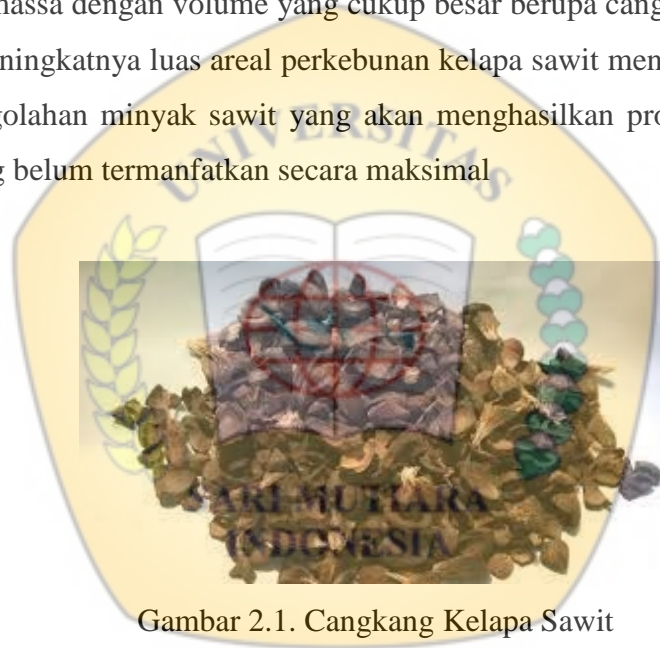


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Cangkang Kelapa Sawit

Cangkang kelapa sawit merupakan salah satu limbah padat dari komoditi perkebunan kelapa sawit. Salah satu produk yang dapat dibuat dari limbah cangkang kelapa sawit adalah karbon aktif yang bernilai ekonomis dan ramah lingkungan (Wahyuni & Fathoni, 2019). Agroindustri kelapa sawit berkembang pesat di kawasan Asia Tenggara terutama Indonesia dan Malaysia disebabkan meningkatnya konsumsi minyak dunia. Kegiatan di sector ini akan menghasilkan limbah biomassa dengan volume yang cukup besar berupa cangkang kelapa sawit 5,5-7%. Meningkatnya luas areal perkebunan kelapa sawit mengakibatkan banyak pabrik pengolahan minyak sawit yang akan menghasilkan produk samping atau limbah yang belum dimanfaatkan secara maksimal.



Gambar 2.1. Cangkang Kelapa Sawit

Pada industri minyak sawit di PTPN II Kabupaten Deli Serdang, setiap harinya dihasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit dan cangkang yang pemanfaatannya sangat kecil. Setiap harinya dihasilkan tandan kosong sejumlah 22% per ton (158,4 ton) dan cangkang sebanyak 7% per ton (50,4 ton) setiap harinya. Diketahui untuk 1 ton kelapa sawit akan mampu menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit sebanyak 23% atau 230 kg, limbah cangkang (shell) sebanyak 6,5% atau 65 kg, wet decanter solid (lumpur sawit) 4% atau 40 kg, serabut (fiber) 13% atau 130 kg serta limbah cair sebanyak 50% (Mandiri, 2012).

TKKS mengandung berbagai unsur hara makro dan mikro yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman, antara lain: 42,8% C, 2,9% K<sub>2</sub>O, 0,8% N, 0,22% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0,30% MgO, 23 ppm Cu, dan 51 ppm Zn (Singh dkk., 1989). Cangkang sawit merupakan bagian paling keras pada komponen yang terdapat pada kelapa sawit. Cangkang sawit merupakan limbah dari hasil pengolahan minyak kelapa sawit yang belum dimanfaatkan secara optimal. Sabut kelapa sawit mengandung nutrient, fosfor (P), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan karbon (C), sehingga limbah ini dapat menjadi sumber pertumbuhan bakteri, dimana bakteri dapat juga digunakan dalam proses pengolahan limbah. (Info, 2014)

Cangkang kelapa sawit merupakan salah satu jenis limbah padat hasil samping dari industri pengolahan kelapa sawit yang saat ini masih menimbulkan permasalahan bagi lingkungan hidup. Hal ini disebabkan karena limbah ini diproduksi dalam jumlah besar dan sukar terdegradasi/terurai secara alami di lingkungan. (Pranata, 2009) cangkang kelapa sawit mengandung lignin (29,4%), hemiselulosa (27,7%), selulosa (26,6%), air (8,0%), komponen ekstraktif (4,2%), abu (0,6%). Oleh karena itu, limbah ini sangat berpotensi jika dikembangkan menjadi produk-produk yang bermanfaat dan memberi nilai tambah dari aspek ekonomi serta ramah lingkungan. (Larasati et al., 2019) menyatakan teknik pirolisis yang dilengkapi dengan kondensor merupakan metode yang efektif dan sangat tepat untuk mengolah limbah semacam ini secara cepat.

Limbah Kelapa Sawit Limbah perkebunan kelapa sawit adalah limbah yang dihasilkan dari sisa tanaman yang tertinggal pada saat pembukaan areal perkebunan, peremajaan dan panen kelapa sawit.

Limbah kelapa sawit ini digolongkan dalam tiga jenis yaitu limbah padat, limbah cair dan limbah gas.

#### 1. Limbah Padat

Salah satu jenis limbah padat industri kelapa sawit adalah tandan kosong kelapa sawit dan cangkang kelapa sawit. Limbah padat mempunyai ciri khas pada komposisinya. \

## 2. Limbah Cair

Limbah ini berasal dari kondensat, stasiun klarifikasi dan dari hidrosilikon. Lumpur (sludge) disebut juga lumpur primer yang berasal dari proses klarifikasi merupakan salah satu limbah cair yang dihasilkan dalam proses pengolahan minyak kelapa sawit, sedangkan lumpur yang telah mengalami proses sedimentasi disebut lumpur sekunder. Kandungan bahan organik lumpur juga tinggi yaitu pH berkisar 3-5.

## 3. Limbah Gas

Selain limbah padat dan cair, industri pengolahan kelapa sawit juga menghasilkan limbah bahan gas. Limbah bahan gas ini antara lain gas cerobong dan uap air buangan pabrik kelapa sawit

### 2.2 Karbon

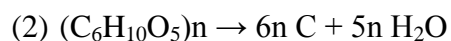
Karbon merupakan salah satu material yang memiliki beragam morfologi, diantaranya: karbon koloidal, nanotube, fullerenese, grafit, grafen, colloidal sphere, nanofiber, porous carbon, nanowire, dan karbon aktif. Perbedaan morfologi ini akan berakibat pada luasnya aplikasi dari karbon tersebut, seperti: pendukung katalis, adsorben, penyimpan gas, teknologi pemisahan, elektroda baterai, template material berpori, sel bahan bakar, dan sel biologis. Selain itu, beberapa partikel karbon dengan morfologi tertentu akan memiliki aplikasi yang berbeda.

Karbon aktif merupakan karbon amorf dari pelat-pelat datar disusun oleh atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi heksagonal datar dengan satu atom C pada setiap sudutnya yang luas permukaan berkisar antara  $300 \text{ m}^2/\text{g}$  hingga  $3500 \text{ m}^2/\text{g}$  dan ini berhubungan dengan struktur pori internal sehingga mempunyai sifat sebagai adsorben. Proses aktivasi merupakan suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi (Hartanto, 2010), diantaranya:

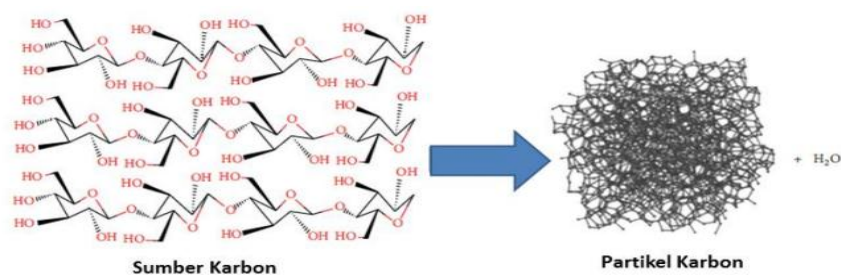
1. Karbon sferik diaplikasikan dalam nanodevice, penyimpanan energi, teknologi pemisahan, adsorben, katalis, anoda baterai, dan template pembentuk material berpori.
2. Karbon berpori digunakan sebagai penukar ion, katalis, elektroda baterai, pengisi polimer, ultrafiltrasi, sensor, bahan bakar, adsorben, dan membrane.
3. Karbon koloidal memiliki keunggulan, diantaranya: banyak gugus fungsi, mudah terdispersi, mempunyai sisi aktif, dan mudah dikompositkan (Rahman et al., 2015)

Selain dari morfologi dan aplikasinya yang luas, partikel karbon juga banyak diteliti karena memiliki beberapa keunggulan, seperti: tidak berbahaya, murah, kapasitas volumetrik tinggi, kapasitas refersibel tinggi, mudah dikompositkan, berlimpah, murah, dan stabil, proses sintesis partikel karbon dengan ukuran rentang 0,10 – 1  $\mu\text{m}$  dari berbagai sumber karbon telah banyak dilakukan. Beberapa sumber karbon yang banyak digunakan oleh para peneliti, diantaranya: gula, glukosa, siklodekstrin, fruktosa, selulosa, sukrosa, amilopektin, tepung, molekul organik, dan limbah biomassa (monosakarida, heksosa, dan pentosa) yang memiliki kelimpahan tinggi, ramah lingkungan, dan kualitas produk yang baik.

Pada dasarnya, sintesis partikel karbon dapat dilakukan dengan cara mendegradasi sumber karbon pada suhu tinggi. Secara umum, sintesis partikel karbon dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu: karbonisasi (1) dan dehidrasi (2) menurut persamaan sebagai berikut:



Ilustrasi gambar (1), (2)



Gambar 2.2. Sintesis Karbon Dengan Metode Dehidrasi



Gambar 2.3. Sintesis Karbon Dengan Metode Karbonisasi

Namun, metode karbonisasi yang didukung dengan hidrotermal memiliki keunggulan dapat mengatur morfologi karbon sesuai dengan suhu reaktor. Pada suhu reaktor yang tinggi akan diperoleh produk karbon berupa: nanotube, grafit, dan karbon aktif, sedangkan pada suhu reaktor yang rendah akan diperoleh material karbon dengan ukuran, permukaan, dan gugus fungsi yang beragam. Penelitian tentang sintesis partikel karbon lebih tertuju pada optimasi struktur, morfologi, dan ukuran yang ditujukan untuk memperoleh karbon yang berukuran kecil dengan kristalinitas tinggi menggunakan metode yang efisien dalam penggunaan energy. Berdasarkan keunggulan dan nilai aplikatif yang tinggi dari karbon, maka banyak peneliti yang telah melakukan sintesis karbon dengan ukuran dan morfologi tertentu. (Rahman et al., 2015)

### 2.3 Nanopartikel

Nanopartikel adalah partikel berukuran antara 1-1000 nanometer. Sediaan nanopartikel yang bersifat biodegradable digunakan untuk meningkatkan nilai terapi berbagai obat yang sukar larut dalam air atau obat-obat yang bersifat lipofilik dengan meningkatkan bioavailabilitas kelarutan dan waktu retensi. Nanopartikel juga memiliki beberapa kelebihan yaitu, mampu menembus ruang antar sel yang hanya dapat ditembus oleh ukuran partikel koloidal, kemampuan untuk menembus dinding sel yang lebih tinggi, serta fleksibilitasnya untuk dikombinasikan dengan berbagai teknologi lain sehingga berpeluang untuk dikembangkan pada berbagai keperluan dan target yang ingin dicapai.. Kelebihan lain dari teknologi ini adalah kemampuannya untuk dikombinasikan dengan berbagai molekul pendukung tambahan, sehingga menghasilkan sebuah sistem baru dengan spesifikasi yang lebih lengkap.



Penghantaran nanopartikel dideskripsikan sebagai formulasi suatu partikel yang terdispersi pada ukuran nanometer atau skala per seribu mikron. Meskipun demikian secara umum tetap disepakati bahwa nanopartikel merupakan partikel yang memiliki ukuran di bawah 1 mikron. Beberapa kelebihan nanopartikel adalah kemampuan untuk menembus ruang-ruang antar sel yang hanya dapat ditembus oleh ukuran partikel koloidal, kemampuan untuk menembus dinding sel yang lebih tinggi, baik melalui difusi maupun opsonifikasi, dan fleksibilitasnya untuk dikombinasi dengan berbagai teknologi lain sehingga membuka potensi yang luas untuk dikembangkan pada berbagai keperluan dan target. Kelebihan lain dari nanopartikel adalah adanya peningkatan afinitas dari sistem karena peningkatan luas permukaan kontak pada jumlah yang sama. Nanopartikel juga memiliki beberapa kekurangan yang sering timbul pada saat preparasi seperti agregasi yang cepat dan memiliki keseragaman ukuran partikel yang tidak merata, mengakibatkan stabilitas dari sistem dispersi menjadi sulit dikontrol. Permasalahan dapat dipahami dengan melakukan karakterisasi secara menyeluruh pada nanopartikel (nanopartikel, 20212)

#### 2.4 Nanokarbon

Nanokarbon didefinisikan sebagai material karbon yang diproduksi dengan ukuran dan struktur berskala nanometer. Ada beberapa bentuk susunan unsur karbon diantaranya (Larasati et al., 2019):

1. Fullerene atau buckminsterfullerene atau disebut juga bucky ball, yaitu lembaran grafit yang membentuk bola *Fullerene* terdiri dari karbon-karbon  $sp^2$  dan  $sp^3$ , contohnya adalah  $C_{60}$ , yaitu fullerene yang terdiri dari 12 cincin pentana dan 20 cincin heksana
2. Carbon onions yang terdiri dari beberapa lapisan karbon yang konsentrik disekeliling inti kosong (hollow core) Diameter hollow core dai carbon onions  $<5$  nm dan sangat tidak teratur. Bentuk carbon onion sangat bervariasi tergantung bentuk katalis. Lapisan grafit yang konsentrik seperti bola,(squal spherical) dan lembaran grafit yang digulung mengelilingi partikel bola dan menunjukkan bulatan yang sama

3. Karbon nanofilamen adalah nanokarbon berbentuk filament secara umum, karbon nanofilamen terdiri dari carbon nanofiber (CNF) dan carbon nanotube (CNT). Bentuk-bentuk nanofilamen secara umum adalah:
- a) Carbon nanotube (CNT) ditemukan pertama kali oleh Sumio Iijima pada tahun 1991. CNT merupakan lembaran grafit yang membentuk tabung atau silinder. Lembaran grafit ini tersusun dari ikatan heksagonal atom-atom karbon. Berdasarkan jumlah penyusun dindingnya, CNT dibagi menjadi dua jenis, yaitu single-walled carbon nanotube (SWCNT) dan multi-walled carbon nanotube (MWCNT).
    - **Single Walled Carbon Nanotube (SWCNT)**  
SWCNT memiliki satu lapisan grafit dengan diameter 0,4 nm-2,5 nm dan panjang beberapa micrometer sampai beberapa millimeter. CNT jenis SWCNT memiliki sifat-sifat yang lebih unggul daripada MWCNT karena diameternya yang sangat kecil dan banyak diaplikasikan sebagai Hydrogen Storage untuk fuel cell. CNT jenis SWCNT memiliki 3 jenis bentuk struktur yang berbeda, antara lain: armchair type, zigzag type, dan chiral type.
    - **Multi Walled Carbon Nanotube (MWCNT)**  
MWCNT merupakan SWCNT yang tersusun secara aksial konsentrik, panjang dan struktur MWCNT berbeda dengan SWCNT dengan yang lainnya sekitar 0,36 nm. Lapisan grafit pada MWCNT bervariasi jumlahnya dua hingga beberapa puluh lapisan, sehingga memungkinkan diameternya mencapai 100 nm. MWCNT lebih mudah diproduksi dan biaya produksinya lebih rendah. Biaya produksi SWCNT lebih tinggi karena dibutuhkan biaya tambahan untuk pemurniannya.
  - b) **Platet Carbon Nanofiber**, berupa lapisan grafit kecil yang tegak lurus dengan arah aksial fiber. Nanofiber ini harus memiliki hydrogen atau atom lainnya dalam jumlah tak terbatas untuk stabilisasi piringan (plate). Platet carbon nanofiber dapat pula berbentuk spiral biasanya partikel padatan pada bagian tengah fiber.

- c) Fishbone carbon nanofiber, dimana lapisan grafit memiliki kemiringan dari sumbu aksialnya. Seperti platelet, juga dibutuhkan hydrogen untuk menstabilkan bagian ujungnya. Fishbone carbon nanofiber dapat berinti kosong (hokkow core) maupun berinti padatan (solid core)
- d) Ribbon carbon nanofiber, berupa lapisan grafit yang lurus dan tidak tergulung yang posisinya sejajar dengan sumbu aksial fiber
- e) Stacked cup carbon nanofiber, berupa lapisan grafit yang kontinuitas sepanjang sumbu aksial fiber
- f) Bamboo-shaped carbon filament, berbentuk seperti bambu, dimana banyak terdapat ruang kosong dan sambungan-sambungan.

Nanokarbon adalah karbon  $sp^2$  berlapis tunggal dan datar. Nanokarbon memiliki keistimewaan dibandingkan dengan material lainnya yaitu luas permukaan yang besar ( $2630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ), konduktivitas elektrik yang tinggi ( $1250 \text{ S cm}^{-1}$ ) konduktivitas termal ( $4840\text{-}5300 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ), dapat berinteraksi dengan nano partikel katalis dan memiliki orbital- $\pi$ . Oleh karena itu, nanokarbon telah banyak diaplikasikan untuk superkapasitor, industri elektronika, pesawat terbang, industri otomotif, baterai, konduktor, kapasitor dan sel bahan bakar. Saat ini nanokarbon telah diaplikasikan untuk sel bahan bakar hidrogen. Sel bahan bakar (fuel cell) merupakan suatu piranti elektrokimia yang dapat mengubah secara langsung energi kimia menjadi energi listrik. Sel bahan bakar hidrogen disusun oleh dua elektroda, yakni anoda dan katoda (Pertiwi, 2019)

Dari sisi sifat-sifat fisika dan kimia, partikel nano karbon (CNPs) adalah material yang unggul dengan aplikasi yang luas. Keluasan aplikasi ini karena beragam morfologi dari CNPs, seperti koloid, bola, tabung dll. Perbedaan morfologi menentukan aplikasi CNPs. Sebagai contoh CNPs bola digunakan sebagai peralatan nano, penyimpanan energi, katalis, adsorben. CNPs berpori digunakan sebagai bahan bakar, elektroda baterai, pengisi polimer, katalis dll. Sampai saat ini, produksi CNPs dari berbagai sumber karbon telah dilakukan oleh banyak peneliti. Beragam sumber karbon itu seperti biomassa, selulosa, glukosa, fruktosa, dll digunakan untuk memproduksi CNPs. melakukan sintesis karbon mikroperik dari senyawa monosakarida (xylosa dan fruktosa) dan fenolik (fenol, resersinol, dan floroglusinol (Ngafwan et al., 2018)



Nanokarbon merupakan material dua dimensi monoatomik dari satu lapis grafit yang ditemukan pada tahun 2004 oleh Andre K. Geim dan Konstantin Novoselov. Saat ini nanokarbon banyak diinvestigasi oleh para peneliti dari berbagai bidang karena tertarik dengan keunggulan dan sifat unik yang dimilikinya. Dengan ketebalan sekitar satu atom karbon, nanokarbon memiliki transparansi optik hingga 97,7%. Struktur yang terdiri dari lapisan-lapisan membuat nanokarbon sangat konduktif dengan mobilitas pembawa muatan hingga  $200.000 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$  dan konduktivitas termal hingga  $5.300 \text{ Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$ . Dengan keunggulan sifat yang dimilikinya, nanokarbon berpotensi besar untuk dikembangkan sebagai komponen perangkat elektronik (Syakir et al., 2015), Aplikasi nanokarbon sangat luas diberbagai bidang seperti nanoelektrik, sensor, nanokomposit, baterai, superkapasitor, semikonduktor, dan elektroda transparan (Honoris et al., 2020)

Nanokarbon juga merupakan material karbon dua dimensi yang memiliki sifat yang unik dan luar biasa sehingga memiliki potensi yang cukup besar dalam berbagai aplikasi. Nanokarbon memiliki banyak potensi aplikasi seperti di bidang baterai, pengisi polimer, sensor, konversi energi, dan perangkat penyimpanan energi. Dengan mempertimbangkan potensi dan aplikasi nanokarbon tersebut, sehingga kebutuhan akan nanokarbon akan terus dan perlu ditingkatkan. Nanokarbon menjadi bahan baku yang banyak dicari, akan tetapi ketersediaan nanokarbon masih terbatas, sehingga bagaimana menghasilkan bahan ini dalam jumlah yang banyak menjadi perhatian yang menarik. Salah satunya pengembangan metode sintesis yang sederhana dan efisien untuk pengadaan nanokarbon sangat dibutuhkan. Metode yang paling banyak digunakan untuk sintesis nanokarbon adalah oksidasi grafit secara kimia (Hidayat et al., 2019)

Nanokarbon terdiri dari hibridisasi  $sp^2$  atom karbon yang memiliki struktur hexagonal dan tersusun dalam kisi kristal sarang lebah. Bahan karbon dua dimensi ini memiliki luas permukaan spesifik  $2.600 \text{ m}^2/\text{g}$  dengan struktur sarang lebah yang berpotensi menghasilkan kapasitas penyimpanan litium yang lebih tinggi, stabilitas kimia dan sifat mekanik yang baik menjadi target yang menarik untuk membentuk material komposit yang digunakan sebagai dasar elektroda (Darmadi, 2019)

Nanokarbon, berupa lembar molekuler dari grafit memiliki aplikasi potensial di berbagai bidang ilmu material untuk pengembangan nanokomposit, sensor, superkapasitor, penyimpanan hidrogen dan perangkat optoelektronik. Nanokarbon adalah semikonduktor dengan celah pita nol dan dengan mobilitas muatan sangat tinggi. Bahkan, mobilitas elektron dalam nanokarbon bisa mencapai nilai yang lebih tinggi dari yang ditemui pada transistor silikon. Hal ini membuka kemungkinan menarik bahwa suatu hari nanokarbon mungkin menggantikan silikon sebagai primadona industri elektronik dan merevolusi nanoelektronik. Meskipun keberadaan nanokarbon sudah dikenal sejak lama, materinya belum pernah benar-benar disintesis. Fungsi nanokarbon dalam perkembangan aplikasinya didasarkan pada sifat elektronik, optik, mekanik, dan termal yang luar biasa, maka dilakukan penelitian mengenai nanokarbon lebih mendalam termasuk mengembangkan sifat penting nanokarbon digabungkan dalam matriks polimer dengan dispersi yang homogen dan kontrol antarmuka yang bagus (Purwandari Vivi, 2020)(Maiti & Bidinger, 1981)

#### 2.4.1 Sifat Nanokarbon

Dari sifat-sifat nanokarbon kita dapat memanfaatkan material nanokarbon .nanokarbon memiliki sifat dan karakteristik sebagai berikut (Hu et al., 2010)

1. Memiliki transparansi sangat tinggi. Hal ini disebabkan oleh dimensi nanokarbon yang mirip selembur kertas dan ketebalannya yang berorde atom, meskipun memiliki transparansi yang tinggi nanokarbon tetap memiliki kerapatan yang cukup tinggi yaitu  $0,77 \text{ mg/m}^2$  .
2. Memiliki daya tahan terhadap tekanan sebesar  $42 \text{ N/m}^2$  , dibandingkan dengan baja yang memiliki kekuatan tekanan  $(0,25 - 1,2) \times 10^9 \text{ N/m}^2$  , sehingga dapat dikatakan bahwa nanokarbon seratus kali lebih kuat dari baja.
3. Ikatan atom karbonnya sangat fleksibel yang memungkinkan jaringannya merenggang hingga 20% dari ukuran awal.
4. Bersifat konduktor listrik dan konduktor panas, sifat konduktivitas listrik nanokarbon berasal dari elektron ikatan phi yang terdelokalisasi di sepanjang ikatan C-C dan bertindak sebagai pembawa muatan.

5. Kisi-kisi pada nanokarbon memungkinkan elektronnya untuk dapat menempuh jarak yang jauh dalam nanokarbon tanpa gangguan. Pada konduktor normal, elektron biasanya mengalami pantulan berkali-kali yang dapat melemahkan daya kerja konduktor, namun hal ini tidak terjadi pada nanokarbon.
6. Elektron-elektron pada nanokarbon berperilaku sebagai partikel cahaya, foton-foton tanpa massa yang dalam keadaan vakum dapat bergerak dengan kecepatan 300.000.000 m/s. Elektron dalam nanokarbon karena tidak memiliki massa maka dapat bergerak dengan kecepatan konstan sebesar 1.000.000 m/s. Tidak bermassa disini adalah bahwa ketika elektron pada nanokarbon bergerak maka seolah-olah elektron tersebut tidak bermassa karena memiliki resistivitas yang hampir nol sehingga elektron dapat bergerak dengan kecepatan konstan.
7. Dengan transparansi hampir 98% dan dapat menghantarkan arus listrik dengan sangat baik, nanokarbon berpeluang untuk diaplikasikan pada pembuatan lapisan sentuh yang transparan, panel listrik dan sel surya.
8. Campuran 1% nanokarbon dengan bahan plastik dapat membuat bahan plastik bersifat menghantarkan panas. Resistansi plastik akan meningkat sampai 30<sup>0</sup>C bersamaan dengan meningkatnya kekuatan mekanis, hal tersebut memberi peluang untuk menghasilkan material baru yang sangat kuat, tipis, elastis dan tembus pandang.

#### **2.4.2 Aplikasi Nanokarbon**

Beberapa aplikasi nanokarbon dalam kehidupan adalah sebagai berikut (Ui, 2012) :

1. Penyimpan energy

Bahan bahan yang mengandung karbon biasanya digunakan sebagai elektroda fuel cell, baterai, dan aplikasi elektrokimia lainnya. Salah satu nanokarbon yang memiliki ukuran yang kecil, topologi permukaan yang halus dan hamper sempurna adalah CNT.

a. Penyimpanan hydrogen

Nanokarbon dapat menyimpan cairan atau gas pada bagian dalamnya melalui efek kapiler, karena bentuknya yang berupa silinder kosong dan ukuran diameternya yang berskala nanometer. Hydrogen dapat diasorb dengan dua cara, yaitu dengan chemisorptions, dimana molekul H<sub>2</sub> berdisosiasi dan hydrogen disimpan dalam bentuk atom, dan dengan physisorption, dimana hydrogen disimpan dalam bentuk molekul jenis CNT yang berdiameter kecil panjang dan seragam (SWCNT) dianggap sebagai CNT yang berkualitas baik untuk penyimpanan hidrogen

b. Supercapacitor

Supercapacitor memiliki kapasitansi (kemampuan dalam menyimpan muatan listrik) yang tinggi sehingga berpotensi untuk digunakan pada peralatan elektronik. Kapasitansi kapasitor dipengaruhi oleh geometri kapasitor, yaitu jarak pisah antar elektroda, luas elektroda dan permitivitas bahan penyekat. Pada elektroda nanokarbon, kapasitansi yang sangat besar timbul karena jarak pisah antar elektroda berskala nanometer dan luas permukaan nanokarbon yang besar

2. Peralatan elektronik

a. Field emitting devices

Pada medan listrik yang tinggi, electron dapat terekstarksi dari suatu padatan. Arus emisi ini tergantung pada kekuatan medan listrik pada permukaan teremisi dan pada jumlah energy yang dibutuhkan untuk mengekstraksi suatu electron. Emitter yang ideal adalah yang mempunyai diameter berukuran nanometer, nerstruktur utuh, konduktivitas listrik tinggi, dan stabilitas kimia yang baik. Penggunaan nanokarbon dalam field emitting devices adalah untuk flat panel display, tabung gas discharge pada jaringan telekomunikasi, electron guns untuk mikroskop electron dan perangkat memori (suspended nanotube device architecture)

### 3. Nanokarbon dan sensor

Nanokarbon dapat pula digunakan sebagai scanning probe instrumentns karena karakterisasinya yang fleksibel. Penggunaan nanokarbon akan meningkatkan resolusi instrument dibandingkan dengan penggunan Si

### 2.4.3 Manfaat Nanokarbon

Beberapa manfaat nanokarbon dalam kehidupan adalah sebagai berikut :

#### 1. Mesin Motor

Dalam percobaan bahan berbasis nanokarbon tubular dapat difungsikan dengan nanopartikel di area tertentu bagian motor seperti dinding luar dan dinding dalam untuk memberikan sifat magnet dan fotoelektrik yang unik dalam mikromotor yang ada. Dimana dinding bagian dalam tabung motor dimodifikasi dengan logam Pt nanopartikel dengan penyegelan berlapis. Sehingga akan menghasilkan O<sub>2</sub> yang dekomposisi.

#### 2. Mesin Aktuator

menyiapkan serat nanokarbon melalui proses reduksi dengan bantuan laser pada daerah spesifik serat nanokarbon yang dipakai. Karena nanokarbon mengandung oksigen membuatnya bersifat lebih hidrofilik. Maka dari itu, dapat berkembang melalui penyerapan uap air. Dengan demikian akan menghasilkan mesin aktuator dengan kelembapan dan daya tahan yang tinggi.

#### 3. Sensor

menggunakan proses Chemical Vapor Deposition (CVD) untuk menyiapkan serat nanokarbon dengan logam tembaga sebagai substratnya. Serat grafenanya dilapisi dengan PVA untuk mempersiapkan “coresheath” sensor regangan komposit.

#### 4. Perangkat LCD

Blake melaporkan bahwa film nanokarbon dibuat dengan stripping mekanis metode digunakan sebagai elektroda transparan dalam perangkat Liquid Crystal Devices (LCD).



## 5. Baterai

Nanokarbon dapat dipertimbangkan menjadi material aktif dalam mekanisme penyimpanan energi, misalnya menjadi wadah (host) terhadap ion Li dan Na didalam ion baterai, misalnya Li/Grafena mempunyai kapasitas spesifik (744 mAhg-1) dan Li/Grafit (372 mAhg-1). Nanokarbon dapat digunakan sebagai material pada anoda dan katoda baterai, dikarenakan konduktifitasnya tinggi dan luas permukaannya besar.

## 6. Electric Charge Storage

pada Kapasitor nanokarbon dapat digunakan sebagai kapasitor untuk menyimpan muatan listrik, dengan cara mendepositkan MnO<sub>2</sub> ke permukaan nanokarbon yang akan menghasilkan kapasitansi 250 F/g lebih tinggi dari nanokatanpa MnO<sub>2</sub> (200 F/g). Kapasitor dalam Nanokarbon mempunyai keunggulan yaitu perbandingan luas permukaan terhadap massa yang besar, sehingga menghasilkan nilai kapasitansi per-satuan massa mencapai 205 F/gram dan rapat energi 28,5 Wh/kg. Dihubungkan dengan kecepatan mengalirkan muatan listrik, kapasitor grafena mencapai nilai rapat daya 10 kW/kg (Pertiwi, 2019)

## 2.5 Metode Hidrotermal

Pada dasarnya metode ini terdiri dari dua tahap utama, yaitu: pemanasan pada suhu rendah dan karbonisasi pada suhu tinggi. Pada prinsipnya metode ini memproduksi karbon dengan cara: merubah kelarutan, melelehkan bagian kristalin, mempercepat interaksi fisikokimia, perantara reaksi asam/basa atau ionik, dan pengendapan material karbon. Metode ini dibagi kedalam dua daerah suhu, yaitu: 300-800°C untuk membentuk karbon nanotube, material grafit, dan karbon aktif. Pada suhu kurang dari 300°C akan terbentuk material karbon fungsional akibat proses polimerisasi dan dehidrasi. Metode ini memiliki keunggulan, diantaranya:

1. Ukuran karbon ditentukan oleh variabel reaksi seperti: suhu, waktu, dan konsentrasi reaktan ketika proses hidrotermal.
2. Permukaan karbon lebih halus.
3. Ramah lingkungan dan murah untuk membuat karbon berbasis biomassa.

4. Metode ini bisa digunakan untuk memperoleh produk, seperti: oksida, halida, zeolit, sulfida, material berpori, dan senyawa anorganik (oksida fungsional dan nanomaterial non oksida).
5. Bahan baku dan proses sintesis yang aman, menggunakan sumber terbarukan, instrumentasi dan teknik yang sederhana, mudah mengkopositkan, dan murah (Rahman et al., 2015).

Keuntungan metode hidrotermal dibandingkan dengan metode lainnya, antara lain menghemat energi, proses sederhana, bebas polusi (karena dilakukan pada sistem tertutup), biayanya cukup efisien, tingkat dispersi lebih tinggi, dan temperatur operasi yang lebih rendah dengan pelarut yang tepat, serta kemudahan dalam mengontrol bentuk. Selanjutnya material hasil sintesis melalui metode hidrotermal juga lebih homogen karena prosesnya terjadi secara perlahan (Sugesti, 2018)

Karbonisasi hidrotermal (HTC) adalah proses termo-kimia untuk pemulihan dan valorisasi biomassa dan limbah organik yang menggunakan air cair sub-kritis sebagai media reaksi pada suhu ringan (180-250 °C) untuk mengubah bahan baku menjadi produk bernilai tambah. Keuntungan dari proses hidrotermal karena menggunakan energi yang lebih rendah daripada proses pirolisis karena suhu operasi lebih rendah daripada proses pirolisis. Studi tentang sintesis karbon nano aktif menggunakan prekursor biomassa telah dilakukan sebelumnya. telah membuat karbon aktif dari chitosan oleh treatment hidrotermal pada suhu 200 ° C dengan luas permukaan sekitar 852 m<sup>2</sup>/ g. Penelitian ini berfokus pada pembuatan karbon nano aktif dari tandan buah kosong kelapa sawit dengan karbonisasi hidrotermal untuk aplikasi supercapacitor dengan menambahkan bahan baku deashing pra-treatment (Larasati et al., 2019)

## **2.6 Teknik Karakterisasi**

### **2.6.1 Scanning Electron Microscopy (SEM)**

SEM adalah alat yang dapat membentuk bayangan permukaan spesimen secara makroskopik. Berkas elektron dengan diameter 5-10 nm diarahkan pada spesimen interaksi berkas elektron dengan spesimen menghasilkan beberapa fenomena yaitu hamburan balik berkas elektron, sinar-x, elektron sekunder,

absorpsi elektron. Adanya material lain dalam suatu matriks seperti dispersi material tersebut menyebabkan terjadinya perubahan pada permukaan spesimen. Untuk melihat perubahan dalam bahan tersebut dapat dilakukan suatu analisis permukaan, dimana alat yang biasa digunakan adalah SEM. Teknik SEM pada hakikatnya merupakan pemeriksaan dan permukaan. Data atau tampilan yang diperoleh adalah data dari permukaan atau dari lapisan yang tebalnya sekitar 20  $\mu\text{m}$  dari permukaan yang diperoleh merupakan gambar topografi dengan segala tonjolan, lekukan, dan lubang permukaan. Gambar topografi diperoleh dari penangkapan elektron sekunder yang dipancarkan oleh spesimen. Sinyal elektron sekunder yang dihasilkan ditangkap oleh detektor dan diteruskan ke monitor. Pada monitor akan diperoleh gambar yang khas yang menggambarkan struktur permukaan spesimen. Selanjutnya gambar di monitor dapat dipotret dengan menggunakan film hitam putih atau dapat pula direkam ke dalam suatu disket (Mestika, 2019)

SEM berbeda dengan mikroskopi elektron transmisi (TEM) dalam hal bahwa suatu berkas insiden elektron yang sangat halus di-scan menyilangi permukaan sampel dalam sinkronisasi dengan berkas tersebut dalam tabung sinar katoda. Elektron-elektron yang terhambur digunakan untuk memproduksi sinyal yang memodulasi berkas dalam tabung sinar katoda, yang memproduksi suatu citra dengan kedalaman medan yang besar dan penampakan yang hampir tiga dimensi. Dalam penelitian morfologi permukaan SEM terbatas pemakaiannya, tetapi memberikan informasi yang bermanfaat mengenai topologi permukaan dengan resolusi sekitar  $100\text{\AA}$ . Aplikasi-aplikasi yang khas mencakup penelitian disperse-dispersi pigmen dalam cat, pelepuhan atau peretakan koting, batas-batas fasa dalam polipaduan yang tak dapat campur, struktur sel busa-busa polimer, dan kerusakan pada bahan perekat. SEM teristimewa berharga dalam mengevaluasi betapa penanaman (implant) bedah polimerik bereaksi baik dengan lingkungan bagian tubuhnya (Mestika, 2019)

Prinsip kerja SEM adalah difraksi elektron, yaitu dengan cara menembakkan permukaan benda dengan berkas elektron berenergi tinggi pada permukaan sampel. Berkas elektron yang mengenai permukaan sampel akan menghasilkan pantulan berupa berkas elektron sekunder yang memancarkan

ke segala arah. Berkas elektron sekunder yang memancar ke segala arah ini akan tertangkap oleh detektor, kemudian informasi dari detektor dilanjutkan ke transducer yang berfungsi mengubah signal menjadi gambar. Gambar yang tergambar diperoleh dari berkas elektron sekunder yang terpancar secara acak sehingga dapat memberikan informasi morfologi permukaan (Darmadi, 2019)

### 2.6.2 *X-Ray Diffraction (XRD)*

Sinar-X pertama kali ditemukan oleh Wilhelm Conrad Roentgen pada tahun 1895 yang sangat berperan penting dalam inovasi semua disiplin ilmu sains serta membuat pengembangan medis baru dan aplikasi teknis. Secara khusus, penelitian tentang Difraksi Sinar-X (XRD) dari kristal yang dikemukakan oleh Laue, Friedrich dan Knipping pada tahun 1912 membawa adanya ilmu baru dalam studi kristal. Sejak saat itu, metode ini telah dikembangkan lebih lanjut untuk menjadi alat yang sangat kuat di bidang sains dan teknik material, khususnya pada studi kristal. Penentuan kesesuaian struktur kristal yang terbentuk dilakukan dengan mencocokkan setiap puncak yang muncul pada difraktogram pada nilai sudut  $2\theta$  dan  $d$  tertentu hasil analisis dengan data dari JCPDS (Joint Committee Powder Diffraction Standar) sehingga diperoleh informasi orientasi bidang kristal yang terbentuk. Jika semua orientasi bidang kristal teridentifikasi dipastikan struktur kristal terdapat kesesuaian (Pertiwi, 2019)

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 sel satuan (unit cell). Sel satuan merupakan suatu bagian terkecil dari unit struktur yang dapat menjelaskan struktur suatu kristal.

Tiga sisi suatu sel satuan disebut sudut-sudut permukaan batas (antar permukaan) Berdasarkan sumbu (kisi bidang) dan kisi ruang, kristal dapat dikelompokkan menjadi 7 sistem kristal, Dimana semua struktur kristal dapat digambarkan atau dijelaskan dalam istilah lattice (kisi) dan sebuah basis yang ditempatkan pada sebuah titik kisi. Lattice (kisi) merupakan sebuah susunan titik yang teratur dan periodik di dalam ruang. Sedangkan basis merupakan sekumpulan atom-atom yang menghubungkan titik kisi, dengan jumlah atom dalam basis terdiri dari satu buah atom atau lebih. Sehingga gabungan antara kisi dan basis akan membentuk struktur Kristal (Hana malyana, 2019)

### **2.6.3 *Fourier Transform Infrared (FTIR)***

Spektroskopi FTIR ini adalah suatu alat atau instrument yang dapat digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi. Spektroskopi FTIR dapat menganalisis adanya campuran dalam sampel tanpa merusak sampel yang akan dianalisisnya. Spektrum inframerah yang dihasilkan merupakan informasi data yang kompleks, sehingga dapat menggambarkan secara menyeluruh karakteristik kimia suatu sampel. Oleh karena itu, spektrum inframerah ini dapat membedakan tumbuhan yang satu dengan yang lainnya (Andriansyah et al., 2021) Fourier Transform-Infrared Spectroscopy atau yang dikenal dengan FT-IR merupakan suatu teknik yang digunakan untuk mengkomposisi kimia dari senyawa organik, polimer, coating atau pelapisan, material semi konduktor, sampel biologi, senyawa anorganik, dan mineral. FT-IR mampu mengidentifikasi suatu material baik secara keseluruhan, lapisan tipis, cairan, padatan, pasta, serbuk, serat, dan bentuk yang lainnya dari suatu material (Manifestasi et al., 2020)

### **2.6.4 *Particle Size Analyzer (PSA)***

Merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk pengujian distribusi ukuran partikel berukuran nanometer. Kebenaran dan keabsahan hasil pengujian sangat tergantung pada kebenaran dan ketelitian alat ukur dan alat uji yang memenuhi sistem mutu sesuai dengan standar internasional ISO/IEC 17025 : 2008 Particle Size Analyzer (PSA) HORIBA LB 550 merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel berukuran



nanometer. Prinsip pengukuran alat PSA ini berdasarkan pada hamburan cahaya laser oleh partikel-partikel dalam sampel. Cahaya yang berasal dari laser dipancarkan melalui pinhole (jarum kecil) kemudian dikirim ke partikel dalam sampel. Partikel-partikel dalam sampel menghamburkan kembali cahayanya melalui pinhole dan masuk ke detector (Nuraeni et al., 2013)

### **2.6.5 Uji Konduktivitas**

Konduktivitas termal merupakan besaran yang menyatakan kemampuan suatu material dalam menghantarkan suatu panas. Nilai konduktivitas termal suatu bahan tentunya berbeda beda. Hubungan nilai konduktivitas termal dengan kemampuan menghantarkan panas adalah sebanding. Artinya semakin besar nilai konduktivitas termalnya, maka semakin besar kemampuan dalam menghantarkan panas . Nilai konduktivitas termal pada berbagai material memiliki perbedaan secara signifikan. Hal ini tentunya dipengaruhi oleh banyak faktor. Faktor utama yaitu ada pada nilai densitas dan porositas material. Untuk faktor densitas merupakan ukuran kemampatan pada material, jadi semakin besar densitasnya, maka nilai konduktivitas termalnya juga semakin besar. Kemudian yang kedua yaitu porositas. Dimana porositas merupakan kemungkinan ruang kosong pada suatu material. Porositas selalu berbanding terbalik dengan densitas, maka pada nilai konduktivitas termal nilainya juga akan berbanding terbalik. Berdasarkan hal tersebut tentunya nilai konduktivitas termal pada berbagai material akan memiliki nilai yang berbeda-beda (Alim et al., 2017)