



# **FOTOKATALIS HIBRID CARBON DOTS/METAL-ORGANIC FRAMEWORK (CDs@MIL-100(Fe)) UNTUK DEGRADASI AURAMINA O**

**MARDIANA JULITA**



**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University  
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Fotokatalis Hibrid Carbon Dots/Metal-Organic Framework (CDs@MIL-100(Fe)) untuk Degradasi Auramina O” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, April 2026

Mardiana Julita  
G4501231009

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## RINGKASAN

MARDIANA JULITA. Fotokatalis Hibrid Carbon Dots/Metal-Organic Framework (CDs@MIL-100(Fe)) untuk Degradasi Auramina O. Dibimbing oleh NOVIYAN DARMAWAN, SRI SUGIARTI, dan NURFINA YUDASARI.

Limbah zat warna sintetis, seperti Auramina O, merupakan salah satu polutan berbahaya yang banyak dihasilkan dari aktivitas industri tekstil dan berpotensi mencemari lingkungan perairan. Keberadaan zat warna di badan air dapat menghambat penetrasi cahaya, mengganggu proses fotosintesis organisme akuatik, serta menurunkan kualitas ekosistem. Salah satu metode yang efektif dan ramah lingkungan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah fotokatalisis berbasis cahaya tampak. Metal-organic framework (MOF) MIL-100(Fe) merupakan material berpori yang menarik sebagai fotokatalis, namun keterbatasan dalam penyerapan cahaya tampak dan laju rekombinasi pasangan elektron-hole masih membatasi kinerjanya. Dalam penelitian ini dikembangkan fotokatalis hibrid carbon dots/metal-organic framework (CDs@MIL-100(Fe)) yang responsif terhadap cahaya tampak untuk degradasi Auramina O. Carbon dots (CDs) disintesis menggunakan henna komersial sebagai prekursor melalui metode hidrotermal satu tahap, kemudian dikombinasikan dengan MIL-100(Fe) menggunakan metode *liquid-assisted grinding*. Metode ini dipilih karena sederhana, efisien, dan mampu menghasilkan komposit dengan distribusi CDs yang homogen tanpa merusak struktur kristalin MOF.

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa struktur kristalin MIL-100(Fe) tetap terjaga setelah integrasi CDs. Analisis FTIR mengonfirmasi keberadaan gugus fungsi khas MIL-100(Fe) dan CDs, yang menunjukkan adanya interaksi antarmuka antara kedua komponen. Pengamatan FESEM dan TEM memperlihatkan bahwa morfologi partikel khas MIL-100(Fe) masih dipertahankan, dengan permukaan yang menjadi lebih kasar akibat deposisi CDs. CDs yang disintesis berbentuk nanopartikel kuasi-sferis berukuran nanometer dan terdispersi secara homogen pada permukaan serta pori MOF. Analisis BET menunjukkan penurunan luas permukaan dan volume pori setelah penambahan CDs, yang mengindikasikan adanya penutupan sebagian pori oleh CDs. Karakterisasi optik menggunakan UV-Vis DRS menunjukkan bahwa integrasi CDs secara signifikan memperluas penyerapan cahaya ke wilayah tampak. Analisis energi celah pita menggunakan plot Tauc menunjukkan penurunan nilai band gap MIL-100(Fe) dari 2,97 eV menjadi 2,65 eV pada komposit CDs@MIL-100(Fe) dengan kandungan CDs 5 wt%, yang mengindikasikan peningkatan kemampuan eksitasi fotoelektron di bawah penyinaran cahaya tampak.

Uji aktivitas fotokatalitik dilakukan melalui degradasi Auramina O pada konsentrasi awal 20 ppm di bawah penyinaran cahaya tampak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa MIL-100(Fe) murni mampu mendegradasi sekitar 64% Auramina O setelah 240 menit. Integrasi CDs secara signifikan meningkatkan kinerja fotokatalitik, dengan komposit CDs@MIL-100(Fe) 5 wt% menunjukkan efisiensi degradasi tertinggi sebesar 93%. Penambahan CDs hingga 10 wt% justru menurunkan efisiensi degradasi, yang dikaitkan dengan efek light shielding dan penutupan sebagian situs aktif.

Kata kunci: Auramina O, carbon dots, fotokatalis, MIL-100(Fe), *visible light*



## SUMMARY

MARDIANA JULITA. Hybrid Carbon Dots/Metal–Organic Framework Photocatalyst (CDs@MIL-100(Fe)) for Auramine O Degradation. Supervised by NOVIYAN DARMAWAN, SRI SUGIARTI, and NURFINA YUDASARI.

Synthetic dye wastewater, such as Auramine O, is one of the hazardous pollutants widely generated from textile industry activities and poses a serious threat to aquatic environments. The presence of dyes in water bodies can hinder light penetration, disrupt photosynthesis in aquatic organisms, and degrade overall ecosystem quality. One effective and environmentally friendly approach to address this issue is visible-light-driven photocatalysis. The metal–organic framework (MOF) MIL-100(Fe) is an attractive porous material for photocatalytic applications; however, its performance is limited by insufficient visible-light absorption and a relatively high electron–hole recombination rate.

In this study, a visible-light-responsive hybrid photocatalyst composed of carbon dots and metal–organic framework (CDs@MIL-100(Fe)) was developed for the degradation of Auramine O. Carbon dots (CDs) were synthesized using commercial henna as a precursor via a one-step hydrothermal method and subsequently integrated with MIL-100(Fe) through a liquid-assisted grinding approach. This method was selected due to its simplicity, efficiency, and ability to produce a homogeneous composite without compromising the crystalline integrity of the MOF.

XRD analysis confirmed that the crystalline structure of MIL-100(Fe) was well preserved after CDs integration. FTIR results verified the presence of characteristic functional groups from both MIL-100(Fe) and CDs, indicating interfacial interactions between the two components. FESEM and TEM observations revealed that the characteristic particle morphology of MIL-100(Fe) was retained, with slightly rougher surfaces resulting from CDs deposition. The synthesized CDs exhibited quasi-spherical nanoparticles at the nanometer scale and were homogeneously dispersed on the surface and within the pores of the MOF. BET analysis showed a decrease in specific surface area and pore volume after CDs incorporation, suggesting partial pore blocking by CDs. Optical characterization using UV–Vis diffuse reflectance spectroscopy demonstrated that CDs integration significantly enhanced visible-light absorption. Band gap analysis based on Tauc plots revealed a reduction in the band gap energy of MIL-100(Fe) from 2.97 eV to 2.65 eV for the CDs@MIL-100(Fe) composite with 5 wt% CDs, indicating more efficient photoexcitation under visible-light irradiation.

Photocatalytic activity was evaluated through the degradation of Auramine O at an initial concentration of 20 ppm under visible-light irradiation. Pristine MIL-100(Fe) achieved approximately 64% degradation after 240 min, whereas CDs incorporation markedly enhanced photocatalytic performance. The CDs@MIL-100(Fe) composite with 5 wt% CDs exhibited the highest degradation efficiency of 93%. Further increasing the CDs content to 10 wt% led to a decrease in degradation efficiency, which was attributed to light-shielding effects and partial blockage of active sites.

*Keywords:* Auramine O; carbon dots; MIL-100(Fe), photocatalyst; visible light



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University  
Bogor Indonesia



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026  
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

*Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.*

*Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.*

Perpustakaan IPB University



# **FOTOKATALIS HIBRID CARBON DOTS/METAL-ORGANIC FRAMEWORK (CDs@MIL-100(Fe)) UNTUK DEGRADASI AURAMINA O**

*@Hak cipta milik IPB University*

**MARDIANA JULITA**

Tesis  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Magister Sains pada  
Program Studi Kimia

**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026**



*@Hak cipta milik IPB University*

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tesis :

1. Dr. Zulhan Arif, M.Si
2. Prof. Dr.Dra. Purwatiningsih Sugita, M.S

Judul Tesis : Fotokatalis Hibrid Carbon Dots/Metal-Organic Framework  
(CDs@MIL-100(Fe)) Untuk Degradasi Auramina O  
Nama : Mardiana Julita  
NIM : G4501231009

Disetujui oleh

Pembimbing 1:  
Dr.rer.nat. Noviyana Darmawan, M.Sc



Pembimbing 2:  
Sri Sugiarti, Ph.D



Pembimbing 3:  
Dr. Nurfinas Yudasari, M.Sc

Diketahui oleh

Ketua Program Studi Kimia:  
Prof. Dr. Irmanida Batubara, S.Si., M.Si.  
NIP 197508072005012001



Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam:  
Dr. Berry Juliandi, S.Si., M.Si.  
NIP 197807232007011001



Tanggal Ujian: 05 Maret 2026

Tanggal Lulus:



### @Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Judul yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Juni 2024 sampai bulan Juni 2025 dengan judul “Fotokatalis Hibrid Carbon Dots/Metal-Organic Framework (CDs@MIL-100(Fe)) Untuk Degradasi Auramina O”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, yaitu Dr.rer.nat. Noviyani Darmawan, M.Sc., Sri Sugiarti, Ph.D., dan Dr. Nurfina Yudasari, M.Sc., yang telah membimbing dan banyak memberikan saran selama proses penelitian dan penyusunan tesis ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator seminar, Prof. Dr. Dra. Purwatiningsih Sugita, M.S., serta penguji luar komisi pembimbing, Dr. Zulhan Arif, M.Si., atas masukan dan kritik yang membangun. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi atas dukungan penelitian, serta kepada Laboratorium Kimia Anorganik Institut Pertanian Bogor dan Laboratorium Fotonika Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah memberikan fasilitas dan izin selama penelitian berlangsung. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada staf laboratorium serta rekan-rekan di Laboratorium Fotonika Badan Riset dan Inovasi Nasional dan Laboratorium Kimia Anorganik Institut Pertanian Bogor yang telah membantu selama pengumpulan data dan pelaksanaan penelitian. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah Drs. Marlis, ibu Fatmawati, serta adik Mustalini yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Reski Joelanda, S.TP., yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat selama masa studi magister ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, April 2026

*Mardiana Julita*

## DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	x
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
II METODE	4
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian	4
2.2 Alat dan Bahan	4
2.3 Prosedur Kerja	4
2.4 Analisis Data	6
III HASIL DAN PEMBAHASAN	8
3.1 Hasil Sintesis Carbon Dots (CDs)	8
3.2 Karakteristik Komposit CDs@MIL-100(Fe)	9
3.3 Uji Fotodegradasi AO	16
3.4 Studi Kinetika Fotodegradasi Auramina O	19
3.5 Mekanisme fotodegradasi AO	20
IV SIMPULAN DAN SARAN	24
4.1 Simpulan	24
4.2 Saran	24
DAFTAR PUSTAKA	25
LAMPIRAN	28
RIWAYAT HIDUP	31



## DAFTAR TABEL

3.1	Perbandingan $R^2$ dan k model kinetika degradasi AO	19
-----	--	----

## DAFTAR GAMBAR

3.1	Spektrum UV-Vis (—) dan Photoluminiscence (PL) CDs (—)	8
3.2	Difraktogram MIL-100(Fe) dan komposit CDs@MIL-100(Fe)	9
3.3	Spektrum FTIR MIL-100(Fe) dan komposit CDs@MIL-100(Fe)	10
3.4	Isoterm adsorpsi-desorpsi nitrogen ( $N_2$ ) MIL-100(Fe) dan komposit CDs@MIL-100(Fe)	11
3.5	FESEM pada MIL-100(Fe) (a) dan komposit CDs@MIL-100(Fe) 5% (b) TEM carbon dots (CDs) (c) TEM komposit CDs@MIL-100(Fe) (d)	13
3.6	Spektrum UV-DRS komposit CDs@MIL-100(Fe) (a) Tauc Plot (b)	15
3.7	Persentase degradasi AO (a) Kondisi larutan AO (20 ppm) setelah penyinaran selama 240 menit: (i) kontrol, (ii) MIL-100(Fe), (iii) CDs@MIL-100(Fe) 1%, (iv) 3%, (v) 5%, dan (vi) 10% (b)	16
3.8	Plot kinetika pseudo-orde-dua degradasi AO (a) Konstanta laju pseudo-orde-dua (k) (b)	20

## DAFTAR LAMPIRAN

1	Diagram alir penelitian	29
2	Ilustrasi fotoreaktor untuk fotodegradasi AO	30
3	Kurva Kalibrasi Auramina O	30
4	Perhitungan	30