

CARBON DOTS

Sintesis, Karakterisasi dan Aplikasinya

Marpongahtun

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku monograf yang berjudul “**Carbon Dots: Sintesis, Karakterisasi, dan Aplikasinya**” melalui proses penelitian yang telah dilakukan sejak tahun 2018 hingga saat ini. Tempat dan objek penelitian yang dipilih adalah Kota Medan.

Buku ini disusun dengan maksud memberi pengantar mengenai nanoteknologi khususnya *carbon dots*, berisi tentang metode sintesis dan karakterisasi *carbon dots* dalam menentukan sifat optik dan fisik sehingga dapat diaplikasikan dalam bidang kesehatan, industri, dan teknologi informasi. Disamping itu memanfaatkan biomassa atau sampah organik masyarakat untuk diolah dan dijadikan sebagai sumber *carbon dots*.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu sehingga buku monograf ini terselesaikan. Kritik, masukan dan saran dari pembaca yang budiman sangat diharapkan demi kebaikan dan kesempurnaan buku ini.

Medan, Mei 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	iv
BAB 1 KARBON DOTS	1
1.1. Nanoteknologi	1
1.2. Karbon Dots	6
1.3. Karakterisasi Morfologi dan Struktur Karbon Dots	8
1.4. Sifat Absorpsi Karbon Dots	9
1.5. Sifat Luminesensi Karbon Dots	11
1.6. Tinjauan dari Sifat Karbon Dots	12
1.7. Quantum Yield Karbon Dots.....	14
BAB 2 SINTESIS KARBON DOTS	17
2.1. Metode Arc Discharge.....	17
2.2. Metode Laser Ablation.....	18
2.3. Metode Elektrokimia.....	21
2.4. Metode Pirolisis.....	23
2.5. Metode Microwave	26
2.6. Metode Hidrotermal	29
2.7. Metode Solvotermal	32
2.8. Metode Template.....	38
BAB 3 KARAKTERISASI KARBON DOTS.....	40

3.1. Karakterisasi FTIR.....	40
3.2. Karakterisasi Raman	43
3.3. Karakterisasi XRD	47
3.4. Karakterisasi XPS	52
3.5. Karakterisasi TEM	55
3.6. Karakterisasi NMR	59
3.7. Karakterisasi UV Vis	63
3.8. Karakterisasi Photoluminescence	67
BAB 4 SIFAT OPTIK KARBON DOTS	73
4.1. Absorption.....	73
4.2. Photoluminescence	80
4.3. Fluorescence	83
4.4. Phosphorescence	100
BAB 5 KARBON DOTS DARI BAHAN ALAMI.....	103
5.1. Biomassa sebagai Prekursor Karbon Dots	103
5.2. Mikroorganisme sebagai Prekursor Karbon Dots.....	109
5.3. Sintesis Karbon Dots dari Molekul Bioaktif.....	111
5.4. Sintesis Karbon Dots dari Limbah Biomassa	115
5.5. Sintesis Karbon Dots dari Bahan Limbah Lainnya.....	117
BAB 6 POLIMER PADA KARBON DOTS.....	120
6.1. Polimer sebagai Prekursor pada Sintesis Karbon Dots..	120

6.2. Polimer sebagai Prekursor Tidak Langsung untuk Sintesis Karbon Dots	127
6.3. Polimer untuk Modifikasi Permukaan Karbon Dots	133
6.4. Konjugasi Karbon Dots-Polymeric Gel	139
6.5. Kompleks Karbon Dots-Molecularly Imprinting Polymers (MIP)	141
6.6. Karbon Dots Terkonjugasi dalam Film Komposit Polimer	143
BAB 7 APLIKASI KARBON DOTS	148
7.1. Aplikasi Karbon Dots Deteksi Ion Logam	148
7.2. Aplikasi Karbon Dots Deteksi Anions	149
7.3. Aplikasi Karbon Dots Deteksi Molekul	151
7.4. Aplikasi Karbon Dots Bioimaging	152
7.5. Aplikasi Karbon Dots <i>Drug Delivery</i>	155
7.6. Aplikasi Karbon Dots Fotokatalisis	156
7.7. Aplikasi Karbon Dots Pemisahan Air Tenaga Surya	158
7.8. Aplikasi Karbon Dots Konversi CO ₂	160
REFERENSI.....	163

BAB 1

KARBON DOTS

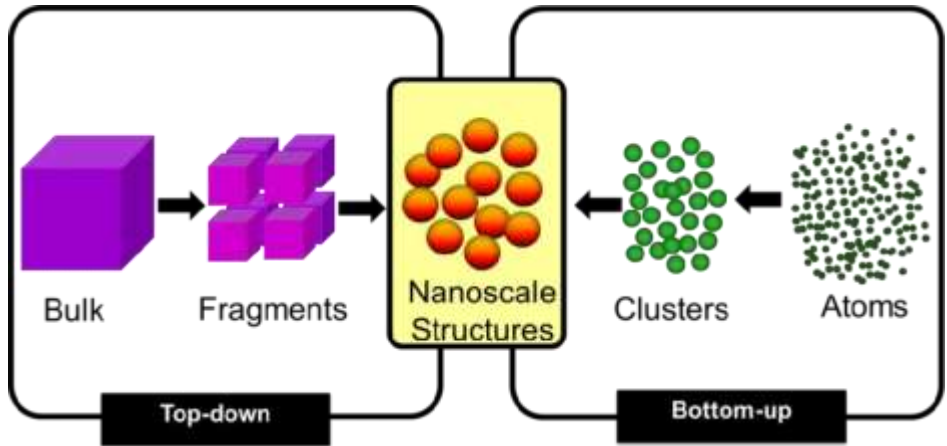
1.1. Nanoteknologi

Istilah "nanoteknologi" ditakrifkan buat pertama kali oleh Norio Taniguchi, Profesor Universiti Sains Tokyo, pada tahun 1974 dalam kertas kerjanya, " Mengenai Konsep Asas Nanoteknologi, sebagai berikut: "'Nanoteknologi' terdiri terutamanya daripada pemprosesan bahan-bahan melalui pemisahan, penyatuan, dan pencacatan bentuk oleh sebiji atom atau sebiji molekul." Istilah nanoteknologi didefinisikan pertama kali oleh Norio Taniguchi , Profesor Universiti Sains Tokyo , pada tahun 1974 dalam kertas kerjanya, Tentang Konsep Dasar Nanoteknologi, sebagai berikut: "'Nanoteknologi' terdiri terutama dari pemrosesan bahan-bahan dalam pemisahan, persatuan, dan pencacatan bentuk oleh sebiji atom atau sebiji molekul."

Nanosains dapat didefinisikan sebagai area sains yang muncul untuk mempelajari dan mengembangkan material dalam skala nano, sedangkan nanoteknologi merupakan teknologi bahan dan struktur yang keduanya berada pada level ukuran nano dengan banyak variasi dari aplikasi yang mengandalkan ukuran nano dan sifat-sifat luar biasa dari bahan nano. Nanosains dan nanoteknologi telah mengubah dunia ilmiah pada beberapa dekade ke belakang berdasarkan kemampuannya untuk mempersiapkan, mengukur, memanipulasi, materi terorganisasi pada skala nano yang meliputi rentang 1 nm hingga 100 nm. Walaupun nanoteknologi masih berada pada masa pertumbuhan, sifat-sifat yang mengagumkan,

dan potensi aplikasi dari benda nano telah menghasilkan ekspektasi yang besar, hal ini membawa banyak peneliti dan pejabat publik berkecimpung dalam dunia ini. Ada beberapa jenis perbedaan definisi antara sains dan teknik dalam hal skala nano, tetapi sangat krusial untuk menyadari bahwa istilah nanoteknologi tidak bisa diperhitungkan secara terpisah dari nanosains; perhatian lebih diberikan untuk kegiatan praktikal keduanya, namun yang terpenting adalah nanoteknologi melingkupi munculnya aplikasi baru dari nanosains.

Istilah nanoparticles telah didefinisikan oleh beberapa penulis namun definisi yang paling sesuai adalah definisi yang berasal dari IUPAC yang menyatakan bahwa NPs adalah “Particles of any shape with dimensions in the range of 1×10^{-9} and 1×10^{-7} m (Partikel dalam bentuk apapun yang berada dalam rentang antara 1×10^{-9} hingga 1×10^{-7} m)”. NPs dapat ditemukan secara alami di lingkungan atau disintesis oleh manusia melalui dua metodologi yaitu bottom-up dan top-down. Metode bottom-up berdasarkan pembentukan dari struktur nano kompleks dari molekul atau atom untuk mencapai ukuran materi nano, sedangkan pada metodologi top-down, sintesis dilakukan dari partikel dengan ukuran yang lebih besar atau nanomaterial lain sebagai prekursor yang biasanya melibatkan metode fisis.



Gambar 1.1. Metodologi sintesis nanomaterial (Rawat, 2015)

Penemuan baru dalam bidang ini muncul hampir dalam tiap minggu dan aplikasi-aplikasi baru mulai tampak dalam berbagai bidang, seperti bidang elektronik (pengembangan piranti (*device*) ukuran nanometer), energi (pembuatan sel surya yang lebih efisien), kimia (pengembangan katalis yang lebih efisien, baterai yang kualitasnya lebih baik), kedokteran (pengembangan peralatan baru pendeksi sel-sel kanker berdasarkan pada interaksi antarsel kanker dengan partikel berukuran nanometer), kesehatan (pengembangan obat-obat dengan ukuran bulir (*grain*) beberapa nanometer sehingga dapat melarut dalam cepat dalam tubuh dan bereaksi lebih cepat, serta pengembangan obat pintar (*smart*) yang bisa mencari sel-sel tumor dalam tubuh dan langsung mematikan sel tersebut tanpa mengganggu sel-sel normal), lingkungan (penggunaan partikel skala nanometer untuk menghancurkan polutan organik di air dan udara), dan sebagainya.

Perkembangan nanoteknologi terus dilakukan oleh para peneliti dari dunia akademik maupun dari dunia industri. Para

peneliti seolah berlomba untuk mewujudkan karya baru dalam dunia nanoteknologi. Salah satu bidang yang menarik minat banyak peneliti adalah pengembangan metode sintesis nanopartikel. Nanopartikel dapat terjadi secara alamiah ataupun melalui proses sintesis oleh manusia. Sintesis nanopartikel bermakna pembuatan partikel dengan ukuran yang kurang dari 100 nm dan sekaligus mengubah sifat atau fungsinya. Orang umumnya ingin memahami lebih mendalam mengapa nanopartikel dapat memiliki sifat atau fungsi yang berbeda dari material sejenis dalam ukuran besar (*bulk*).

Teknologi Nano adalah teknologi masa depan. Diperkirakan dalam 5 tahun kedepan seluruh aspek kehidupan manusia akan menggunakan produk-produk yang menggunakan teknologi nano yang diaplikasikan dalam bidang:

1. Bidang Kesehatan

Dalam bidang kesehatan, melalui nanoteknologi dapat diciptakan "mesin nano" yang disuntikan ke dalam tubuh guna memperbaiki jaringan atau organ tubuh yang rusak. Penderita hipertensi, misalnya, kini tak perlu lagi disuntik atau mengonsumsi obat, cukup hanya disemprot saja ke bagian tubuh tertentu. Nanoteknologi mencakup pengembangan teknologi dalam skala nanometer, biasanya 0,1 sampai 100 nm (satu nanometer sama dengan seperseribu mikrometer atau sepersejuta milimeter).

2. Bidang Industry

Bisa membuat pesawat ruang angkasa dari bahan komposit yang sangat ringan tetapi memiliki kekuatan seperti baja. Juga bisa memproduksi mobil yang beratnya hanya 50 kilogram. Industri fashion pun tidak ketinggalan. Mantel hangat yang sangat tipis dan ringan bisa menjadi tren di masa mendatang dengan bantuan nanoteknologi. Perkembangan pesat ini akan mengubah wajah teknologi pada umumnya karena nanoteknologi merambah semua bidang ilmu. Tidak hanya bidang rekayasa material seperti komposit, polimer, keramik, supermagnet, dan lain-lain.

3. Bidang Luar Angkasa

Nanoteknologi juga sudah berhasil menyodorkan suatu material hebat yang sangat ringan, tetapi kekuatannya 100 kali lebih kuat dari baja! Material hebat ini diberi nama *Carbon Nano-Tube* (CNT). Material ini hanya tersusun dari atom karbon (C), seperti grafit dan berlian. Kuat tetapi sangat ringan sehingga menara dapat dibuat lebih tinggi dan kabel dapat dibuat lebih panjang dan kuat tanpa takut jatuh/robah karena beratnya sendiri. Hal berikut yang sangat dibutuhkan adalah sesuatu yang cukup berat yang mengorbit mengelilingi bumi. Asteroid dapat dimanfaatkan untuk tujuan ini! Asteroid ini berfungsi sebagai beban yang menstabilkan kabel serta satelit geostasioner yang sedang mengorbit itu.

4. Bidang Teknologi Informasi

Dunia informatika dan komputer/elektronik bisa menikmati adanya kuantum yang mampu mengirimkan data dengan kecepatan sangat tinggi. Superkomputer di masa depan

tersusun dari chip yang sangat mungil, tetapi mampu menyimpan data jutaan kali lebih banyak dari komputer yang kita gunakan saat ini. Begitu kecilnya superkomputer itu, kita mungkin hanya bisa melihatnya dengan menggunakan mikroskop cahaya/elektron. Peran teknologi nano dalam pengembangan teknologi informasi (*IT, information technology*), sudah tidak diragukan lagi. Bertambahnya kecepatan komputer dari waktu ke waktu.

1.2. Karbon Dots

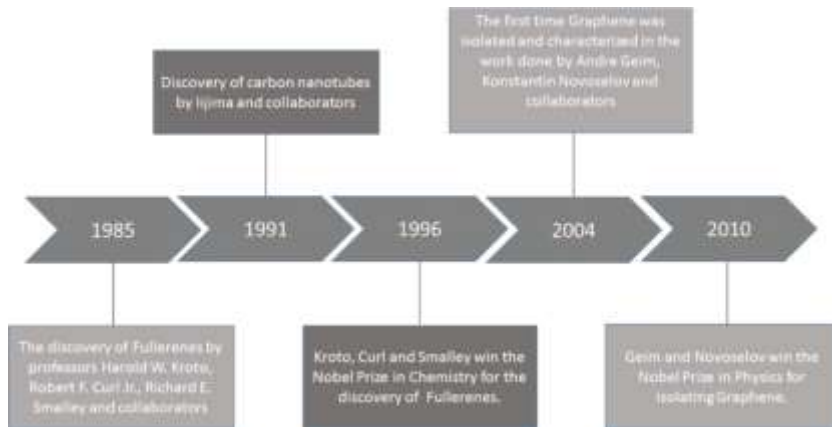
Karbon dots merupakan material karbon yang berukuran kurang dari 10 nm, berdimensi 0 (*zero dimension*) dan memiliki kemampuan memancarkan fluoresensi. Material tersebut pertama kali ditemukan selama pemurnian dari *single-walled carbon nanotube* (SWNT) melalui proses elektroforensis. Karbon dots berstruktur amorf seperti bola, memiliki kerangka karbon sp^2 , dan permukaannya dilapisi dengan kelompok yang mengandung oksigen, polimer, atau spesies lainnya. Karbon dots memiliki berbagai keunggulan sifat seperti pancaran fotoluminisensi yang tinggi, mudah larut dalam air, tidak beracun dan ketersediaan bahan baku material yang sangat melimpah di alam.

Karbon dots yang bersifat fluoresens memiliki aplikasi yang luas yaitu menjadi *bio-imaging*, *nanocarrier* untuk *drug delivery*, diagnostik medis, deteksi analit, biosensor, sensor optik dan elektrokimia, fotokatalis dan lain sebagainya. Karbon dots dapat dibuat dengan dua metode sintesis yaitu top-down dan bottom-up. Rute pada sintesis metode topdown mensintesis karbon

dots dengan cara memecah rantai karbon besar (*bulk materials*) menjadi karbon berukuran sangat kecil (nanopartikel). Metode sintesis yang termasuk ke dalam kategori top-down diantaranya ablasi laser, elektrokimia, plasma treatment dan arc-discharge. Rute sintesis pada metode bottom-up dengan mensintesis karbon dots dari molekul material mentah (*raw materials*).

Dalam beberapa kasus, untuk mendapatkan karbon dots diperlukan penambahan langkah seperti pasivasi untuk meningkatkan fotoluminesensinya atau fungsionalisasi untuk memberikan karbon dots reaktivitas kimia yang spesifik. Nanomaterial ini dicirikan berdasarkan karakteristik fotoluminesensinya, kelarutan dalam air, photobleaching, sifat inertensi kimia, biokompatibilitas, nontoksisitas, kemudahan sintesis, dan fungsionalisasi permukaan yang bersifat tunable. Berdasarkan hal tersebut, beberapa aplikasi menggunakan karbon dots telah dilaporkan dengan memanfaatkan fluoresens nanodots sebagai sensor analitik, deteksi ion logam.

Karbon menunjukkan beragam topologi valensi yang ditentukan oleh hibridisasi sp , sp^2 , dan sp^3 nya, menghantarkan nanokarbon menuju variasi bentuk yang luas dalam hal penampilan dan sifatnya. Beberapa variasi bentuk nanostruktur karbon yang telah ditemukan diantaranya adalah nanodiamonds, fullerene, nano-onions, carbon nanotubes, nanohorns, nanocones, graphene, dan fluorescent dots.



Gambar 1.2. Urutan kronologis dari penemuan struktur yang berbeda dari karbon nanopartikel (Porto *et al.*, 2020)

1.3. Karakterisasi Morfologi dan Struktur Karbon Dots

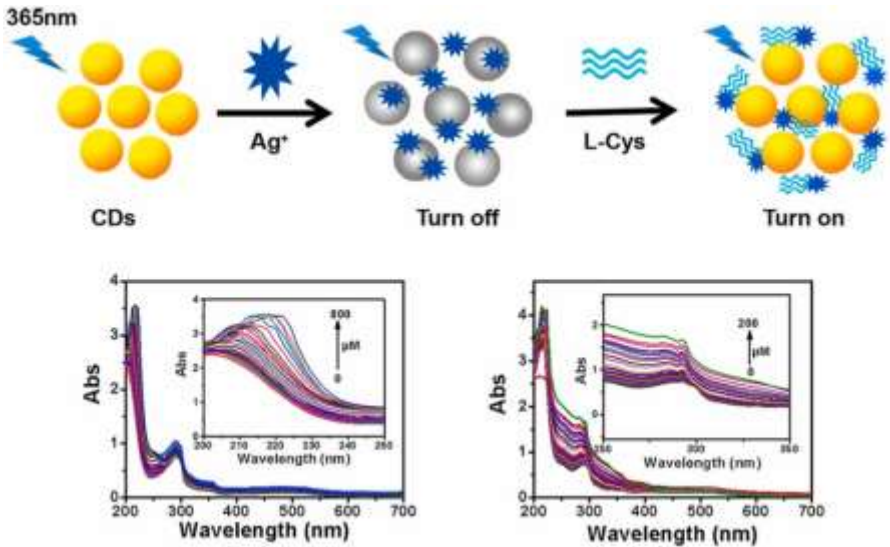
Karbon dots yang dihasilkan menggunakan metode top-down, morfologi karbon dots dipengaruhi oleh prekursor dasarnya. Untuk contoh, oksidasi kimia menggunakan HNO_3 dapat menghasilkan nanopartikel dengan diameter sekitar 5 nm dari jelaga karbon menggunakan ablasi laser dari bubuk grafit, dan grapheme nanosheets dengan ukuran 10 nm dari batubara. Morfologi karbon dots mungkin juga dipengaruhi oleh metode sintesis yang digunakan. Misalnya graphenen oxide (GO) yang dapat menjadi karbon dots dengan ukuran 3-5 nm menggunakan metode oksidasi elektrokimia, tetapi bisa menjadi karbon dots dengan ukuran 2,5 nm dengan menggunakan metode hidrotermal dalam larutan ammonia. Perubahan kecil dari kondisi eksperimen akan dapat mempengaruhi morfologi karbon dots yang didapatkan. Ukuran karbon dots yang didapatkan semakin naik seiring dengan penurunan temperatur reaksi yang digunakan. Secara umum, rata-

rata ukuran karbon dots yang dihasilkan dari metode top-down yaitu dibawah 10 nm.

Biasanya karakteristik struktur karbon dots dikarakterisasi menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR), X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS), X-ray Diffraction (XRD), Spektroskopi Raman, dan HRTEM. Spektra XPS mengindikasikan bahwa kebanyakan karbon dots disusun oleh karbon, hidrogen, oksigen, dan nitrogen (jika karbon dots didopping menggunakan nitrogen). Spektra FTIR karbon dots biasanya memperlihatkan puncak absorpsi dari C=C (1615 cm^{-1}), CO (1230 cm^{-1}), -OH (3405 cm^{-1}), C=O (1720 cm^{-1}), dan C-N untuk karbon dots dopping N (1110 cm^{-1}). Hasil eksperimen XPS dan FTIR mengindikasikan bahwa kebanyakan dari karbon dots yang diperoleh tersusun atas struktur karbon sp^2 dan gugus fungsi yang terdiri atas gugus karboksil, karbonil, hidroksil, dan epoxy.

1.4. Sifat Absorpsi Karbon Dots

Spektrum absorbansi karbon dots terukur pada spektrum cahaya tampak. Terdapat beberapa jenis ikatan yang terukur pada daerah ini. Ikatan dapat berupa ikatan $\pi - \pi^*$ karbon, atau $n = \pi^*$ (n = karbon).



Gambar 1.3. UV spectra pada karbon dots (Lu *et al.*, 2021)

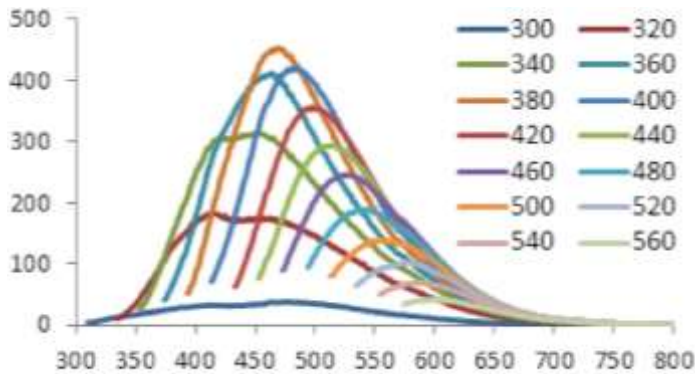
Sifat absorpsi merupakan fenomena penyerapan cahaya dari suatu material yang ditandai dengan adanya transisi elektron dari keadaan energi rendah ke energi yang lebih tinggi. Mekanisme transisi elektron yang umumnya terjadi pada material karbon dots yaitu transisi elektron pada *Highest Occupied Molecular* (HOMO) dan *Lowest Unccupied Molecular Orbital* (LUMO). Karbon dots biasanya menampakan absorpsi optik di daerah UV, dengan tail (ekor) yang memanjang ke daerah cahaya tampak. Karbon dots biasanya menunjukkan absorpsi optik yang jelas di daerah UV, yaitu pada rentang panjang gelombang 250–320 nm dengan ekor (tail) yang memanjang ke daerah tampak, sedangkan karbon dots yang telah mengalami modifikasi permukaan akan menunjukkan absorpsi optik pada 350–550 nm.

1.5. Sifat Luminesensi Karbon Dots

Luminesensi merupakan fenomena emisi cahaya oleh suatu zat. Luminesensi dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti reaksi kimia, energi listrik, pergerakan pada tingkat sub atomik, atau peregangan dalam kristal. Berdasarkan sumber eksitasinya, dikenal beberapa jenis luminesensi seperti fotoluminisensi jika digunakan sumber eksitasi optis, sementara elektroluminesensi digunakan jika eksitasi terjadi akibat arus listrik. Jenis lainnya yakni jika terjadi akibat pembombardiran material target yang dikenal dengan katodoluminisensi.

Fotoluminisensi dapat berlangsung dengan menggunakan bantuan sumber eksitasi seperti lampu UV atau laser. Emisi cahaya terjadi karena proses absorpsi cahaya oleh atom yang mengakibatkan keadaan atom tereksitasi. Keadaan atom yang tereksitasi akan kembali keadaan semula dengan melepaskan energi yang berupa cahaya (de-eksitasi).

Transisi elektron dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi terjadi ketika elektron dikenai energi. Kemudian terjadi relaksasi dimana sejumlah energi diemisikan ketika elektron kembali ke keadaan dasar dan dikenal sebagai luminesensi seperti yang diilustrasikan pada. Energi cahaya yang dipancarkan berhubungan dengan perbedaan tingkat energi antara kedua elektron yang terlibat dalam transisi antara keadaan tereksitasi dan keadaan dasar (*ground state*). Jumlah cahaya yang dipancarkan berhubungan dengan kontribusi relatif dari proses radiasi.



Gambar 1.4. Spektrum eksitasi karbon dots (Goryacheva *et al.*, 2017)

Spektroskopifotoluminisensi memberikan informasi mengenai transisi dari keadaan tereksitasi ke keadaan dasar. Waktu antara penyerapan dan emisi biasanya sangat singkat. Selama percobaan spektroskopi fotoluminisensi, eksitasi diberikan oleh sinar laser dengan energi yang jauh lebih besar daripada celah pita optik.

1.6. Tinjauan dari Sifat Karbon Dots

Karbon dots memiliki serangkaian sifat yang menempatkannya sebagai pengganti potensial dari semikonduktor titik kuantum konvensional. Pertama, mereka menunjukkan fotoluminesensi yang kuat, dapat dikendalikan, dan diset dalam ukuran nanopartikel. Dikarenakan karbon dots adalah bahan berbasis karbon yang memiliki gugus fungsi oksigen, permukaannya dapat difungsikan dengan mudah dengan molekul organik, memperkenalkan berbagai heteroatom dan menyesuaikan emisi panjang gelombang dengan aplikasinya. Hidrofilisitas atau hidrofobitasnya juga dapat disesuaikan dan karbon dots dapat

larut dalam H₂O yang biasanya diinginkan. Seperti disebutkan sebelumnya, karbon dots dapat diperoleh dari berbagai bahan baku dengan biaya efektif dan beragam metode, selain itu ramah lingkungan dan juga tidak berbahaya. Sebagian besar karbon dots menampilkan sifat inert kimiawi, stabilitas tinggi dan resistivitas terhadap photobleaching. Terakhir, karbon dots memiliki dua karakteristik tambahan dan sangat penting; sitotoksitas rendah dan biokompatibilitas yang sangat baik yang membuat mereka lebih unggul dibandingkan semikonduktor titik kuantum konvensional sehingga memiliki potensi penggunaan biologis.

Sifat fluoresens dari titik kuantum karbon biasanya bergantung pada tingginya area cacat dan rasio antara karbon sp³ dan sp². Meningkatnya domain sp² akan berbanding lurus dengan meningkatnya ikatan terkonjugasi ganda. Peran dari oksigen dan nitrogen terdoping pada proses sintesis titik kuantum karbon adalah untuk mengontrol domain sp². Selain itu, sifat fotoluminesens berkorelasi dengan gugus fungsi dan doping heteroatom. Oleh karena itu, telah ditunjukkan bahwa doping dengan elemen elektronegatif lebih banyak daripada C, seperti N, mendorong pergeseran emisi biru fotoluminesens, sementara doping dengan atom yang kurang elektronegatif seperti S dan Se mengarah ke pergeseran merah. Telah ditunjukkan pula bahwa beragam fungsi oksigen atau pelarut dapat mengubah panjang gelombang emisi fotoluminesens.

Karbon dots telah digunakan untuk foto-reduksi dan foto-oksidasi, reagen elektrokimiawi, sensor, katalis fotoelektrik,

perangkat fotovoltaik organik, detektor, dioda pemancar cahaya, perangkat sel surya, pola percetakan cetak bebas tinta, transfer energi, dan sebagainya. Selain itu, berdasarkan sifat biokompatibilitasnya, karbon dots telah digunakan secara luas untuk bioimaging, untuk terapi teranistik fotodinamis, sebagai agen antimikroba, sebagai gen pembawa nano, terapi kanker, sebagai sistem pengiriman obat, dan lain sebagainya.

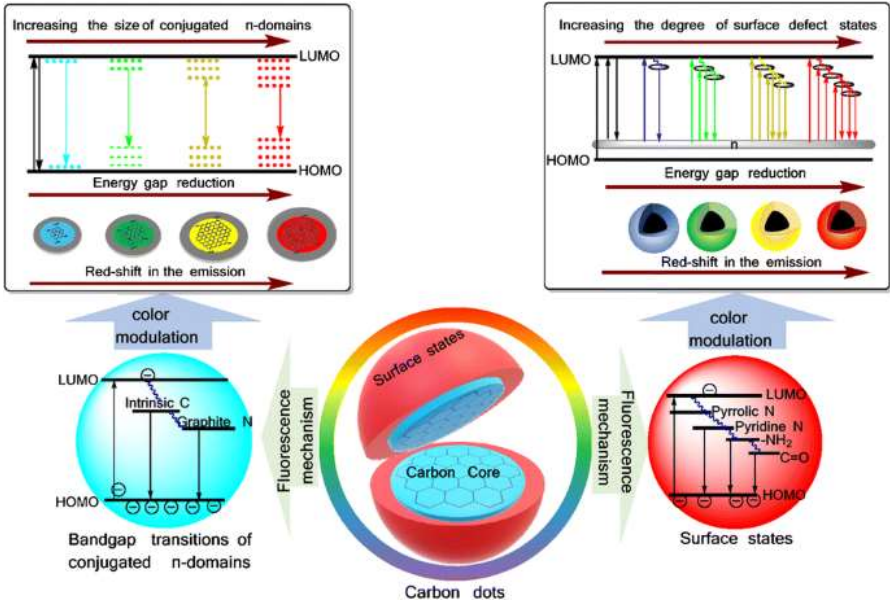
1.7. Quantum Yield Karbon Dots

Quantum Yield (QY) merupakan jumlah perbandingan intensitas fluoresensi yang dihasilkan oleh material karbon dots dengan absorbansi yang diserap. Semakin besar intensitas fluoresensi yang diproduksi, maka semakin besar pula quantum yield karbon dots. Mekanisme fluoresensi pada nanopartikel bergantung pada 2 faktor utama yakni *surface state defect* atau perubahan keadaan permukaan, dan quantum confinement atau kurungan kuantum. *Surface state defect* atau perubahan keadaan permukaan akan diikuti oleh perubahan sifat optik pada nanopartikel seperti intensitas fluoresensi, panjang gelombang eksitasi, dan radiasi. Hal ini terjadi karena nanopartikel hanya terdiri dari sejumlah kecil atom yang sebagian besar terdapat di permukaan sehingga setiap perubahan pada permukaan akan mempengaruhi sifat nanopartikel.

Pada teori quantum confinement, dijelaskan bahwa seluruh partikel terkurung dalam band gap yang dibentuk oleh orbital HOMO dan LUMO. Ketika partikel semakin mengecil maka energi gap antara 2 orbital tersebut semakin besar yang

menyebabkan elektron pada orbital HOMO membutuhkan lebih banyak energi untuk tereksitasi menuju orbital LUMO. Saat terjadi eksitasi, elektron menjadi relaks dan kembali ke ground state dengan mengemisikan cahaya. Dengan begitu, dapat disimpulkan bahwa energi gap menentukan panjang gelombang emisi dari nanopartikel.

Terdapat berbagai material berbasis karbon yang memiliki sifat fluoresensi diantaranya graphene quantum dots, nanodiamonds, dan karbon dots. Semua material tersebut dibedakan berdasarkan strukturnya. Nanodiamond terdiri atas ikatan karbon hibridisasi sp^3 pada bagian inti dan terdapat atom karbon dengan struktur grafitik pada bagian kulit. graphene quantum dots dan karbon dots mengandung atom karbon dan memiliki berbagai gugus fungsi. graphene quantum dots memiliki struktur seperti grafin sedangkan carbon dots memiliki struktur seperti bola. graphene quantum dots memiliki ukuran rata-rata 20 nm dan tersusun atas beberapa lapisan grafin dua dimensi yang memiliki struktur kristalin, sedangkan karbon dots memiliki ukuran rata-rata kurang dari 10 nm tersusun atas karbon sp^2 dan sp^3 dengan struktur amorphous. Dibandingkan material berfluoresensi lainnya, karbon dots memiliki berbagai keunggulan diantaranya memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dan *low toxic*.



Gambar 1.5. Quantum confinement karbon dots (Yan *et al.*, 2019)