

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Grafena

Grafena merupakan alotrop karbon yang berbentuk lembaran tipis dimana setiap atom karbon memiliki ikatan sp^2 dan struktur dalam bentuk kisi kristal seperti sarang lebah. Material ini dapat diumpamakan sebagai sebuah jaring-jaring berskala atom yang terdiri dari atom karbon beserta ikatannya. Nama grafena berasal dari Graphite -Ene, grafit sendiri terdiri dari banyak lembaran grafena yang ditumpuk secara bersama. Pada tahun 2010, Andre K. Geim dan Konstantin Novoselov mendapat hadiah Nobel di bidang kimia karena percobaan tentang material 2 dimensi *grafena*. Ikatan karbon-karbon pada grafena adalah sekitar 0,142 nm. Grafena merupakan unsur dasar dari alotrop karbon, meliputi grafit, tabung nano karbon, dan fullerena. Grafena juga dapat dianggap sebagai molekul aromatik yang sangat besar, yang merupakan kelompok senyawa hidrokarbon polisiklik aromatik datar (Choucar et al., 2020).



Gambar 2.2 Grafena (IKONS, 2017)

Grafena adalah salah satu jenis material baru yang terdiri atas atom-atom karbon dengan bentuk konfigurasi kisi yang datar, dengan jarak antar atom-atom karbon sebesar 0,142 nm. Konfigurasi ini menyerupai struktur sarang lebah dengan ketebalan yang sangat kecil, yaitu dalam orde ukuran atom. Sedemikian tipisnya lapisan grafena ini sehingga merupakan salah satu contoh dari material berdimensi dua. Dibandingkan dengan grafit dengan ketebalan 1 mm, grafena tentu jauh lebih tipis.

Dapat dibayangkan, dalam 1 mm grafit terdapat sekitar 3.000 lapisan grafena yang menyusun grafit tersebut. Sebagai sebuah material yang benar-benar baru, grafena tidak hanya luar biasa dalam hal ketipisannya, tetapi juga kekuatan yang dimilikinya. Grafena merupakan memiliki daya tahan terhadap tekanan sebesar 42 N/m. Jika dibandingkan dengan kekuatan baja yang memiliki kekuatan baja yang memiliki kekuatan terhadap tekanan berkisar antara 0,25 – 1,2 x 10⁹ N/m² (jika kita anggap terdapat baja dengan ketebalan yang sama dengan ketebalan graphene, maka kekuatan baja tersebut setara dengan 0,084 – 0,40 N/m) maka grafena 100 kali lebih kuat daripada baja yang paling kuat sekalipun.

Grafena adalah nanomaterial berbentuk dua dimensi monoatomik yang terdiri dari satu lapis grafit. Grafena dianggap sebagai material tertipis di dunia, berupa selembat atom karbon ikatan sp² dalam kisi dua dimensi heksagonal (Sjahriza & Herlambang, 2021).

Ada beberapa sifat dari grafena antara lain :

2.1.1 Struktur Atom

Struktur atom grafena dapat dikaji dengan menggunakan mikroskop elektron transmisi dengan lembar grafena disuspensi di antara kisi logam. Pola-pola difraksi elektron menunjukkan kisi heksagonal grafena, seperti yang diharapkan. Grafena yang tersuspensi juga menunjukkan adanya riakan (*rippling*) pada lembaran datar grafena tersebut, dengan amplitudo sekitar satu nanometer. Secara intrinsik, riakan ini diakibatkan oleh ketidakstabilan kristal dua dimensi, ataupun secara ekstrinsik (Choucar et al., 2020).

2.1.2 Sifat Elektronik

Grafena sangat berbeda dari kebanyakan bahan tiga dimensi konvensional. Secara intrinsik, grafena merupakan semilogam atau semikonduktor bersela energi nol. Hubungan E-k grafena adalah linear untuk energi rendah yang berada dekat dengan enam sudut zona Brillouin heksagonal dua dimensi, mengakibatkan massa efektif elektron dan lubang heksagonalnya nol. Oleh karena hubungan "dispersi" relatif linear ini pada energi rendah, elektron dan lubang yang dekat enam titik ini memiliki sifat-sifat partikel relativistik yang dijelaskan oleh persamaan Dirac untuk partikel dengan spin^{1/2}. Oleh karena itu, elektron dan lubang heksagonalnya

disebut fermion Dirac, dan enam sudut dari zona Brillouin disebut titik Dirac (Choucar et al., 2020).

2.1.3 Sifat Optik

Sifat-sifat elektronik grafena yang unik menyebabkannya memiliki opasitas yang tinggi untuk sebuah bahan ekalapis atomik. Ia menyerap $\pi\alpha \approx 2,3\%$ cahaya putih, dengan α adalah tetapan struktur halus. Hal ini telah dikonfirmasi secara eksperimen, tetapi pengukurannya tidak cukup akurat untuk mengizinkan kemajuan yang berarti pada teknik penentuan tetapan struktur halus lainnya (Choucar et al., 2020).

2.1.4 Sifat Mekanik

Tetapan pegas yang terukur berkisar antara 1-5 N/m dengan Modulus Young sebesar 0,5 TPa, berbeda dari grafit yang meruah. Nilai-nilai yang tinggi ini, membuat grafena sangat kuat dan kaku. Sifat inilah yang memungkinkan grafena dimanfaatkan untuk aplikasi NEMS, seperti sensor tekanan, dan resonator. Sebagaimana dengan bahan material lainnya, daerah-daerah tertentu pada grafena mengalami fluktuasi kuantum dan termal pada pergeseran relatifnya. Walaupun amplitudo fluktuasi ini terbatas pada struktur 3D-nya (bahkan untuk ukuran tak terhingga), teorema Mermin-Wagner menunjukkan bahwa amplitudo fluktuasi berpanjang gelombang panjang akan meningkat secara logaritmik terhadap struktur 2D-nya, sehingga ia akan menjadi tidak terbatas pada struktur yang berukuran tak terhingga. Deformasi tempatan dan regangan elastik dipengaruhi oleh divergensi yang berkisaran panjang pada pergeseran relatif ini. Dipercayai bahwa dengan struktur 2D yang cukup besar, ia akan melentuk dan mengusut membentuk struktur 3D yang berfluktuasi jika tidak terdapat tegangan lateral yang diberikan. Para peneliti telah memantau riakan pada lapisan-lapisan grafena yang disuspensi, dan diajukan bahwa riakan-riakan ini diakibatkan oleh fluktuasi termal pada bahan. Oleh karena deformasi dinamis ini, terdapat perdebatan apakah grafena benar-benar berstruktur 2D (Choucar et al., 2020).

2.1.5 Transport Spin pada Grafena

Grafena dianggap sebagai bahan yang ideal untuk spintronik oleh karena interaksi orbit-spin yang kecil dan hampir tidak adanya momen magnet inti dalam

karbon. Injeksi spin-arus listrik dan deteksi pada grafena telah didemonstrasikan pada suhu kamar. Koherensi spin yang lebih besar daripada satu telah terpantau pada suhu kamar dan kontrol polaritas arus spin yang melewati gerbang listrik telah diamati pada temperatur rendah (Choucar et al., 2020).

2.1.6 Efek Magnetik

Selain mobilitasnya yang tinggi dan Konduktivitas yang minimum, grafena menunjukkan perilaku sangat menarik dalam suatu medan magnetik. Grafena menunjukkan ketidak normalan efek kuantum Hall dengan urutan dialihkan oleh $\frac{1}{2}$. Dengan demikian, konduktivitas Hall adalah $\frac{1}{2}$, di mana $\text{ohm}^{-1}\text{cm}^{-1}_{xy} = \pm (N+\frac{1}{2})e^2/h$ adalah index level rendah dan dengan menurunkan spin ganda akan dihasilkan faktor 4, ini dapat diukur pada temperatur kamar. Grafena dua lapis juga menunjukkan efek kuantum Hall, tetapi dengan urutan standar dimana $\text{ohm}^{-1}\text{cm}^{-1}_{xy} = \pm N+\frac{1}{2}e^2/h$. Menariknya, level yang tinggi pertama $N=0$ adalah tidak ada, yang mengindikasikan bahwa graphene bilayer tetap pada keadaan logam dan terdapat pada titik netral (Choucar et al., 2020).

2.2 Turunan Grafena

Turunan grafena adalah hasil sintesis dari grafena yang diaplikasikan sangat luas. Dalam (Trache et al., 2020) ada beberapa turunan dari grafena antara lain sebagai berikut.

2.2.1 Grafena oksida (GO)

GO umumnya dibuat dari oksidasi grafit, terdiri dari beberapa atau lembaran satu lapis yang mengandung oksigen seperti hidroksil, epoksi, karboksil, karbonil, fenol, lakton, dan kuinon, yang dapat mengubah interaksi van der Waals. Gugus fungsi di GO ini dapat sangat memengaruhi fitur elektrokimia, mekanik, dan elektroniknya. Karena eksploitasi elektron dalam ikatan kovalen gugus - oksida pada GO membuatnya lebih mudah terdispersi dalam pelarut organik dan air.

2.2.2 Grafena oksida tereduksi

rGO yang diperoleh dengan mereduksi GO, mengandung lebih sedikit atom oksigen, oleh karena itu, lebih sedikit bermuatan negatif. Selama reduksi, rGO memulihkan susunan grafit (pemulihan sebagian sp^2 dari hibridisasi sp^3) melalui

eliminasi gugus yang mengandung oksigen, yang telah dimasukkan dalam langkah oksidasi, dengan demikian, memulihkan sifat elektronik grafena.

2.2.3 Grafena Quantum Dots Grafena

GQDs merupakan partikel atau kristal dari grafena yang dapat ditemukan sebagai lapisan tunggal atau ganda, menampilkan fitur menarik seperti stabilitas kimia yang baik, luas permukaan yang tinggi, karakteristik fisik yang dapat diatur, fotoluminesensi yang stabil, dan toksisitas yang rendah. GQDs dapat digunakan dalam optoelektronik, elektronik, biomedis, sensor dan penyimpanan energi. GQDs memiliki ukuran kristal 2 – 10 nm (10 – 50 atom).

Dan ada beberapa keunggulan dari sifat material grafena diantaranya, sebagai sensor, panel surya grafena, penyimpan energi/ baterai dan material nanokomposit.

2.3 Poliakrilonitril

PAN dikenal dengan nama orlon, dan digunakan sebagai karpet dan pakaian “rajutan”. Ikatan rangkap pada karbon dalam monomer berubah menjadi ikatan tunggal, dan berikatan dengan atom karbon lain membentuk polimer. PAN bersifat hidrofobik. Pemilihan polimer sebagai bahan membran tergantung kepada larutan solut yang akan digunakan untuk pemisahan (Aprilia & Amin, 2011).

PAN merupakan polimer organik, hasil sintesis secara kimia oleh monomer-monomer akrilonitril. PAN merupakan polimer yang memiliki densitas rendah, kekuatan yang tinggi serta elastisitas yang besar. Karena sifat-sifatnya tersebut PAN berpotensi dalam menghasilkan karbon fiber, yang bermutu tinggi. PAN terdiri atas dua jenis yaitu homopolimer dan kopolimer. Homopolimer dari PAN telah banyak digunakan sebagai serat dalam sistem filtrasi gas panas, layar untuk kapal pesiar serta beton yang diperkuat dengan serat. Sedangkan Kopolimernya sering digunakan sebagai serat untuk membuat pakaian rajut seperti kaus kaki dan sweater tenda, dll (Anis, 2019).

PAN juga dikenal sebagai Creslan 61, adalah resin resin semikristalin organik, dengan rumus linear $(C_3H_3N)_n$. Meskipun termoplastik, ia tidak meleleh dalam kondisi normal. PAN terdegradasi sebelum meleleh. PAN meleleh di atas $300^\circ C$ jika tingkat pemanasan 50 derajat per menit atau di atas. Hampir semua

resin PAN adalah kopolimer yang terbuat dari campuran monomer dengan akrilonitril sebagai monomer utama. PAN adalah polimer serbaguna yang digunakan untuk memproduksi berbagai macam produk termasuk membran ultra filtrasi, serat berongga untuk osmosis balik, serat untuk tekstil, serat PAN yang teroksidasi. Seperti yang dijelaskan dalam (Anis, 2019) menjelaskan bahwa sifat PAN terbagi 2 antara lain :

2.3.1 Sifat Fisik PAN

1. Berat molekul 52.945 g/mol
2. Titik didih 85°C
3. Titik lebur 317°C
4. Densitas 1,184 g/cm³
5. Derajat polimerisasi 1.000
6. Larut dalam DMSO, larutan thiocyanate, tetapi tidak larut dalam etanol, aseton, benzene dan carbon tetrachloride.
7. Memiliki kekuatan yang tinggi serta elastisitas yang besar
8. Sangat tahan terhadap cahaya matahari. Meskipun termoplastik, ia tidak meleleh dalam kondisi normal.

2.3.2 Sifat Kimia PAN

1. Pada umumnya mempunyai ketahanan yang baik terhadap pelarut-pelarut dan asam-asam mineral, lemak-lemak, minyak-minyak serta garam-garam mineral
2. Terhadap alkali lemah mempunyai ketahanan yang cukup baik disbanding dengan alkali kuat
3. Terhadap alkali kuat terutama dalam keadaan yang panas akan merusak secara cepat
4. Relatif lebih mudah disabunkan dengan larutan alkali panas

PAN merupakan polimer kuat yang dapat dipadukan dengan grafena berdasarkan karakterisasi grafena. Polimer PAN memiliki beberapa sifat diantaranya densitas rendah, kekuatan polimer yang tinggi, elastisitas, ketahanan pelarut yang baik, dan dapat mempertahankan morfologi pada proses pirolisis.

Inilah yang menyebabkan PAN menghasilkan karbon fiber yang bermutu tinggi. (Kalashnik et al., 2010) (Ramasubramanian, 2013). Sedangkan grafena berbasis grafit ini dipilih dikarenakan tidak bergantung pada distribusi pori-pori pada keadaan padat dibandingkan dengan bahan lain. Selain itu grafena ini memiliki sifat yang luar biasa seperti luas permukaan yang besar, termal yang baik, stabilitas kimia yang baik, konduktivitas listrik yang tinggi serta kapasitansi yang besar (Sandhya, K., K, C. S., Nagapadma, R., & Krishnamurthy, 2012).

2.4 Ultrasonikasi

Ultrasonikasi intensitas tinggi dapat digunakan sebagai metode untuk menghasilkan nanoselulosa dengan menggunakan kekuatan hidrodinamik. Di dalam proses ini, gelombang ultrasonik menghasilkan tekanan mekanik kuat yang disebabkan oleh kavitasi, dan oleh karena peristiwa ini, menyebabkan disagresiasi serat selulosa menjadi nanoserat. Prinsip kerja dari ultrasonikasi adalah energi ultrasonik ditransfer ke rantai selulosa melalui proses kavitasi, yang menunjuk pada pembentukan, perkembangan dan akhirnya peledakan gelembung kavitasi di dalam air. Energi yang diberikan oleh kavitasi disebut dengan sonokimia yang memiliki nilai sekitar 10-100 kJ/mol. Peledakan kavitasi meliputi mikrojet dan getaran gelombang pada permukaan serat selulosa, menyebabkan erosi permukaan serat untuk terbelah dua di sepanjang arah aksial. Pengaruh sonifikasi dapat memecah ikatan hidrogen lemah di antara nanoserat. Sehingga ultrasonik secara perlahan dapat mengintekrasikan ukuran mikroselulosa menjadi dalam ukuran nanometer (Gea, S., 2018).

Efek fisik dari ultrasonikasi intensitas tinggi salah satunya adalah emulsifikasi. Sedangkan efek kimia dari ultrasonikasi ini menyebabkan molekul-molekul berinteraksi sehingga terjadi perubahan kimia. Interaksi tersebut disebabkan panjang gelombang ultrasonik dengan molekul-molekul dan terjadi melalui media cairan Gelombang yang dihasilkan oleh tenaga listrik diteruskan oleh media cair ke media yang dituju melalui fenomena kavitasi akustik yang menyebabkan kenaikan suhu dan tekanan lokal dalam cairan (Wardiyati, S., 2004).

2.5 Pemintalan Basah

Pemintalan basah (wet-spinning) merupakan alternatif dari teknik pembuatan serat dan memungkinkan berbagai macam polimer untuk dipintal. Metode ini telah digunakan selama 12 tahun terakhir untuk menghasilkan berbagai jenis serat komposit yang terdiri dari polimer yang dimuat dengan nanotube karbon (CNT). Pemintalan basah pertama kali dikembangkan untuk selulosa oleh Chardonnet pada tahun 1884 mendorong pengembangan sutra buatan. Banyak serat lain telah diproduksi dengan proses pemintalan basah selama beberapa dekade terakhir, terutama dari bahan polimer sintetik seperti poliakrilonitril (PAN), poliaramid, akrilik, polietilen dengan berat molekul sangat tinggi, polivinil alkohol (Jestin, S., Poulin, 2014).

Pemintalan basah adalah proses dimana larutan polimer (dope) dipompa dengan kecepatan yang telah ditentukan melalui spinneret dengan banyak lubang kecil, yang seluruhnya direndam ke dalam bath koagulasi. Dimana pelarut akan menggumpal dan serat akan memadat. Kemudian serat ditarik dari bath dengan rol peregang. Serat dikumpulkan dalam bentuk filamen dan dipotong sesuai panjang yang diinginkan dan dikeringkan sebagai langkah terakhir (Marianna., 2015).

Pada pemintalan basah polimer dipintal kedalam fluida cair dengan viskositas tinggi. Hal ini dikarenakan viskositas yang tinggi menunjukkan tegangan geser yang tinggi pula pada permukaan filamen dan tegangan pada filamen pun dapat meningkat. Selain itu, pemintalan basah mampu menggunakan lebih banyak lubang pada spinneret-nya yang mencapai total hampir 60.000 lubang di setiap spinneret apabila pemintalan selesai secara langsung kedalam cairan koagulasi atau ekstraksi (Rani, 2018).

Elektrospinning merupakan teknologi yang umumnya digunakan untuk fabrikasi serat secara elektrostatis, yang memanfaatkan kekuatan listrik untuk menghasilkan serat polimer dengan diameter berukuran nano. Proses elektrospinning telah mendapatkan banyak perhatian karena fleksibilitas bahan yang digunakan, serta memiliki kemampuan untuk menghasilkan serat dalam kisaran submikron. Dalam beberapa tahun terakhir, terjadi peningkatan minat dalam memanfaatkan teknologi ini untuk menghasilkan serat nano. Peningkatan

minat untuk pembuatan serat nano sebagian besar menggunakan berbagai jenis polimer alami dan sintetis untuk tissue engineering (Fernandes, 2014). Elektrosinning merupakan metode pembuatan nanofiber paling umum dan paling banyak digunakan. Prosesnya yang sederhana membuat elektrosinning banyak digunakan sebagai alat pembuatan nano serat dengan berbagai material polimer (Fatkhani M. Mubarak, 2018).

Pada prinsipnya, elektrosinning memanfaatkan gaya elektrostatis yang muncul dari partikel bermuatan akibat adanya tegangan tinggi antara ujung tip (jarum tabung syring /spinneret) dengan kolektor. Bagian utama alat elektrosinning tersusun atas sumber tegangan tinggi DC, tabung syring (spinneret), jarum berdiameter kecil, dan plat kolektor dari bahan logam. Elektroda positif dihubungkan pada ujung jarum sehingga larutan bermuatan positif dan elektroda negatif dihubungkan pada plat kolektor sebagai tempat terkumpulnya serat/fiber. Salah satu susunan alat elektrosinning sederhana (Hulupi & Haryadi, 2018).

Pengisi nano tipikal mencakup partikel nano 0D hingga material berlapis 2D; bahan-bahan ini meningkatkan sifat optik, mekanik, listrik, dan termal dari matriks. Untuk 2Dnanofiller berlapis, nanoplatelet grafit, mika, dan tanah liat nano umumnya digunakan. Grafena (G) dan grafena oksida (GO) memiliki kinerja yang sangat tinggi karena kekuatan mekanik, kelistrikan, dan termal yang tinggi konduktivitas, menjadikannya sebagai kandidat terbaik untuk nanofiller. Belakangan ini, berbagai macam bahan mulai dari berbagai komposit polimer alami atau sintetis, semikonduktor dan keramik berhasil di elektrosinning menjadi serat nano, sedangkan proses itu sendiri telah menjadi subjek investigasi untuk tujuan scale-up (Mishra et al., 2017).

Penciptaan nanoserat pada permukaan elektroda akan tentunya meningkatkan sensitivitas metode deteksi karena menyediakan lebih banyak area permukaan enzim yang akan dipasang, orientasi fix dan konduktivitas permukaan elektroda untuk meningkatkan batas deteksi (Mishra et al., 2017) Pengembangan membran serat nano menggunakan metode elektrosinning saat ini merupakan salah satu metode yang cukup optimal. Metode ini menghasilkan membran serat

nano dengan permukaan yang luas sehingga zat aktif dalam serat nano dapat bebas berinteraksi dengan permukaan kulit, yang dapat mempercepat proses penyembuhan luka. Membran pembalut luka pada umumnya berfungsi untuk menutupi luka, menekan jumlah pertumbuhan bakteri, hingga membantu pembentukan jaringan baru (Fernandes, 2014).

2.5 Serat

Serat merupakan salah satu material penyusun komposit. Komposit berpenguat serat karbon merupakan salah satu jenis material komposit yang menggunakan serat karbon sebagai salah satu penyusunnya dikarenakan memiliki sifat yang sangat kuat tetapi ringan. Serat karbon sendiri memiliki beberapa keunggulan diantaranya tahan korosi, mudah dibentuk sesuai kebutuhan, lebih ringan dan lebih kuat dari pada logam, sehingga serat dapat dijadikan pilihan sebagai penguat dalam bahan komposit polimer berpenguat serat sintetik (Irfa I, M.A., Umam, 2019).

Prekursor serat karbon merupakan bahan baku yang digunakan dalam proses pembuatan serat karbon. Hingga saat ini, material yang umum digunakan dalam proses pembuatan prekursor serat karbon adalah PAN. Alasan utama penggunaan PAN sebagai prekursor serat karbon karena PAN memiliki kandungan karbon yang tinggi yaitu sebesar 68%. PAN bersifat non-renewable, tidak ramah lingkungan, mahal, dan belum mampu diproduksi di Indonesia. Oleh karena itu, untuk menurunkan harga prekursor serat karbon dan dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh PAN, dibutuhkan suatu material alternatif yang tidak hanya dapat direkayasa menjadi prekursor serat karbon tetapi juga bersifat ramah lingkungan, murah, dan dapat diproduksi di Indonesia. Salah satu jenis material alternatif yang sangat berpotensi untuk memenuhi persyaratan tersebut adalah lignin. Lignin merupakan salah satu polimer yang sangat potensial untuk dimanfaatkan menjadi prekursor serat karbon karena lignin memiliki kandungan karbon sebesar 68%, dengan total carbon yield mencapai 50-60%. Syarat suatu polimer dapat dijadikan prekursor serat karbon adalah memiliki berat molekul tinggi (sekitar 100.000 g/mol), Polydispersity Index (PDI) rendah, serta karbon yield diatas 50% (Shoimah, 2019). Serat karbon berbasis lignin saat ini sedang

dalam tahap Penelitian dan Pengembangan. Beberapa penelitian telah melaporkan penggunaan lignin sebagai prekursor serat karbon. Misalnya, mengkarbonisasi lignin untuk menghasilkan karbon berpori tiga dimensi (Zhang et al., 2015).

Serat karbon merupakan salah satu jenis serat yang memiliki performa tinggi untuk diaplikasikan pada bidang dirgantara, perkapalan, otomotif, konstruksi, dan pembangkit energi karena memiliki sifat mekanik spesifik yang sangat tinggi. Hingga saat ini, hanya terdapat beberapa negara yang mampu memproduksi serat karbon, seperti Amerika Serikat, Jepang, Cina, dan Meksiko sehingga negara-negara lain yang tidak mampu memproduksi serat karbon secara mandiri harus mengimpor serat karbon tersebut, termasuk Indonesia. Kondisi tersebut membuat harga serat karbon menjadi mahal dan waktu pengiriman menjadi lama sehingga dapat mengganggu proses produksi industri pengguna serat karbon (Shoimah et al., 2019).

2.6 Pengujian Karakterisasi

2.6.1 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning electron microscopy (SEM) adalah suatu jenis mikroskop elektron yang dapat menghasilkan gambar sebagai dari hasil interaksi elektron terhadap atom pada permukaan sampel. Interaksi elektron dengan sampel memunculkan beberapa sinyal yang memuat informasi topografi dan komposisi sampel. Permukaan material dipindai menggunakan berkas elektron, dan sinar yang dipantulkan atau dihamburkan, dikumpulkan dan selanjutnya akan ditampilkan pada layar tabung sinar katoda. Interaksi elektron dengan spesimen tidak hanya berfokus pada lapisan permukaan saja tapi juga dengan atom dan molekul di dalam permukaan spesimen, detektor pada SEM berperan untuk mendeteksi lokasi dari emisi elektron dari spesimen. Semua data ini digunakan bersamaan untuk menghasilkan gambar (Gea & Harahap, 2019).

Prinsip kerja alat SEM adalah dengan memanfaatkan hamburan balik elektron (electron beam) pada permukaan objek dan mengambil gambar dengan mendeteksi elektron yang muncul pada permukaan objek. Adapun fungsi utama SEM antara lain dapat digunakan untuk mengetahui informasi-informasi mengenai

1. Topografi, yaitu ciri-ciri permukaan yang teksturnya (kekerasan, sifat memantulkan cahaya, dan sebagainya).
2. Morfologi, bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek (kekuatan, cacat pada integrated Circuit (IC) dan Chip dan sebagainya).
3. Komposisi, yaitu data kuantitatif dan unsur suatu senyawa yang terkandung di dalam objek (titik lebur, kreaktifan, kekerasan, dan sebagainya).
4. Informasi kristalografi, yaitu informasi mengenai bagaimana susunan dari butir-butir di dalam objek yang diamati (konduktifitas, sifat elektrik, kekuatan).

2.6.2 *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

FTIR merupakan alat yang digunakan untuk analisis gugus fungsi secara kualitatif dalam suatu senyawa kimia yang terdapat di dalam lemak babi, plastik, karet, makanan, obat, minyak, kitosan, batu bara, dan kosmetik.

Karakterisasi menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang dibentuk oleh CNT dengan nano-katalis Ag dan gas methane (CH_4) yang dicampur dengan gas hidrogen sebagai gas sumber sebagai pengurai FTIR merupakan spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi fourier untuk deteksi analisis hasil dilengkapi dengan transformasi Fourier untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya. Intispektroskopi FTIR adalah interferometer Michelson yaitu alat untuk menganalisis frekuensi dalam sinyal gabungan (Anam et al., 2007).

2.6.3 *X-Ray Diffractometer (XRD)*

Spektroskopi difraksi sinar-X (X-ray diffraction/XRD) merupakan salah satu metodakaracterisasi material paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel dari nanokristal. XRD sangat berguna untuk mempelajari struktur kristal, komposisi kimia, dan sifat sifat fisika dari nanomaterial (Putama Mursal, 2018).

Prinsip dasar XRD adalah mendifraksi cahaya yang melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi atau kristal ini dapat terjadi apabila difraksi tersebut berasal dari radius yang memiliki panjang gelombang yang setara dengan jarak

antar atom, yaitu sekitar 1 angstrom. Radiasi yang digunakan berupa sinar-X, elektron, dan neutron. Sinar-X merupakan foton dengan energi radiasi tinggi yang memiliki panjang gelombang berkisar antara 0,5 sampai 2,5 Angstrom. Ketika berkas sinarX berinteraksi dengan suatu material, maka sebagian berkas akan diabsorpsi dan ditransmisikan, serta sebagian lagi dihamburkan terdifraksi. Hamburan terdifraksi inilah yang dideteksi oleh XRD.

Metode XRD didasarkan pada kemampuan kristal untuk mendifraksi sinar X dalam suatu karakteristik cara memungkinkan studi yang tepat tentang struktur fase kristal. Hasil difraksi yang ada memiliki pola yang berupa fitur mikro dan makro dari sampel. Metode ini dapat mengidentifikasi peak (puncak) yang berbeda disetiap jenis kristal, parameter kisi, ruang group, komposisi bahan kimia dan analisis fase kualitatif. Berdasarkan peak (puncak) yang diperoleh, akan memberikan informasi tentang struktur Kristal (posisi atom, suhu faktor atau lingkungan) serta analisis tekstur dan fase kuantitatif. Pada akhirnya, peak akan memberikan informasi tentang kontribusi perluasan sampel (mikrostrain dan ukuran kristalit) susunan khas atom-atom dalam kristal disebut struktur kristal. Struktur kristal dibangun oleh satuan (unit cell). Sell satuan merupakan suatu bagian terkecil dari unit struktur yang dapat menjelaskan struktur suatu Kristal.

2.6.4 Thermogravimetric Analysis (TGA) - Differential Thermal Analysis (DTA)

TGA adalah salah satu metode analisis termal suatu sampel dengan memperhatikan penurunan massa selama sampel diberikan perlakuan panas yang dilakukan dalam lingkungan atmosfer. Prinsip kerja spektrofotometri UV-Vis adalah interaksi yang terjadi antara energi yang berupa sinar monokromatis dari sumber sinar dengan materi yang berupa molekul. Besar energi yang diserap tertentu dan menyebabkan elektron tereksitasi dari ground state ke keadaan tereksitasi yang memiliki energi lebih tinggi.

DTA dan TGA merupakan teknik analisa termal, yaitu analisa yang berkaitan dengan panas. Setiap perubahan akan melibatkan panas atau energi sehingga perubahan panas atau energi dapat dijadikan dasar untuk analisa kualitatif maupun kuantitatif khususnya dalam bidang kimia. Kelompok teknik

analisa ini menggunakan temperatur atau perubahan temperatur yang dimanipulasi untuk menghasilkan parameter yang dapat diukur (Purnawan et al., 2008)

2.6.5 Spektroskopi Raman

Spektroskopi Raman merupakan salah satu metode yang menghasilkan spektra vibrasi suatu senyawa. Spektrum geseran Raman mirip dengan spektrum absorpsi inframerah suatu senyawa. Kedua spektrum ini merupakan spektrum vibrasional dari gugus fungsi kimia penyusun suatu molekul. Spektrum geseran Raman sangat khas dan karakteristik untuk gugus fungsi tersebut. Oleh sebab itu spektrum geseran Raman ini dapat dimanfaatkan untuk identifikasi suatu molekul. Atas dasar kemanfaatannya spektrum Raman banyak dimanfaatkan dalam forensik sains khususnya dalam identifikasi suatu molekul senyawa kimia berupa senyawa terlarang atau berbahaya (Mahfuz et al., 2017).

Adapun penerapan identifikasi spektrum Raman dalam Kimia Forensik dan Toksikologi Kimia adalah untuk identifikasi penyalahgunaan narkotika, bahan peledak, metabolit narkotika, senjata berbahan kimia, racun, rambut serta merunut industri pembuat bahan peledak dan narkotika. Spektroskopi Raman dalam pengukurannya sangat mudah dan praktis namun terdapat beberapa kekurangan dari instrumen ini. Spektrum Raman dari sebuah sampel serbuk atau tablet heterogen tidak dapat menginformasikan komposisi sampel secara keseluruhan.