

T E S I S

**SINTESIS KARBON DOTS DARI DAUN WARU (HIBISCUS TILIACEUS
L.) DAN AKTIFITAS KATALITIKNYA**

Disusun dan diajukan oleh

NURUL AMALIA HUMAERA

H032192005



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

**SINTESIS KARBON DOTS DARI DAUN WARU (HIBISCUS TILIACEUS
L.) DAN AKTIFITAS KATALITIKNYA**

T E S I S

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

UNIVERSITAS HASANUDDIN

NURUL AMALIA HUMAERA

H032192005

PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA

DEPARTEMEN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**SINTESIS KARBON DOTS DARI DAUN WARU (HIBISCUS
TILIACEUS L.) DAN AKTIFITAS KATALITIKNYA**

Disusun dan diajukan oleh

NURUL AMALIA HUMAERA

H032192005

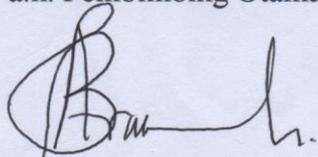
Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi program Magister Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 20 Juli 2022

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

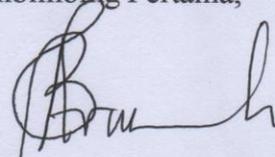
Menyetujui,

a.n. Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Bidayatul Armynah, MT.
NIP. 19630830 18903 2 001

Pembimbing Pertama,



Dr. Ir. Bidayatul Armynah, MT.
NIP. 19630830 18903 2 001

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Bidayatul Armynah, MT.
NIP. 19630830 18903 2 001

Dekan Fakultas,



Dr. Eng. Amiruddin, M.Si.
NIP. 19720515 199702 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurul Amalia Humaera
NIM : H032192005
Program Studi : Fisika
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**SINTESIS KARBON DOTS DARI DAUN WARU (HIBISCUS TILIACEUS
L.) DAN AKTIFITAS KATALITIKNYA**

Adalah karya tulisan saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pemikiran orang lain dan bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

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

Makassar, 20 Juli 2022

Yang menyatakan,



Nurul Amalia Humaera

ABSTRAK

Pada peneitian ini, telah berhasil dilakukan sintesis karbon dots (CDs) dari daun Waru (*Hibiscus Tiliaceus L.*) segar dan kering yang menggunakan metode microwave dengan waktu microwave selama 50 dan 60 menit. CDs dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis dan FTIR. Puncak absorbansi yang terbentuk pada karbon dots yang dihasilkan berada pada panjang gelombang 300 nm – 340 nm. Hasil FTIR mengidentifikasi ikatan karbon, nitrogen, hydrogen dan oksigen dalam mempengaruhi struktur permukaan CDs. CDs yang digunakan untuk degradasi fotokatalitik pewarna congo red dengan bantuan penyinaran lampu halogen. Terjadinya degradasi larutan Congo red dibuktikan dengan penurunan puncak serapan selama penyinaran. CDs menunjukkan kinerja fotokatalitik yang sangat baik pada CDs Daun Kering dengan waktu microwave selama 60 menit untuk degradasi maksimal sebesar 87% yang memiliki waktu penyinaran selama 30 menit dan CDs Daun Segar dengan waktu microwave selama 60 menit untuk degradasi maksimal 75% yang memiliki waktu penyinaran selama 60 menit.

Kata Kunci : Karbon Dots(CDs), Daun Waru, Fotokatalis

ABSTRACT

In this research, synthesized carbon dots (CDs) from fresh and dried Waru (*Hibiscus Tiliaceus* L.) leaves was successfully using the microwave method with a microwave time of 50 and 60 minutes. CDs were analyzed by UV-Vis spectrophotometer and FTIR. The absorbance peak formed on the resulting CDs is at a wavelength of 300 nm – 340 nm. The FTIR results identified carbon, nitrogen, hydrogen and oxygen bonds in influencing the surface structure of CDs. CDs used for photocatalytic degradation of Congo red dye with the help of halogen lamp irradiation. The degradation of the Congo red solution was evidenced by a decrease in the absorption peak during irradiation. CDs showed excellent photocatalytic performance on dried leaf CDs with a microwave time of 60 minutes for a maximum degradation of 87% which had an irradiation time of 30 minutes and fresh leaf CDs with a microwave time of 60 minutes for a maximum degradation of 75% which had an irradiation time of 60 minutes.

Keywords : Carbon Dots (CDs), Waru Leaf, Photocatalyst

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah swt., atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya, pemberian ilmu dan Manfaat-Nya serta segala Pertolongan dan Pengawasan-Nya sehingga penulis dapat menyusun tesis yang berjudul “*Sintesis Karbon Dots dari Daun Waru (Hibiscus Tiliaceus L.) dan Aktifitas Katalitiknya*”. Tak lupa shalawat dikirimkan pada Baginda Nabi Muhammad SAW beserta para sahabat, yang membawa kita dari dunia yang buta akan pengetahuan hingga dunia yang sudah mulai berkembang dengan pengetahuan seperti saat ini, semoga syafaat dikaruniakan kepada kita semua. Aamiin

Penulis menyadari bahwa sejak penyusunan proposak sampai tesis ini rampung, banyak hambatan, rintangan dan halangan. Namun, berkat bantuan, motivasi dan doa dari berbagai pihak semua ini dapat teratasi dengan baik. Penulis juga menyadari bahwa tesis ini jauh dari kesempurnaan sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca demi kesempurnaan tesis ini. Penulis berharap dengan selesainya tesis ini, bukanlah akhir dari sebuah karya, melainkan dari semuanya, awal dari sebuah perjuangan hidup. Penghargaan dan ucapan terima kasih setinggi-tingginya tak lupa penulis haturkan kepada

1. Kedua orang tua tercinta yaitu **ayahanda La Ode Ali Kasim, S.T.** dan **ibunda Megawaty P.Sulu** atas segala do'a dan dukungan yang tiada henti diberikan kepada penulis, serta kepada saudara **La Ode Muhamaad Nur Ma'arif** yang senantiasa selalu menjadi pendukung dalam penyelesaian tesis ini. Sesungguhnya tiada kata yang mampu penulis definisikan untuk mengungkapkan rasa terima kasih atas segala pengorbanan dan pengertian diberikan selama penulis menempuh pendidikan.
2. Bapak **Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si.** selaku penasehat akademik sekaligus sebagai pembimbing selaku pembimbing. Terima kasih telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing, mendukung, dan memberi saran-saran kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian.

3. Ibu **Dr. Ir. Bidayatul Armynah, M.T.** selaku pembimbing. Terima kasih telah banyak meluangkan waktunya untuk atas arahan, bimbingan, ilmu, memberi saran-saran dan kepercayaan yang diberikan kepada penulis.
4. Ibu **Dr. Nurlaela Rauf, M.Sc.**, bapak **Prof. Dr. Pauluas Lobo Gareso, M.Sc.**, dan bapak **Prof. Dr. Wira Bahari Nurdin** sebagai penguji tesis yang telah banyak memberikan masukan dan saran yang membangun untuk kesempurnaan tesis ini.
5. Seluruh **Bapak dan Ibu Dosen Departemen Fisika** Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah ikhlas, bersabar memberikan dan membagi ilmunya kepada penulis.
6. Seluruh **Pegawai dan Jajaran Staf Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam** atas bantuannya telah yang membantu penulis dalam menyelesaikan urusan-urusan akademik.
7. Terkhusus untuk kak **Inayatul Mutmainna, S.Si, M.Si.** sebagai kakak dan **Roni Rahmat, S.Si** sebagai anggota di Laboratorium Material . Terima kasih banyak atas bantuan, arahan, ilmu, keceriaan dan solusi yang selalu diberikan kepada penulis dari awal penelitian hingga penulisan tesis.
8. Terkhusus untuk **Lorna, S.Si., Sasa Harkiah, S.Si., dan Nadia Nurafiah, S.Si.** yang telah banyak membantu penulis dalam hal penyusunan tesis, memberi semangat dan motivasi serta yang selalu menemani penulis dalam keadaan susah maupun senang.
9. Seluruh kakak-kakak S2 Fisika terkhusus kak **Rosmila, S.Si** dan kak **Nurjannah, S.Si** yang selalu memberikan arahan kepada penulis selama penyelesaian tesis.
10. Seluruh anggota Laboratorium Material dan Energi terkhusus untuk kak **Inayatul Mutmainna, S.Si, M.Si, Andi Tessiwoja Tenri Ola, S.Si, Roni Rahmat, S.Si, Azlan, Nova Marlina, Maysarah A. Mallarangi, Rifkah, Fara, dan Ratih** yang selalu memberikan keceriaan ditengah tuntutan penyelesaian tesis.
11. Teman-teman seperjuangan Magister Fisika terkhusus **Lorna, S.Si, Sasa Harkiah, S.Si, Nadia Nurafiah, S.Si, Rekawati, S.Si, Nurhaniah, S.Si,**

Kak Nurjannah S.Si., M.Si., Annamaintin Lembang, S.Si., M.Si dan Destalina, S.Si yang telah memberi saran dan motivasi selama perkuliahan dan penyusunan tesis.

12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan semangat, motivasi dan saran sehingga tesis ini dapat terselesaian dengan baik. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini masih banyak terdapat kekurangan dan jauh dari kata sempurna yang disebabkan oleh keterbatasan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan tanggapan baik saran ataupun kritik yang sifatnya membantu dan membangun dalam penyempurnaan tesis ini. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada semua pihak yang telah membantu dan semoga Allah SWT melimpahkan karunia-Nya dalam setiap amal kebaikan dan diberikan balasan. Aamiin.

Makassar, 20 Juni 2022

Nurul Amalia Humaera

DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Tujuan Umum	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Karbon dots	4
II.1.1 Struktur dan Sifat Karbon dots	4
II.1.2 Metode sintesis	5
II.2 Fotokatalis	6
II.3 Teknik Karakterisasi Karbon Dots	8
II.3.1 Spektrofotometer UV-Vis	8
II.3.2 Spektrometer Fourier Transform Infra Red (FTIR)	9
BAB III METODE PENELITIAN	10
III.1 Waktu dan Tempat	10
III.2 Alat dan Bahan	10
III.2.1 Alat	10
III.2.2 Bahan	10

III.3 Prosedur Penelitian.....	11
III.3.1 Preparasi Daun Waru (<i>Hibiscus Tiliaceus</i> L.)	11
III.3.2 Sintesis Karbon Dots.....	12
III.3.3 Studi Degradasi Pewarna	12
III.3.4 Pengambilan data karakterisasi	13
III.3.5 Pemodelan kinetika studi degradasi pewarna	13
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	14
IV.1 Sintesis Karbon Dots.....	14
IV.2 Spektrum Absorbansi Karbon Dots	14
IV.3 Spektrum FTIR	15
IV.4 Analisis kemampuan degradasi congo red dari karbon dots.....	15
BAB V PENUTUP.....	22
5.1 Kesimpulan	22
5.2 Saran.....	22
DAFTAR PUSTAKA	23
LAMPIRAN.....	29

DAFTAR TABEL

No.	Keterangan Tabel	Halaman
4.1	Persentase degradasi <i>congo red</i> yang ditambahkan CDs.....	19
4.2	Fotokatalis berbasis CDs untuk fotodegradasi pewarna	19
4.3	Laju Kinetik (k_r) dan Koefisien Korelasi (R^2) CDs	20

DAFTAR GAMBAR

No.	Keterangan Gambar	Halaman
2.1	Sintesis Karbon Dots dengan metode A) top-down dan B) bottom-up	6
2.2	Skema kerja Spektrofotometer	8
3.1	Bagan Penelitian.....	11
4.1	(a) Larutan CDs dengan cahaya tampak dan (b) larutan CDs yang disinari UV dengan panjang gelombang 395 nm	14
4.2	Spektrum absorbansi CDs	15
4.3	Spektrum FTIR untuk CDs	16
4.4	Spektrum serapan UV-Vis degradasi fotokatalitik <i>congo red</i> dengan adanya CDs (a) untuk volume CDs 5 ml dan (b) untuk volume CDs 10 ml.....	17
4.5	Kinetika untuk degradasi pewarna <i>congo red</i> oleh fotokatalis CDs	20

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Keterangan Lampiran	Halaman
1	Data hasil pengujian Spektrofotometer UV-Vis	29
2	Data Hasil FTIR	32
3	Data hasil Spektrofotometer UV-Vis pada <i>Congo red</i> yang ditambahkan CDs.....	35
4	Konsentrasi Sampel.....	38
5	Persentase Degradasi.....	39
6	Kinetika	41
6	Alat dan Bahan.....	43

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar belakang

Perkembangan industri di Indonesia terus mengalami peningkatan dalam beberapa tahun terakhir sehingga bukan hanya memberikan manfaat dan keuntungan juga memberikan dampak negatif yang besar bagi lingkungan. Dampak negatif yang diberikan salah satunya adalah pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh pembuangan limbah cair [1]. Jika limbah cair tidak dikelola akan berdampak buruk terhadap perairan, khususnya sumber daya air. Limbah tekstil merupakan salah satu jenis limbah cair yang banyak dijumpai. Umumnya zat warna tekstil biasanya terkandung dalam limbah cair dari industri tekstil yang berbahaya bagi makhluk hidup dan lingkungan [2].

Salah satu zat warna tekstil yang banyak digunakan adalah *congo red*. Sifat yang dimiliki dari zat warna congo red yaitu mempunyai toksisitas cukup tinggi yang mengakibatkan keberadaannya dalam lingkungan perairan dapat merusak berbagai spesies makhluk hidup [3]. *Congo red* juga ketika berada dalam tubuh dapat menyebabkan gangguan fungsi hati, ginjal dan syaraf [4]. Sehingga diperlukan upaya untuk meminimalisir limbah zat warna tersebut.

Fotokatalis merupakan salah satu upaya yang efektif dalam pengolahan limbah cair. Proses fotokatalis terjadi ketika bahan semikonduktor tertentu diinduksi oleh cahaya. Selama fotokatalisis, elektron dan hole dapat dihasilkan oleh paparan cahaya. Elektron dan hole yang dihasilkan kemudian bereaksi dengan molekul tertentu dalam air untuk menghasilkan radikal bebas yang menguraikan polutan organik dalam hal ini *congo red* [5].

Karbon dots (CDs) memperlihatkan aktifitas fotokatalis yang baik dalam degradasi pewarna organik karena penyerapan cahaya tampak yang kuat, kemampuan menangkap cahaya yang sangat baik [6], ramah lingkungan, toksisitas rendah, kelarutan air yang baik [7]. Secara umum, CDs dengan kelarutan air yang baik akan memancarkan fluoresensi terang saat terkena cahaya, dan kestabilan optiknya sangat baik [8].

CDs yang disintesis dari senyawa organik yang terbuat dari sumber daya alam lebih berlimpah, ramah lingkungan dan biokompabilitas yang baik. Sebagian besar sumber daya alam kaya akan heteroatom, yang dapat menghasilkan CDs dengan heteroatom tanpa menambahkan heteroatom eksternal [9]. Banyak bahan dari sumber daya alam yang digunakan sebagai sumber CDs salah satunya daun waru (*Hibiscus tiliaceus L.*).

Daun waru (*Hibiscus tiliaceus L.*) merupakan sumber metabolit bioaktif dan antioksidan yang berguna dari berbagai kategori seperti alkaloid, flavonoid, glikosida, tanin, karbohidrat, steroid, asam amino, saponin dan protein [10][11][12]. Kandungan-kandungan tersebut juga dimiliki pada penelitian sebelumnya untuk pembentukan CDs yaitu kulit pisang [13]. Selain itu berbagai kandungan tersebut dengan berbagai gugus fungsi yang melimpah seperti karboksil, hidroksil dan amina yang dapat dengan mudah menarik ion kationik menjadikannya kandidat potensial dalam pengolahan air dan air limbah [14].

Sejak ditemukannya CDs, berbagai metode sintesis telah dikembangkan untuk persiapannya. Salah satu metode yang murah dan mudah diterapkan untuk sintesis CDs yaitu metode microwave. Penelitian yang dilakukan oleh Architha et al. 2021 melakukan sintesis CDs dari daun *Plectranthus Amboinicus (Mexican Mint)* dengan menggunakan metode radiasi microwave dan didapatkan CDs berbentuk bola dengan diameter rata-rata sekitar $2,43 \pm 0,02$ nm serta CDs yang dihasilkan memiliki gugus fungsi yang mengandung oksigen pada permukaannya dan bermanfaat dalam meningkatkan kelarutan air [15]. Metode ini banyak digunakan para peneliti pada sumber karbon alami diantaranya akar teratai [16], daun bunga sepatu [17], daun oleander [18] dan *raw cashew rum* [19].

Berdasarkan uraian diatas, dilakukan penelitian menggunakan daun waru (*Hibiscus tiliaceus L.*) sebagai sumber karbon alami dan mengetahui aktifitas katalitiknya dengan metode microwave . CDs secara khusus dikondisikan sebagai katalisator tunggal tanpa penambahan bahan semikonduktor apapun. Hal ini bertujuan untuk mengetahui performa tunggal dari CDs dalam mendegradasi yang diinduksi cahaya tampak dari pewarna *congo red*. Penelitian ini mengedepankan penggunaan metode sederhana dan biaya produksi murah agar hasil yang

didapatkan bukan hanya dapat dijadikan referensi berbasis laboratorium saja tetapi juga dapat diaplikasikan lebih luas oleh pelaku industri dan masyarakat umum.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menganalisis panjang gelombang serapan CDs dari daun waru (*Hibiscus tiliaceus L.*) ?
2. Bagaimana menganalisis kemampuan degradasi *congo red* dari CDs yang disintesis dari daun waru (*Hibiscus Tiliaceus L.*) ?

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Menganalisis panjang gelombang serapan CDs dari daun waru (*Hibiscus tiliaceus L.*).
2. Menganalisis kemampuan degradasi *congo red* dari CDs yang disintesis dari daun waru (*Hibiscus tiliaceus L.*).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Karbon dots

II.1.1 Struktur dan Sifat Karbon dots

Karbon adalah unsur paling melimpah di Bumi, dengan berbagai alotrop. Karbon nanofibers, nanodiamonds, nanotubes, fullerene, graphenes, dan Karbon dots (CDs) merupakan keluarga dari carbon nanomaterials. Namun, CDs adalah kandidat yang paling menjanjikan untuk digunakan di banyak aplikasi karena fitur-fiturnya yang luar biasa [20]. CDs adalah karbon nanomaterial sejenis bahan karbon fluoresen dengan ukuran di bawah 10 nm dan menarik banyak perhatian peneliti sejak penemuan awal mereka pada tahun 2004 [21].

Secara umum, CDs merupakan nanopartikel kuasi-sferis yang terdiri dari amorf hingga nanokristalin dan selalu terdiri dari karbon sp^2/sp^3 dan gugus berbasis oksigen/nitrogen [22]. CDs memiliki sifat yang menarik karena karakteristik optik dan fluoresensi (berpendar) yang luar biasa, sederhana dan metode preparasi yang ekonomis dari sumber terbarukan, fotostabilitas termal dan optik yang tinggi, eksitasi dan emisi yang dapat diatur, dan sifat tidak beracun dengan biokompatibilitas tinggi [23].

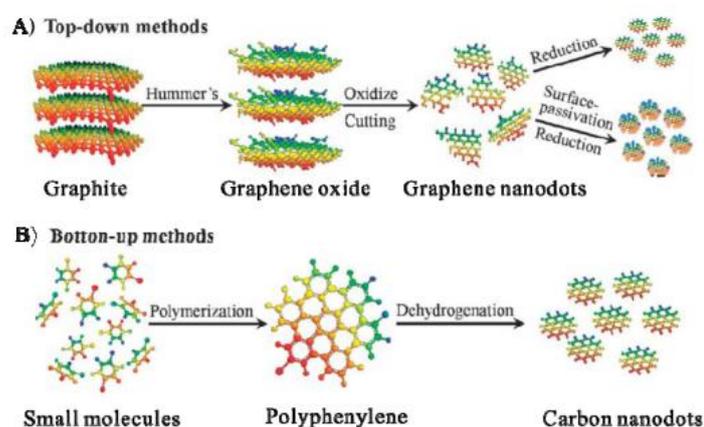
CDs pada dasarnya terdiri dari elemen karbon (C), hidrogen (H) dan oksigen (O) karena adanya gugus asam karboksilat, yang menjanjikan kelarutan air yang unggul dan kemungkinan untuk fungsi lebih lanjut dengan spesies yang berbeda. Pengenalan heteroatom memberikan variasi pada komposisi CDs. Komposisi unsur dan spesiasi dalam CDs dapat ditentukan Spektrometer Forier Transform Infrared (FTIR) [24].

CDs biasanya menunjukkan absorbansi optik yang kuat di wilayah UV (260-320 nm). Umumnya, CDs relatif lebih efisien dalam penyerapan panjang gelombang panjang. Karakteristik penyerapannya berbeda dari satu CDs ke CDs lainnya tergantung pada pasivasi permukaan dan gugus fungsi yang melekat pada permukaannya. CDs menyerap di daerah panjang gelombang pendek karena transisi $\pi - \pi^*$ dari ikatan C=C [25].

Namun, sifat fluoresen CDs dipengaruhi dari prekursor karbon yang digunakan sebagai bahan baku. Beberapa bahan alami mengandung sejumlah prekursor karbon seperti gula, asam sitrat dan karbohidrat karena struktur organiknya yang kompleks sehingga CDs dapat digunakan sebagai fotokatalis yang efisien. CDs memiliki celah pita yang sesuai dengan spectrum cahaya iradiasi yang membuatnya aktif saat disinari oleh sinar UV [26] dan dianggap fotokatalis aktif karena dapat bertindak sebagai akseptor elektron dan donor [20]. Dalam penelitian ini membahas CDs yang disintesis dari bahan alami yaitu daun Waru (*Hibiscus tiliaceus L.*) dan aktifitas kataliknya atau sebagai katalisator.

II.1.2 Metode Sintesis

Berbagai pendekatan untuk sintesis CDs telah dilaporkan. Sebagian besar penelitian mengejar metode yang mudah, hemat biaya, dapat dikontrol ukuran, dan skala besar untuk mensintesis CDs yang memiliki fungsi lanjutan dengan komposisi dan struktur yang berbeda. Sepanjang arah pengembangan ukuran bahan yang diimplementasikan, sintesis CDs secara umum dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis pendekatan, "top-down" dan "bottom-up" [27]. CDs dapat dimodifikasi selama persiapan terlihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1. Sintesis Karbon Dots (CDs) dengan metode (A) top-down dan (B) bottom-up [28].

Metode Top-down, bahan yang relatif besar, termasuk graphene, lembaran graphene oxide, nanotube karbon, serat karbon, grafit jelaga karbon, dan lain-lain. Dipecah menjadi potongan-potongan kecil sebagai struktur karbon fluoresensi sp^2

[23]. Pendekatan top down diantara terdiri dari metode *arc discharge*, *laser ablation*, *electrochemical oxidation*, *chemical oxidation*, dan *ultrasonic synthesis*. Meskipun demikian, teknik ini umumnya dilakukan dalam kondisi seperti keasaman tinggi, potensi tinggi, serta energi tinggi [29] .

Dalam pendekatan *bottom-up*, CDs sebagai bahan karbon curah dibentuk sebagai prekursor berubah menjadi bentuk partikel melalui teknik kimia dan fisik. Pendekatan bottom-up diantara terdiri dari metode *microwave synthesis*, *thermal decomposition*, *hydrothermal treatment*, *templated routes*, dan *plasma treatment* [23]. Pendekatan *bottom-up* saat ini banyak digunakan peneliti karena keunggulannya seperti penerapan praktis yang menjanjikan, keterlibatan molekul prekursor non-toksik, efektivitas biaya, instrumentasi yang mudah, dan kontrol yang tepat, serta metodologi yang mudah dan nyaman [29].

Metode microwave adalah metode yang paling efektif dan paling tidak memakan waktu untuk mensintesis CDs. Kualitas CDs dapat ditingkatkan dengan pemanasan jangka pendek [20]. Persiapan CDs dengan metode iradiasi microwave menghadirkan beberapa keuntungan jika dibandingkan dengan pendekatan bottom-up lainnya. Pengurangan waktu reaksi cukup signifikan dan dalam orde menit dalam reaktor metode iradiasi microwave dibandingkan dengan jam dalam pendekatan solvo/hidrotermal (2–12 jam) [30]. Sehingga pada penelitian ini menggunakan metode microwave.

Metode microwave lebih seragam memungkinkan reaksi yang lebih cepat, reaksi samping yang lebih rendah, dan pembentukan produk samping yang lebih sedikit. Pada gilirannya, ini dapat mengurangi jumlah langkah yang diperlukan untuk pemurnian. Terakhir, ini biasanya diterjemahkan ke sifat fisik, kimia dan optik yang lebih seragam. Namun pendekatan ini menawarkan kekurangannya. Reaktor metode iradiasi microwave biasanya terbatas pada volume kecil, membatasi penerapannya dalam reaksi skala besar. Selain itu, tekanan sistem juga terbatas, mengurangi kegunaan pelarut dengan titik didih yang lebih rendah [30].

II.2 Fotokatalis

Fotokatalis adalah katalis yang digunakan untuk mempercepat reaksi kimia dengan bantuan sinar atau cahaya. Proses fotokatalitik terjadi ketika bahan

semikonduktor tertentu diinduksi oleh cahaya [31]. Energi foton yang lebih besar dari celah pita semikonduktor akan mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan menciptakan hole pada pita valensi. Elektron dan hole yang dihasilkan kemudian bereaksi dengan molekul tertentu dalam air untuk menghasilkan radikal bebas yang menguraikan polutan organik [5].

CDs menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang menguntungkan dibandingkan dengan fotokatalis umum lainnya, seperti ZnO, CdS, dan TiO₂, karena toksisitasnya yang lebih rendah, stabilitas kimia yang lebih tinggi, dan kelarutan dalam air yang lebih baik [20]. Hal ini ditunjukkan, CDs yang disintesis dari *Elettaria cardamomum* (*E.C*) juga memiliki aktivitas fotokatalitik yang sangat baik terhadap pewarna *congo red* dan metilen biru di bawah cahaya tampak [32].

Faktor yang mempengaruhi aktifitas fotokatalis yaitu pH, konsentrasi pewarna dan waktu reaksi. pH adalah salah satu pertimbangan utama untuk pembentukan spesies reaktif dan bentuk kimia pewarna, sehingga secara efisien mempengaruhi prosedur degradasi pewarna. Zaib et al. 2020, menguji pengaruh pH terhadap degradasi zat warna dengan memvariasikan pH pada *congo red* dan metilen blue. Untuk *congo red*, pH yang maksimum digunakan dalam proses ini adalah pH asam karena *congo red* bermuatan negatif ini mendukung degradasi zat warna karena interaksi elektrostatis dengan CDs sebagai katalis (CDs) menjadi positif dalam kondisi asam dan bermuatan negatif dalam kondisi basa. Untuk *methylene blue* (MB), pH yang maksimum digunakan dalam proses ini adalah pH basa. Pada awalnya, pewarna tidak terdegradasi secara maksimal karena *methylene blue* (MB) adalah pewarna kationik dan ada lebih sedikit gaya tarik elektrostatis antara molekul pewarna dan CDs dalam media asam, namun setelah terjadi degradasi. [32]. Peningkatan reaksi fotokatalis terjadi jika pemberian jumlah katalisator bertambah tetapi akan terjadi penurunan kembali aktifitas fotokatalis jika penambahan katalisator berlebih. Hal ini juga dilaporkan oleh Zaib et al. 2020 [32].

Bertambahnya waktu radiasi dalam proses fotodegradasi akan meningkatkan jumlah *congo red* dan *methylene blue* (MB) yang terdegradasi. Zaib et al. 2021 menguji pengaruh waktu radiasi dalam proses ini. Untuk *congo red* (CR),

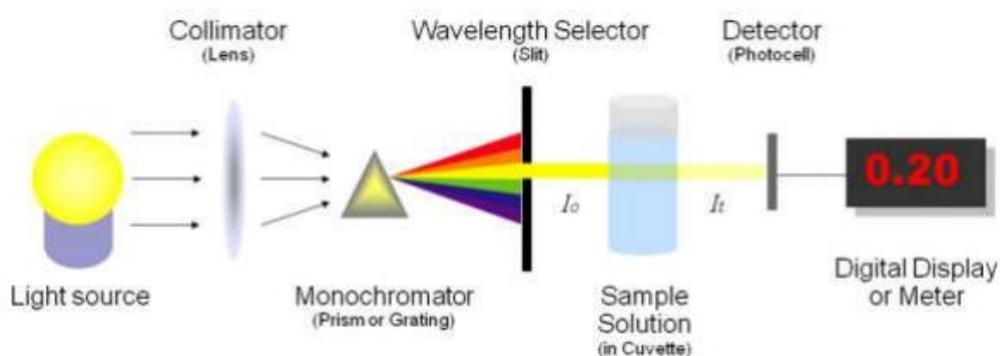
degradasi meningkat pesat dalam 90 menit pertama paparan iradiasi karena peningkatan proses eksitasi banyak elektron dari valensi ke pita konduksi fotokatalis dan untuk *methylene blue* (MB), waktu reaksi optimum untuk degradasi zat warna metilen biru adalah 60 menit [33].

II.3 Teknik Karakterisasi Karbon dots

Penelitian ini akan menggunakan dua jenis karakterisasi yaitu spektrometer UV-Vis dan spektrometer Fourier Transform Infrared (FTIR). Spektrometer UV-Vis digunakan untuk memeriksa perilaku optik CDs. Spektrometer Fourier Transform Infrared (FTIR) untuk menganalisis gugus fungsi permukaan CDs.

II.3.1 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer ultraviolet-tampak (UV-Vis) merupakan pengukuran yang berkaitan dengan spektrum absorbansi menggunakan sinar ultraviolet dan cahaya tampak (Vis) oleh sampel dalam larutan [34]. Prinsip dasar spektrofotometer UV-Vis adalah interaksi yang terjadi antara energi yang berupa sinar monokromatis dari sumber sinar dengan materi berupa molekul [35]. Hal ini ditampilkan pada **Gambar 2.2**



Gambar 2.2 Skema kerja Spektrofotometer [35].

Prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis adalah ketika ada sumber sinar berupa cahaya uv-vis (monokromatik) diteruskan melalui suatu media (larutan bewarna) yang merupakan suatu sampel, maka sebagian cahaya tersebut ada yang diserap, dipantulkan dan ada yang diteruskan [35]. Spektrofotometer UV-Vis mengukur intensitas cahaya yang melewati larutan sampel dalam kuvet, dan membandingkannya dengan intensitas cahaya sebelum melewati sampel.

Komponen utama spektrofotometer UV-Vis adalah sumber cahaya, pemegang sampel, perangkat dispersif untuk memisahkan panjang gelombang cahaya yang berbeda (misalnya monokromator), dan detektor yang sesuai [36].

II.3.2 Spektrometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Spektrometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) adalah teknik instrumental yang digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang ada dalam senyawa organik dan anorganik dengan mengukur penyerapan radiasi inframerah pada rentang panjang gelombang [37].

Prinsip dasar FTIR adalah ketika radiasi inframerah ditembakkan pada sampel, ia menyerap cahaya dan menciptakan berbagai mode getaran. Penyerapan ini berkaitan dengan sifat ikatan dalam molekul. Rentang frekuensi diukur sebagai bilangan gelombang yang biasanya berkisar antara $4000\text{--}500\text{ cm}^{-1}$. Spektrum FTIR diukur sebagai bilangan gelombang karena bilangan gelombang berhubungan langsung dengan energi dan frekuensi, sehingga memberikan cara yang mudah untuk menafsirkan spektrum. Sebelum analisis sampel, latar belakang direkam, untuk menghindari puncak kontaminasi udara dan uap air. Proporsi latar belakang dan spektrum sampel berhubungan langsung dengan spektrum serapan sampel. Spektrum absorpsi yang menunjukkan berbagai vibrasi ikatan yang ada dalam molekul sampel. Beberapa mode muncul karena berbagai getaran ikatan. Jadi, cara ini seseorang dapat dengan mudah mengidentifikasi gugus fungsi dalam suatu molekul [38].

Ikatan-ikatan yang berbeda seperti C-C, C=C, C \equiv C, C-O, C=O, O-H serta N-H mempunyai frekuensi karakteristiknya sebagai pita serapan dalam spektrum inframerah. Grafik spektrum inframerah terbentuk antara presentase penyerapan (absorbansi) terhadap frekuensi karakteristiknya. Bentuk spektrum cahaya dari senyawa-senyawa organik berkaitan erat dengan transisi-transisi diantara tingkatan-tingkatan energi elektronik [39].