

SKRIPSI

**KARAKTERISASI KOMPOSIT $Al_2(SO_4)_3$ /CARBON QUANTUM DOTS
(CQDS) DARI RESIDU TEH MENGGUNAKAN METODE
HIDROTERMAL SEBAGAI KATALIS LIMBAH PESTISIDA**

Disusun dan diajukan oleh

ANDI SITTI RAHMAH

H021 19 1041



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2023

**KARAKTERISASI KOMPOSIT $AL_2(SO_4)_3$ /CARBON QUANTUM DOTS
(CQDS) DARI RESIDU TEH MENGGUNAKAN METODE
HIDROTERMAL SEBAGAI KATALIS LIMBAH PESTISIDA**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada Program Studi Fisika Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin*

ANDI SITTI RAHMAH

H021 19 1041

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2023

LEMBAR PENGESAHAN

**KARAKTERISASI KOMPOSIT $Al_2(SO_4)_3$ /CARBON QUANTUM DOTS
(CQDS) DARI RESIDU TEH MENGGUNAKAN METODE
HIDROTERMAL SEBAGAI KATALIS LIMBAH PESTISIDA**

Disusun dan diajukan oleh:


ANDI SITTI RAHMAH

H021 19 1041

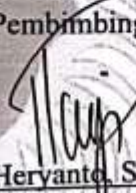
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 02 Oktober 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui


Pembimbing Utama,


Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si.
NIP. 19750907 200003 1 006

Pembimbing Pendamping,


Hervanto, S.Si., M.Si.
NIP. 19911129 202005 3 001

Ketua Program Studi,


Prof. Dr. Arifin, M.T.
NIP. 19670520 199403 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andi Sitti Rahmah
NIM : H021 19 1041
Program Studi : Fisika
Jenjang : S1

dengan ini menyatakan bahwa karya tulisan saya yang berjudul:

Karakterisasi Komposit $Al_2(SO_4)_3$ /Carbon Quantum Dots (CQDs) dari Residu Teh Menggunakan Metode Hidrotermal sebagai Katalis Limbah Pestisida

merupakan karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau seluruh skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 02 Oktober 2023

Yang Menyatakan,



Andi Sitti Rahmah

ABSTRAK

Carbon Quantum Dots (CQDs) adalah material nano karbon dengan ukuran partikel 2-10 nm yang memiliki sifat fluoresen yang unik di bawah penyinaran UV. Pada penelitian ini, pengaruh penambahan CQDs terhadap kinerja fotokatalis $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ diselidiki. CQDs disintesis dengan bahan alami, yaitu residu teh, dengan metode hidrotermal. Analisis struktur nano diselidiki dengan X-ray Diffraction, Scanning Electron Microscopy, Transmission Electron Microscopy, Fourier Transform Infrared Spectroscopy and UV-Vis Spectroscopy. Hasil TEM mengkonfirmasi pembentukan kluster $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{CQDs}$ berbentuk *coral* dan menunjukkan ukuran nanopartikel yang berkisar antara 2 hingga 10 nm. Sifat fotokatalis dari komposit diselidiki dengan mendegradasi pestisida (10, 30 dan 60 menit) di bawah sinar tampak. Kinerja fotokatalitik terbaik terdapat pada $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{CQDs}$ II yang mendegradasi pestisida fipronil untuk konsentrasi 30% hingga 83% dalam waktu 60 menit yang berkaitan dengan hasil analisis XRD yang menunjukkan adanya penyempitan jarak d dan analisis FTIR yang menunjukkan transmitansi paling rendah pada $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{CQDs}$ II. Komposit pada penelitian ini menunjukkan potensi yang baik sebagai material baru yang berkinerja fotokatalitik pestisida.

Kata Kunci: Fotokatalis, Carbon Quantum Dots, Aluminium Sulfat, Degradasi, Pestisida.

ABSTRACT

Carbon Quantum Dots (CQDs) are carbon nanomaterials with particle sizes of 2-10 nm, equipped with unique fluorescent properties under UV irradiation. In this study, the effect of CQDs addition on the performance of $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ photocatalyst was investigated. CQDs were synthesized with natural materials, namely tea residue, by hydrothermal method. Nanostructure analysis was investigated by X-ray Diffraction, Scanning Electron Microscopy, Transmission Electron Microscopy, Fourier Transform Infrared Spectroscopy and UV-Vis Spectroscopy. Transmission electron microscopy (TEM) study confirmed the formation of coral-shaped clusters of $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{CQDs}$ and show the size of nanoparticles ranging between 2 and 10 nm. The photocatalyst properties of the composites were investigated by degradation of pesticides (10, 30 and 60 minutes) under visible light. The best photocatalytic performance exists on $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{CQDs}$ II (95% $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, 5% CQDs) which degrades fipronil pesticide for the concentration of 30% up to 83% in 60 minutes which is related to the results of XRD analysis shows a narrowed d-spacing and FTIR analysis shows the lowest transmittance in $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{CQDs}$ II. The composite in this study shows good potential as a new material photocatalytic pesticide performance.

Keywords: *Photocatalyst, CQDs, Aluminium Sulphate, Degradation, Pesticide*

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Karakterisasi Komposit $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{Carbon Quantum Dots (CQDs)}$ dari Residu Teh Menggunakan Metode Hidrotermal sebagai Katalis Limbah Pestisida”** yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Departemen Fisika Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin. Lantunan sholawat dikirimkan kepada Nabi Muhammad Shalallahu Alaihi Wassalaam, yang membawa umatnya dari alam kegelapan menuju alam yang terang benderang seperti yang dirasakan saat ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak terlepas dari adanya hambatan dan jauh dari kata sempurna. Hal ini terjadi karena pengetahuan dan kemampuan dari penulis yang penuh dengan keterbatasan. Oleh karena itu, skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya kepada:

1. Ucapan terima kasih kepada Ibu **Andi Wahida** dan Bapak **Andi Mangkau** yang selama ini menjadi orang tua yang hebat yang senantiasa mendidik dari segi dunia agar bisa sukses dan akhirat agar senantiasa tidak melupakan kewajiban seorang muslimah, serta memberikan segala apa yang mereka bisa untuk memenuhi kebutuhan penulis. Terima kasih atas segala doanya yang tidak pernah lelah mendoakan kebaikan dunia dan akhirat penulis. Tiada ucapan terima kasih yang mampu penulis utarakan yang dapat membalas kebaikan mereka selain doa yang senantiasa penulis panjatkan agar mereka bahagia dunia dan akhirat dan senantiasa sehat serta berushaa menjadi anak yang berbakti.
2. Terima kasih kepada Bapak **Prof. Dr. Dahlang Tahir, S.Si., M.Si.** selaku Pembimbing Utama dan Bapak **Heryanto, S.Si, M.Si.** selaku dosen Pembimbing Pertama yang dengan sabar membimbing dan mengarahkan

penulis. Terima kasih atas segala ilmu, motivasi, nasehat, dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.

3. Kepada Bapak **Prof. Dr. Paulus Lobo Gareso, M.Sc.** dan Ibu **Dr. Sri Dewi Astuty S.Si., M.Si** selaku penguji yang selalu meluangkan waktu kepada penulis dan memberikan ilmu, arahan, kritik serta saran yang membangun dalam menyelesaikan setiap langkah demi langkah, mulai dari seminar proposal, seminar hasil dan ujang sidang skripsi.
4. Terima kasih juga kepada Bapak **Prof. Dr. Arifin, M.T.** selaku ketua Departemen dan **Seluruh Dosen FMIPA UNHAS**, khususnya kepada seluruh **Bapak dan Ibu Dosen Pengajar Departemen Fisika** yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang tak ternilai kepada penulis selama kurang lebih 7 semester.
5. Bapak/Ibu Staf Pegawai FMIPA UNHAS, terutama **Staf Departemen Fisika; Pak Syukur, Ibu Evi dan Ibu Rana** yang selalu membantu penulis dalam proses pengurusan administrasi dan senantiasa memberikan pelayanan terbaik kepada penulis dari awal perkuliahan sampai pada penyusunan berkas akhir studi.
6. Kepada **Kakak-Kakak Keluarga Laboratorium Material dan Energi: (kak Syarif, kak Fahri, kak Roni, kak Nunu, kak Inaya, kak Inna, kak Ardi, kak Ola dan kak Azlan)** penulis ucapkan terima kasih atas ilmu dan bantuan yang diberikan dalam penyusunan skripsi ini.
7. Terima kasih kepada sahabat jannah seperjuangan kuliah **MaLup; (Fara, Rifqah, Nabila dan Eni)** yang senantiasa menemani hari-hari perkuliahan, memberikan bantuan di setiap kesusahan penulis walaupun mereka juga menyusahkan, terima kasih sudah memberikan info-info terkini dan teraktual yang layak diperbincangkan di grup kita semoga dosa kita diampuni dan terima kasih segala hiburannya selama ini saya sangat terhibur bersama kalian.
8. Terima kasih kepada **partner in crime** penulis **Nurafikasari Siregar** yang hampir setiap hari bersama selama penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas kebersamaan dan kegilaannya selama perkuliahan dan berorganisasi di Himafi.

9. Terima kasih kepada keluarga besar **Himafi FMIPA Unhas** yang membuat masa perkuliahan saja tidak biasa-biasa saja. Banyak hal yang penulis dapatkan selama menjadi anggota, masa-masa sulit yang pernah dilalui pun kini jika diingat terasa sangat menyenangkan dan membuat penulis tertawa. Penulis sangat bersyukur menjadi bagian keluarga Himafi. Terkhusus kepada kakak Himafi 2015, kakak Himafi 2016, kakak Himafi 2017 (**Kak Agung, Kak Puat, Kak Callu, Kak Sabran, Kak Ardi, Kak Roni, Kak Qoil, Kak Yesi, Kak Zahra, Kak Zhafaat dll**) selaku kakak pengurus kami yang juga mengkader kami 2019, kakak Himafi 2018 (**Kak Nunu, Kak Dena, Kak Azlan, Kak Syahrul dll**), teman seperjuangan (**Yusri, Agung, Fara, Alya, Nurul, Eni, Ghalib, Ikram, Lela, Nabila, Septia, Sire, Tiche, Yuni, Ririn dll**), adik Himafi 2020 (**Astrid, Harmiati, Inul, Pryandi, Fatma, Novi, Pute, Nindy, Nidia, Bisman, Fausi, Aandri, Abe, Husain, Rifaldi, Bayu, Isma, Emar dll**), adik Himafi 2021 (**Palele, Nanda, Sara, Alfito, Suliz, Sachimar, Amar, Mar'a, Canci, dll**), dan adik Himafi 2022 (**Sinur, Nabil, Fickry, Suardi, Zakir, Rijal dll**) terima kasih atas pelajaran, canda, tawa, dan kebersamaannya selama ini. Sampai kapan pun, Himafi akan menjadi memori yang tidak terlupakan
10. Terima kasih kepada keluarga **besar KM FMIPA Unhas** terkhusus **MIPA 2019** dan **Pengurus BEM FMIPA Unhas periode 2022/2023** yang turut memberikan warna, kebersamaan dan pengalaman yang berharga selama berorganisasi di perkuliahan.
11. Terima kasih kepada bestie sejak SMA **Kecoa (Faiqah, Kirei, Ririn, Atifah, Fabes, Ria, Husna dan Fatma)** yang selama ini masih kebersamai, mendukung, memberi hiburan yang sangat receh tapi sangat membuat sakit perut. Bersama kalian saya tak sanggup diam.
12. Terima kasih penulis ucapkan untuk teman seperjuangan **Lab Material dan Energi 2019 (Enjel, Razak, Lela, Alya, Maria, Rifqah, Stania, Yoriska, Yusri, Fara, Ririn, Hajrul, Ghalib , Sire, Agung, Rati B.)** yang selalu memberikan hiburan dan dukungan terbaiknya kepada penulis juga teman

seperjuangan **Lab Elektronika dan Instrumentasi 2019** di masa semester 5-6 (**Eni, Nabila, Septia, Tiche, Ikram, Mahar, Niah, Suci, Salsa dan Hartini**).

13. Kepada teman seperjuangan mahasiswa **Fisika 2019**, Terima kasih atas semangat dan dukungan yang diberikan kepada penulis dan semua kenangan terindah selama masa kuliah.
14. Terima kasih kepada teman seperjuangan, keluarga **KKN Gel.108 Desa Ampekale (Pute, Aini, Tama, Rafly, Masdim, Dayat, Ai, Wawa dan Febi)** atas segala dukungan dan kebersamaannya selama di posko dan pasca kkn.
15. Terima kasih kepada barista-barista café (Collective, GBScientist) yang sering kami kunjungi untuk mengerjakan skripsi.
16. Semua pihak yang tidak disebutkan semuanya, yang telah dengan tulus ikhlas memberikan doa dan motivasi sehingga dapat terselesaikannya skripsi ini.

Dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, karena itu segala kritik dan saran yang membangun akan menyempurnakan penulisan skripsi serta bermanfaat bagi penulis dan para pembaca.

Makassar, 13 September 2023

Andi Sitti Rahmah

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xx
DAFTAR GAMBAR	xxii
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I : PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	2
I.3 Tujuan Penelitian	2
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA	3
II.1 Carbon Quantum Dots (CQDs)	3
II.2 Fluorosensi CQDs	3
II.3 Aluminium Sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$).....	4
II.4 Fotokatalis	5
II.5 Metode Sintesis CQDs	6
II.6 Metode Hidrotermal	7
BAB III : METODE PENELITIAN	8
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian	8
III.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	8
III.3 Prosedur Penelitian.....	9
III.3.1 Preparasi CQDs	9
BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN	13
IV.1 Transmission Electron Microscopy (TEM)	13
IV.2 X-Ray Diffraction (XRD)	14
IV.3 Fourier Transforms Infra-Red (FTIR)	16

IV.4 UV-Visible Spechtrophotometer	18
IV.5 Mekanisme Fotokatalis	22
BAB V : PENUTUP	24
V.1 Kesimpulan.....	24
V.2 Saran.....	24
DAFTAR PUSTAKA	25
LAMPIRAN.....	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Mekanisme pendaran fluoresen dari CQDs dengan derajat oksidasi permukaan yang berbeda.....	4
Gambar II.2 Diagram skematik yang menunjukkan mekanisme proses degradasi fotokatalitik	5
Gambar II.3 Ilustrasi skema persiapan CQDs melalui pendekatan "top-down" dan "bottom-up".....	6
Gambar III.1 Ilustrasi proses sintesis komposit CQDs dari residu teh	9
Gambar III.2 Ilustrasi proses sintesis komposit $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{CQDs}$	10
Gambar III.3 Bagan alir prosedur penelitian	12
Gambar IV.1 (a,b, dan d) mikrograf TEM dari CQDs dengan perbesaran berbeda, (c) Data histogram distribusi butir sampel dengan diameter ditentukan dari gambar (a).	13
Gambar IV. 2 Spektrum XRD, a) semua sampel, b) perbandingan spektrum untuk komposisi berbeda.....	14
Gambar IV.3 Spektrum FTIR dengan komposisi berbeda.....	16
Gambar IV.4 Spektrum UV-Vis dari degradasi pestisida oleh komposit $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{CQDs}$ dengan beberapa pengukuran(10, 30 dan 60 menit).	18
Gambar IV.5 (a) Degradasi fotokatalitik pestisida pada $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{CQDs}$ dengan jumlah doping CQDs yang berbeda, (b) Efisiensi degradasi pestisida oleh $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{CQDs}$	19
Gambar IV.6 Plot Taucs ($\alpha h\nu$) vs energi foton ($h\nu$) dari $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{CQDs}$	21
Gambar IV.7 Skema proses degradasi Pestisida menggunakan komposit $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{CQDs}$	22

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Analisis ukuran kristal hasil uji XRD	16
Tabel 4.2 Gugus fungsi komposit $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{CQDs}$	17
Tabel 4.3 Referensi yang dilaporkan untuk $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, komposit berbasis CQDs dan kinerja degradasinya, jenis polutan, metode, dan material yang digunakan selama persiapan untuk perbandingan komposit $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{CQDs}$ dalam penelitian ini..	19

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pencemaran lingkungan, khususnya pencemaran air merupakan masalah kritis di dunia [1]. Pencemaran air perkotaan diperburuk oleh perluasan struktur sosial dan cakupan produksi industri yang luas. Pembuangan limbah industri yang tidak terkontrol telah menyebabkan pencemaran air di banyak negara, karena komponen karsinogenik yang ditemukan dalam pewarna dari pabrik garmen dan pabrik makanan berkontribusi terhadap polusi air. Hal ini berpotensi menimbulkan risiko kesehatan bagi ternak, tumbuhan, dan manusia [2].

Pencemaran pada air harus ditangani secara hati-hati karena dampaknya terhadap lingkungan dan dalam jangka panjang juga berpengaruh terhadap tubuh makhluk hidup. Berdasarkan referensi [3] melaporkan bahwa sekitar empat miliar orang di seluruh dunia tidak memiliki akses ke air bersih, mengakibatkan jutaan kematian setiap tahunnya. Situasi ini dikaitkan dengan polutan seperti logam dan pestisida yang ditemukan dalam air. Penggunaan pestisida, yang memainkan peran penting dalam produksi pangan pertanian terus meningkat setiap tahun [4], [5]. Pestisida menduduki peringkat kedua sebagai kontributor pencemaran air limbah terbesar yang menimbulkan risiko tinggi bagi manusia dan hewan [6].

Para peneliti di seluruh dunia secara aktif mencari solusi dengan memperkenalkan bahan fotokatalis yang dapat dengan mudah diterapkan di masyarakat dengan memanfaatkan kekuatan sinar matahari secara alami. Teknologi fotokatalis secara luas diakui sebagai pendekatan yang sangat menjanjikan untuk mengurangi masalah tersebut. Sebagai teknologi yang ramah lingkungan, hemat biaya, dan efisien, fotokatalis menunjukkan kemampuan untuk memanfaatkan tenaga surya dan mengubahnya menjadi energi kimia, sekaligus mampu mendegradasi polutan di bawah kondisi suhu dan tekanan operasi sekitar [7].

Bahan yang telah dilaporkan untuk aplikasi fotokatalis adalah CQDs [8]. *Carbon Quantum Dots* (CQDs) telah dipelajari secara ekstensif sebagai bahan potensial untuk aplikasi fotokatalis. Di antara unsur-unsur non-logam, karbon

dianggap sebagai pilihan yang paling cocok karena kelimpahan dan keberadaannya sebagai komponen utama dalam struktur molekul organisme hidup. *Carbon quantum dots* (CQDs), menunjukkan karakteristik luar biasa seperti ukuran di bawah 10 nm, struktur nol dimensi (0D), dan bersifat fotoluminesen. Minat untuk mensintesis CQDs semakin meningkat sebagai alternatif yang lebih disukai daripada quantum dots yang didoping logam berbahaya, terutama didorong oleh sifat optik yang diinginkan [8].

Aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) menunjukkan sifat pengendapan yang cepat dan juga melimpah di alam, membuatnya mudah didapatkan dengan biaya yang murah. Ditambahkannya ke dalam sistem berfungsi sebagai pengikat ion logam hal ini bertujuan untuk mengurangi proses rekombinasi elektron-hole dalam sampel [9].

Pada penelitian ini, kami menyintesis $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{CQDs}$ yang ramah lingkungan. CQDs diperoleh melalui karbonisasi residu teh. Residu tertinggal setelah penyiapan teh menggunakan bubuk teh, gula, dan air panas yang digunakan untuk penelitian. Ini adalah pertama kalinya $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{CQDs}$ digunakan untuk degradasi pestisida.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana analisis sifat struktur dari penambahan variasi CQDs pada $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$?
2. Bagaimana pengaruh penambahan variasi CQDs pada $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ terhadap kemampuan degradasi pestisida ?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang melatarbelakangi penelitian ini adalah :

1. Menganalisis sifat struktur dari penambahan variasi CQDs pada $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.
2. Menganalisis pengaruh penambahan variasi CQDs pada $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ terhadap kemampuan degradasi pestisida.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Carbon Quantum Dots (CQDs)

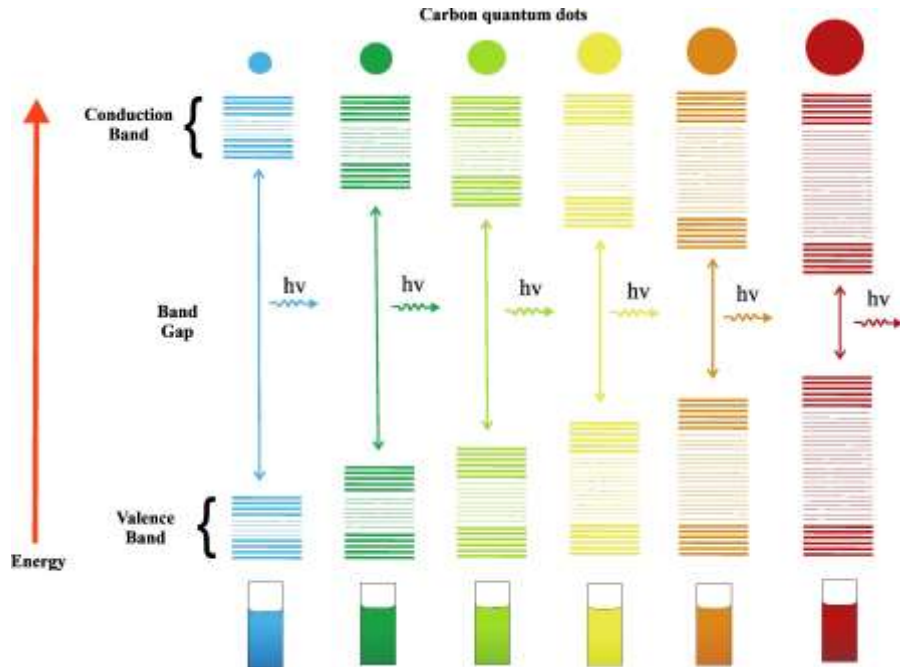
Carbon quantum dots (CQDs), yang juga disebut sebagai *carbon dots*, adalah jenis baru nanomaterial berbasis karbon. *Carbon quantum dots* (CQDs), memiliki permukaan yang kaya akan amino, hidroksil, karboksil, dan gugus fungsi organik lainnya. CQDs memiliki sifat yang luar biasa seperti ukuran yang sangat kecil (kurang dari 10 nm [10], kelarutan dalam air sangat baik, toksisitas yang rendah, biaya yang hemat, dan memiliki kinerja fluoresensi yang stabil. Oleh karena itu, mereka dapat digunakan di banyak bidang, seperti pencitraan biologis [11], analisis organik, fotokatalis, dan kedokteran klinis [12–14].

Kemampuan dalam menunjukkan fluoresensi yang terlihat di bawah penyinaran sinar ultraviolet adalah salah satu ciri khas CQDs [15]. Prosedur sintetik yang berbeda menghasilkan struktur dan fungsi yang berbeda, yang pada akhirnya menghasilkan sifat elektronik dan optik baru adalah aspek yang paling menarik dan penting dari CQDs [16]. Carbon quantum dots (CQDs) merupakan jenis bahan yang telah dibuat untuk digunakan sebagai fotokatalis. Ini karena mereka memiliki kemampuan unik untuk menghasilkan pembawa muatan ketika mereka terkena jumlah energi foton yang sesuai. Sebagai nanomaterial, CQDs dapat menyerap spektrum energi elektromagnetik yang luas, mulai dari spektrum ultraviolet hingga spektrum tampak, yang dikenal sebagai daerah biru-hijau. Oleh karena itu, mereka dapat berfungsi dalam mekanisme fotokatalisis baik secara mandiri maupun dalam kombinasi dengan berbagai bahan semikonduktor [17], [18].

II.2 Fluoresensi CQDs

Sifat fluoresensi memainkan peran penting dalam penerapan CQDs di berbagai bidang. CQDs menunjukkan beberapa sifat fluoresensi yang luar biasa, termasuk spektrum eksitasi yang luas, spektrum emisi yang sempit, emisi fluoresensi yang bergantung pada ukuran atau eksitasi yang bergantung pada panjang gelombang, dan stabilitas fluoresensi yang sangat baik. Panjang gelombang

emisi mengalami pergeseran merah ketika tingkat oksidasi permukaan meningkat, menunjukkan bahwa tingkat oksidasi permukaan merupakan faktor dominan yang mempengaruhi emisi fluoresensi CQDs [19].



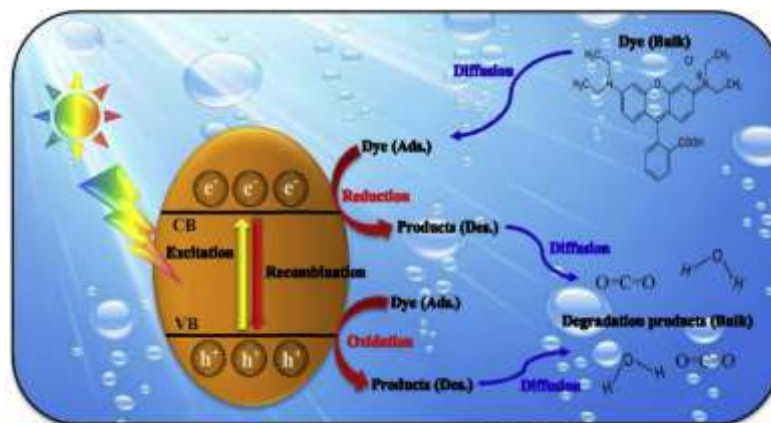
Gambar II.1 Mekanisme pendaran fluoresen dari CQDs dengan derajat oksidasi permukaan yang berbeda

II.3 Aluminium Sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)

Aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) atau biasa disebut alum banyak digunakan oleh instalasi pengolahan air untuk penjernihan air. Koagulan aluminium sulfat banyak digunakan karena biayanya yang murah dan mudah diproduksi [20]. Alum adalah koagulan kimia yang umum digunakan yang mengikuti netralisasi muatan untuk menghilangkan polutan dari air limbah. Demikian pula, berbagai bahan yang digunakan sebagai koagulan/adsorben bertanggung jawab untuk pengolahan air limbah, mengikuti berbagai mekanisme prinsip tergantung pada karakteristik fisikokimianya. Beberapa koagulan kimia memiliki kemampuan menghilangkan pengotor tersuspensi dan koloid yang ada dalam air limbah [21]

II.4 Fotokatalis

Fotokatalis adalah jenis proses oksidasi lanjutan yang menggunakan sumber cahaya dan bahan semikonduktor yang berfungsi sebagai katalis untuk menghilangkan polutan dari air maupun udara. Fotokatalis menawarkan keuntungan dari mineralisasi lengkap, dimana pewarna organik diubah menjadi air (H_2O), karbon dioksida (CO_2), dan asam mineral, tanpa menghasilkan polusi sekunder [22]. Dari berbagai proses oksidasi, fotokatalis merupakan yang paling efektif dalam mendegradasi berbagai polutan tanpa menghasilkan senyawa yang berbahaya [23,24].

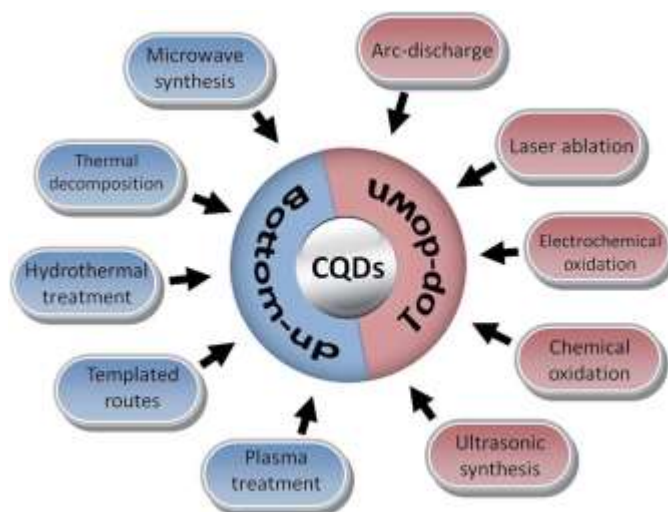


Gambar II.2 Diagram skematik yang menunjukkan mekanisme proses degradasi fotokatalitik [25]

Fotokatalis dimulai dari eksitasi elektron yang mana elektron ditransfer dari VB ke CB yang kosong (Gambar II.2). Ketika cahaya menabrak katalis selama proses fotokatalis, ia menyerap foton yang cukup yang sama dengan energi bandgap untuk dapat mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Elektron yang tereksitasi berpindah ke CB dengan meninggalkan hole yang bertindak sebagai muatan positif di VB. Pasangan e/h^+ dihasilkan dalam proses fotokatalis ini. Pasangan e/h^+ yang dihasilkan bereaksi dengan oksigen reaktif atau radikal hidroksil (OH) dan radikal anion superoksida (O_2^-). Spesies ini kemudian bereaksi dengan molekul organik yang terkandung dalam air limbah dan menguraikannya melalui proses oksidasi. Oleh karena itu, pasangan e/h^+ terbentuk pada permukaan katalis [26].

II.5 Metode Sintesis CQDs

Sejak ditemukannya carbon quantum dots, berbagai macam metode untuk persiapan CQDs telah dikembangkan. Umumnya, metode sintetik dari CQDs dapat diklarifikasi menjadi dua kelompok utama: metode *top-down* dan *bottom-up* (Gambar II.3). Dalam proses *top-down*, molekul berukuran makro (misalnya, graphene ukuran besar, tabung nano karbon, grafit, karbon aktif komersial) dihancurkan atau disebarkan menjadi CQDs berukuran kecil dengan metode fisika atau kimia sedangkan metode pendekatan *bottom-up* mengacu pada polimerisasi dan karbonisasi dari serangkaian kecil molekul menjadi CQDs melalui reaksi kimia [27]. Pendekatan *top-down* terdiri dari oksidasi elektrokimia ablasi laser [28,29], oksidasi kimia [30], *arc discharge* [31], sintesis ultrasonik [27] dan oksidasi elektrokimia [32–34], sedangkan pendekatan *bottom-up* terdiri dari *microwave synthesis*, *thermal decomposition*, *hydrothermal treatment*, *templated routes*, dan *plasma treatment* [27]. Metode *bottom-up* lebih banyak digunakan dalam sintesis CQDs karena memiliki keuntungan dari penghematan biaya, pengoperasian yang mudah dan persyaratan peralatan yang sederhana. Sebaliknya, Metode *top-down* memiliki kekurangan yaitu operasi yang membosankan dan biasanya menggunakan peralatan mahal yang sangat membatasi aplikasi praktisnya [19].



Gambar II.3 Ilustrasi skema persiapan CQDs melalui pendekatan "top-down" dan "bottom-up" [17]

Carbon quantum dots berdasarkan bahan bakunya dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu sumber karbon organik dan anorganik. CQDs berbahan dasar karbon anorganik menghasilkan kuantum fluoresen yang relatif rendah. Dalam aplikasinya, sumber karbon berbahan organik seperti senyawa organik, produk alami organik dan limbah biomassa lebih sering digunakan dalam pembuatan CQDs [35–37].

II.6 Metode Hidrotermal

Karbonisasi hidrotermal adalah proses termokimia dan *bottom up* yang mengubah biomassa mentah menjadi produk bernilai tambah pada rezim suhu 150–350°C yang jauh lebih rendah daripada pirolisis (450–550°C) dan gasifikasi (900–1200 °C). Dengan demikian, proses karbonisasi hidrotermal memiliki ruang lingkup yang besar untuk mensintesis CQDs dari berbagai biomassa [38]. Karbonisasi hidrotermal memiliki berbagai keunggulan seperti pengoperasian yang murah, ramah lingkungan, dan tidak beracun untuk menghasilkan bahan berbasis karbon baru dari sakarida, asam organik, jus, atau kulit limbah [27].

Metode hidrotermal dapat digunakan untuk melarutkan berbagai macam bahan yang tidak terlarut, atau untuk menghasilkan produk terlarut dari suatu zat dalam larutan berair dalam kondisi tertentu seperti suhu tinggi dan tekanan tinggi. metode hidrotermal merupakan metode yang banyak digunakan karena telah dianggap sebagai teknik ramah lingkungan dan berbiaya rendah. Pengontrolan suhu larutan dalam autoklaf dapat mengakibatkan konveksi kimia untuk membentuk keadaan sehingga dapat mendorong pertumbuhan kristal carbon quantum dots. fotokatalis berbasis CQDs yang disintesis dengan metode hidrotermal dicirikan oleh kemurnian partikel yang tinggi, dispersi yang baik, dan kristalinitas yang tinggi [39]