah lingkungan sebagai sumber material elektroda.</p>



No	Nama dan Tahun Publikasi	Judul Publikasi	Hasil
5	Chiang, P. H. dkk., 2020	<i>Coffee-Ground-Derived Nanoporous Carbon Anodes for Sodium-Ion Batteries with High Rate Performance and Cyclic Stability</i>	<p>Metode: Penelitian ini memanfaatkan limbah bubuk kopi sebagai bahan anoda yang akan digunakan pada baterai sodium-ion. Penelitian ini menggunakan limbah bubuk kopi dengan tambahan KOH sebagai <i>activating agent</i>. Hasil: Didapatkan hasil bahwa anoda dengan tambahan KOH memiliki potensial bagi baterai sodium-ion, didapatkan kapasitas reversibel tertinggi pada 206 mA hg⁻¹ pada 50 mA g⁻¹ dan tidak ditemukan degradasi dari material setelah 250 siklus. Sampel lainnya menunjukkan kapasitas reversibel 102 dan 118 mA hg⁻¹, setelah 200 siklus.</p>
6	Erviana, Y. dkk., 2020	Analisis Karakteristik Elektrik Ongkok Singkong sebagai Pasta Bio-Baterai	<p>Metode: Penelitian ini memanfaatkan onggok singkong sebagai bahan elektrolit. Onggok singkong diolah dengan variasi fermentasi 48 jam, 96 jam, dan 144 jam. Hasil: Didapatkan hasil bahwa onggok singkong dengan fermentasi 144 jam memiliki tegangan terbesar yaitu 20.3 V tanpa beban</p>