

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KARBON DOTS DOPING
NITROGEN SEBAGAI FOTOKATALIS DEGRADASI
*RHODAMINE B***

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains*



OLEH:

NAOMI RAHMA DANIA JOUNZA

NIM/TM. 21036096/2021

PROGRAM STUDI KIMIA

DEPARTEMEN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2026

PERSETUJUAN SKRIPSI

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KARBON DOTS DOPING NITROGEN SEBABAGI FOTOKATALIS DEGRADASI RHODAMINE B

Nama : Naomi Rahma Dania Jounza
NIM : 21036096
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Mei 2026

Mengetahui :
Kepala Departemen Kimia

Disetujui Oleh :
Dosen Pembimbing



Budhi Oktavia, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 19721024 199803 1 001



Prof. Ali Amran, M.Pd, MA, Ph.D
NIP. 19471022 197109 1 001

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

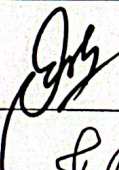
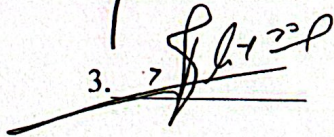
Nama : Naomi Rahma Dania Jounza
TM/NIM : 2021/21036096
Program Studi : Kimia (NK)
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KARBON DOTS DOPING NITROGEN SEBAGAI FOTOKATALIS DEGRADASI RHODAMINE B

Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan di Depan Tim Penguji Skripsi
Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, Mei 2026

Tim Penguji

No	Jabatan	Nama	Tanda Tangan
1	Ketua	Prof. Ali Amran, M.Pd, MA, Ph.D	1. 
2	Anggota	Dr.rer.nat. Deski Beri, S.Si., M.Si	2. 
3	Anggota	Dra. Syamsi Aini, M.Si., Ph.D	3. 

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini

Nama : Naomi Rahma Dania Jounza
NIM : 21036096
Tempat/Tanggal Lahir : Sungai Penuh/ 29 Oktober 2003
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : SINTESIS DAN KARAKTERISASI KARBON DOTS
DOPING NITROGEN SEBAGAI FOTOKATALIS
DEGRADASI RHODAMINE B

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil karya saya dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali tim pembimbing.
3. Pada karya tulis/skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada kepustakaan.
4. Karya tulis/skripsi ini sah apabila telah ditandatangani Asli oleh tim pembimbing dan tim penguji.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Padang, Mei 2026
Yang Menyatakan



Naomi Rahma Dania Jounza
NIM. 21036096

Sintesis dan Karakterisasi Karbon Dots Doping Nitrogen sebagai Fotokatalis Degradasi *Rhodamine B*

Naomi Rahma Dania Jounza

ABSTRAK

Karbon dots yang didoping nitrogen disintesis melalui metode solvothermal yang sederhana dan bebas logam dengan menggunakan asam sitrat dan urea sebagai prekursor karbon dan nitrogen. Rasio molar asam sitrat terhadap urea diubah secara sistematis untuk menyelidiki pengaruhnya terhadap sifat optik dan kinerja fotokatalitik dari N-CDs yang dihasilkan. Analisis absorpsi UV–Vis dan fotoluminesensi (PL) menunjukkan emisi yang dapat disesuaikan dalam rentang 491–510 nm dengan celah pita optik yang sesuai antara 2,53 dan 2,43 eV. Analisis ukuran partikel mengonfirmasi diameter partikel rata-rata sekitar 4,3 nm. Hasil kuantum fotoluminesensi (PLQY) yang sangat tinggi sebesar 92,88% dicapai pada rasio asam sitrat terhadap urea optimal 1:5, yang dikaitkan dengan doping nitrogen yang seimbang dan pasivasi keadaan permukaan yang efektif. Karbon dots yang dioptimalkan menunjukkan degradasi fotokatalitik yang efisien terhadap *rhodamine B* bawah irradiasi UV 405 nm, mencapai efisiensi degradasi sebesar 85,36% setelah 240 menit. Analisis kinetika menunjukkan perilaku orde pertama semu. Hasil ini menunjukkan bahwa karbon dots bebas logam yang disintesis melalui pendekatan ramah lingkungan merupakan fotokatalis yang menjanjikan untuk pengolahan air limbah yang terkontaminasi pewarna.

Kata Kunci : karbon dots, doping nitrogen, PLQY, fotokatalis, degradasi zat warna

Penelitian ini dilakukan bersama Putri Pramana Arnum, saat ini sudah accept dan dalam proses publish pada jurnal IOP Scopus Q2. Pada penelitian ini, penulis berfokus pada studi degradasi *rhodamine B*, sedangkan Putri Pramana Arnum berfokus pada degradasi *methylene blue*.

Synthesis and Characterization of Carbon Dots Nitrogen-doped as Photocatalysts Rhodamine B Degradation

Naomi Rahma Dania Jounza

ABSTRACT

Nitrogen-doped carbon dots (N-CDs) were synthesized via a simple and metal-free solvothermal route using citric acid and urea as carbon and nitrogen precursors, respectively. The urea-to-citric-acid molar ratio was systematically varied to investigate its influence on the optical properties and photocatalytic performance of the resulting N-CDs. UV–Vis absorption and photoluminescence (PL) analyses reveal tunable emission in the range of 491–510 nm with corresponding optical band gaps between 2.53 and 2.43 eV. Particle size analysis confirms an average particle diameter of approximately 4.3 nm. An exceptionally high photoluminescence quantum yield (PLQY) of 92.88% was achieved at an optimal urea to-citric-acid ratio of 1:5, attributed to balanced nitrogen doping and effective surface-state passivation. The optimized N-CDs exhibit efficient photocatalytic degradation of rhodamine B under 405 nm UV irradiation, achieving degradation efficiencies of 85.36% after 240 min, respectively. Kinetic analysis indicates pseudo-first-order. These results demonstrate that metal-free N-CDs synthesized through a green and scalable approach are promising photocatalysts for dye-contaminated wastewater treatment.

Keywords : carbon dots, nitrogen doping, photoluminescence quantum yield, photocatalysis, dye degradation

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbill'alamin, Puji dan Syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT, karna berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Sintesis dan Karakterisasi Karbon Dots Doping Nitrogen sebagai Fotokatalis Degradasi Rhodamine B**”. Shalawat beserta salam untuk nabi tauladan kita, Muhammad SAW yang telah memberikan tauladan dalam setiap aktivitas yang kita lalui.

Skripsi ini diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, petunjuk, arahan, dan masukan yang sangat berharga dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Orang tua penulis yang telah memberikan semangat serta dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Drs. Ali Amran, M.Pd., M.A., Ph.D., selaku Dosen Penasihat Akademik dan Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
3. Bapak Dr.rer.nat. Deski Beri, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing di Laboratorium dan Dosen Penguji 1.
4. Ibu Dra. Syamsi Aini, M.Si., Ph.D., selaku Dosen Penguji 2.
5. Bapak Budhi Oktavia, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Kepala Departemen Kimia dan koordinator Program Studi Kimia.

6. Papa Jon dan Mama Oza tercinta yang telah menjadi rumah, tempat pulang, sekaligus sumber kekuatan terbesar bagi penulis dalam menjalani setiap proses kehidupan hingga mampu menyelesaikan skripsi ini. Setiap doa yang selalu dipanjatkan dalam diam, kasih sayang yang tidak pernah berkurang, pengorbanan yang tak terhitung, serta perjuangan yang mungkin tidak akan pernah bisa penulis balas sampai kapan pun. Di balik setiap langkah dan pencapaian penulis hari ini, ada air mata, lelah, dan harapan Papa dan Mama yang selalu menyertai. Penulis menyadari bahwa tanpa cinta dan ketulusan Papa dan Mama, penulis tidak akan mampu berada di titik ini.
7. Partner special Agung Cahyadi Amir S.T., yang telah menemani perjalanan penulis sejak awal perkuliahan hingga akhirnya mampu menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih karena selalu hadir menjadi tempat bersandar di tengah lelahnya proses yang dijalani, menjadi sosok yang selalu bisa diandalkan dalam banyak hal, serta dengan sabar membantu dan menemani penulis melewati setiap suka dan duka selama masa perkuliahan.
8. Sahabat seperjuangan Putri Pramana Arnum S.Si., yang telah bersama-sama berjuang, berdiskusi, dan saling mendukung selama proses penelitian hingga akhirnya dapat menyelesaikan studi dengan menerbitkan artikel scopus dan meraih gelar akademik. Kerja sama, ketekunan, dan semangat yang terjalin menjadi bagian penting dalam keberhasilan penelitian ini.

Semoga rahmat dan kasih sayang Allah SWT selalu tercurah pada kita semua serta usaha dan kerja kita bernilai ibadah di hadapan Allah SWT, Aamiin Ya Rabbal

‘Alamin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan masukan dan saran dari pembaca agar skripsi ini bermanfaat dikemudian harinya.

Padang, 20 April 2026

Naomi Rahma Dania Jounza

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Batasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah	4
E. Tujuan Penelitian	4
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. <i>Rhodamine B</i>	6
B. Fotokatalis	7
C. Karbon Dots	9
D. Karakterisasi Karbon Dots	13
1. Spektrofotometri UV-VIS	13
2. <i>Particle Size Analyzer (PSA)</i>	14
3. <i>Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM)</i>	15
4. <i>Photoluminescence Spectroscopy (PL)</i> dan <i>Photoluminescence Quantum Yield (PLQY)</i>	16
5. <i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i>	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
A. Waktu dan Tempat Penelitian	19
B. Objek Penelitian	19
C. Variabel Penelitian	19

D.	Alat dan Bahan.....	19
1.	Alat.....	19
2.	Bahan.....	20
E.	Prosedur Penelitian.....	20
1.	Sintesis Karbon Dots.....	20
2.	Karakterisasi Karbon Dots	20
3.	Karbon dots sebagai fotokatalis	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		25
A.	Sintesis Karbon Dots.....	25
B.	Karakterisasi Karbon Dots	26
a.	Spektrofotometri UV-VIS	26
b.	<i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	31
c.	<i>Field Emission Scanning Electron Microscope</i> (FESEM).....	32
d.	<i>Photoluminescence Spectroscopy</i> (PL) dan <i>Photoluminescence Quantum Yield</i> (PLQY)	34
e.	<i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	36
C.	Karbon Dots Sebagai Fotokatalis.....	38
BAB V_PENUTUP		42
A.	Kesimpulan	42
B.	Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA		43
LAMPIRAN.....		50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur <i>Rhodamine B</i>	6
Gambar 2. Skema fotokatalis dengan zat warna <i>Rhodamine B</i>	8
Gambar 3. Struktur karbon dots	10
Gambar 4. Metode sintesis karbon dots	11
Gambar 5. Karbon dots dibawah cahaya tampak dan dibawah laser 405 nm.....	25
Gambar 6. Skema sintesis solvothermal karbon dots	26
Gambar 7. Spektrum penyerapan UV-VIS.....	27
Gambar 8. Bandgap karbon dots (1:1)	28
Gambar 9. Bandgap karbon dots (1:5)	28
Gambar 10. Bandgap karbon dots (1:9)	29
Gambar 11. PSA dari karbon dots	31
Gambar 12. FESEM dari karbon dots pada berbagai perbesaran	32
Gambar 13. FESEM dari karbon dots titik area yang dipilih untuk analisis EDX	33
Gambar 14. Spektrum EDX dan komposisi unsur EDX.....	33
Gambar 15. Spektrum emisi fotoluminesensi yang dinormalisasi.....	34
Gambar 16. Spektrum FTIR karbon dots	37
Gambar 17. Representatif struktur karbon dots berdasarkan analisis FTIR	38
Gambar 18. Degradasi fotokatalitik <i>Rhodamine B</i>	40
Gambar 19. Kinetika fotokatalitik <i>Rhodamine B</i>	41

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai representatif bandgap karbon dots.....	30
Tabel 2. Hasil PLQY karbon dots	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan.....	50
Lampiran 2. Skema Kerja Penelitian	56
Lampiran 3. Rencana Anggaran Biaya.....	57
Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian.....	57

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perairan merupakan salah satu komponen penting dalam lingkungan yang berperan sebagai sumber kehidupan bagi manusia, hewan, dan tumbuhan. Selain itu, perairan juga menjadi penopang berbagai aktivitas ekonomi seperti pertanian, perikanan, hingga industri. Menjaga kualitas perairan sangat penting agar ekosistem tetap seimbang dan kebutuhan manusia dapat terpenuhi secara berkelanjutan. Namun seiring meningkatnya aktivitas industri telah menyebabkan masuknya berbagai polutan ke dalam lingkungan perairan, terutama dalam bentuk limbah cair. Salah satu jenis pencemar yang banyak ditemukan dalam limbah tersebut adalah zat warna sintetik, seperti *Rhodamine B* (RhB) (Khan et al., 2025).

Rhodamine B (RhB) merupakan zat warna kationik yang banyak digunakan dalam industri tekstil, kertas, plastik, dan kosmetik. Dalam lingkungan perairan, sifat kationik RhB memperkuat interaksinya dengan organisme akuatik, sehingga dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam air dan mengganggu proses fotosintesis. Selain itu, RhB tergolong toksik, mutagenik, dan karsinogenik. Paparan RhB dapat menyebabkan iritasi kulit, mata, dan saluran pernapasan, merusak hati dan ginjal, bahkan menimbulkan kerusakan DNA yang berpotensi memicu kanker dalam jangka panjang. Oleh karena itu, salah satu pengembangan metode yang efektif untuk mengatasi masalah ini adalah fotokatalis (Xu & Ma, 2021).

Fotokatalis adalah zat atau material yang dapat mempercepat reaksi kimia dengan menggunakan energi cahaya, biasanya cahaya ultraviolet atau *visible* (Shabil Sha et al., 2024). Fotokatalis bekerja dengan menghasilkan pasangan elektron dan *hole* ketika terkena cahaya, yang kemudian memulai reaksi oksidasi atau reduksi pada zat target, seperti polutan di air atau udara (Yan et al., 2023). Semikonduktor yang biasanya digunakan dalam fotokatalis yaitu titanium dioksida (TiO_2), seng oksida (ZnO), dan karbon dots (Maqbool, 2024).

Di antara berbagai jenis semikonduktor yang digunakan sebagai fotokatalis, karbon dots menjadi salah satu yang paling menjanjikan karena memiliki sifat optik seperti intensitas fluoresensi yang kuat, kestabilan kimia yang baik, dan toksisitas yang rendah (Gengan et al., 2022). Karbon dots merupakan nanomaterial karbon berukuran kurang dari 10 nm yang mampu menyerap cahaya tampak secara efisien, serta menghasilkan pasangan *elektron-hole* setelah tereksitasi oleh cahaya (Wang et al., 2021). Pasangan ini kemudian membentuk spesies radikal reaktif seperti OH dan O_2 yang berperan dalam proses oksidasi dan reduksi terhadap polutan organik. Permukaan karbon dots yang kaya akan gugus fungsional seperti OH , COOH , dan NH_2 juga mendukung transfer muatan serta menurunkan kemungkinan rekombinasi pasangan *elektron-hole*, sehingga meningkatkan efisiensi fotokatalitik (Ozyurt et al., 2023).

Penelitian sebelumnya oleh (Jin et al., 2022) menunjukkan bahwa karbon dots dapat digunakan sebagai fotokatalis untuk menguraikan zat warna

Rhodamine B dalam air limbah. Karbon dots yang disintesis melalui metode hidrotermal menggunakan 3,4-dihydroxyhydrocinnamic acid dan ethylenediamine dengan doping logam Cu menghasilkan partikel kecil dengan sifat fluoresensi dan kemampuan menyerap cahaya UV-Vis. Namun, penggunaan logam Cu memiliki kelemahan, yaitu potensi reaksi sampingan dan pencemaran lingkungan akibat nanopartikel yang lepas, yang dapat berdampak negatif pada ekosistem dan kesehatan manusia, serta menurunkan keberlanjutan aplikasi fotokatalitik.

Dari penelitian karbon dots telah dilakukan, masih terdapat beberapa tantangan, seperti bantuan logam yang kurang ramah lingkungan, serta belum dipahaminya secara menyeluruh hubungan antara kandungan nitrogen, struktur elektronik, dan kinerja fotokatalitik. Selain itu, studi sistematis pada sistem bebas logam yang mengkaji keterkaitan komposisi prekursor, keadaan permukaan, dan kinetika fotokatalitik masih terbatas, sehingga diperlukan pendekatan yang lebih sederhana dan berkelanjutan.

Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada pengembangan karbon dots melalui metode solvothermal tanpa menggunakan logam dengan prekursor asam sitrat dan urea, serta memvariasikan rasio urea untuk mengontrol sifat optik dan meningkatkan aktivitas fotokatalitik (Yorozuya et al., 2025). Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh material karbon dots yang efektif, ramah lingkungan, dan berpotensi untuk aplikasi pengolahan limbah cair industri.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Limbah industri *Rhodamine B* bersifat toxic sehingga mencemari perairan.
2. Belum diketahui secara pasti seberapa efektif karbon dots hasil sintesis solvotermal dalam mendegradasi *Rhodamine B* sebagai zat warna berbahaya.

C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus, maka perlu dilakukan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Hanya menggunakan limbah industri *Rhodamine B*.
2. Sintesis karbon dots menggunakan metode solvotermal.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka peneliti merumuskan beberapa masalah:

1. Bagaimana pengaruh rasio asam sitrat : urea terhadap sifat optik karbon dots?
2. Bagaimana efektivitas karbon dots yang disintesis melalui metode solvotermal dalam mendegradasi *Rhodamine B*?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan diadakan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh rasio asam sitrat : urea terhadap sifat optik karbon dots.
2. Mengetahui efektivitas karbon dots dalam mendegradasi *Rhodamine B*.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh rasio asam sitrat : urea terhadap sifat optik karbon dots.
2. Memberikan informasi mengenai efektivitas karbon dots dalam mendegradasi *Rhodamine B*.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Karbon dots berhasil disintesis dengan metode solvothermal sederhana tanpa logam menggunakan asam sitrat dan urea. Rasio asam sitrat terhadap urea berperan penting dalam mengontrol sifat optik dan kinerja material, dengan rasio optimal 1:5 menghasilkan PLQY sangat tinggi (92,88%) karena keseimbangan antara doping nitrogen dan passivasi permukaan.
2. Karbon dots menunjukkan efektivitas fotokatalitik yang tinggi dalam mendegradasi *Rhodamine B* di bawah sinar UV 405 nm, dengan efisiensi degradasi mencapai 85,36%. Proses degradasi mengikuti kinetika orde semu pertama, yang menunjukkan bahwa karbon dots bekerja secara efektif. Hal ini membuktikan bahwa karbon dots tanpa logam berpotensi sebagai fotokatalis ramah lingkungan untuk pengolahan limbah cair.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan untuk mengeksplorasi lebih lanjut parameter sintesis seperti suhu, waktu reaksi, dan jenis pelarut guna memperoleh pembentukan karbon dots terdoping nitrogen. Selain itu, penggunaan sumber nitrogen lain dapat dipertimbangkan untuk melihat pengaruhnya terhadap sifat optik dan fotoluminesensi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abouri, M., Benzaouak, A., Elouardi, M., El Hamdaoui, L., Zaaboul, F., Azzaoui, K., Hammouti, B., Sabbahi, R., Jodeh, S., El Belghiti, M. A., & El Hamidi, A. (2025). Enhanced photocatalytic degradation of Rhodamine B using polyaniline-coated XTiO_3 (X = Co, Ni) nanocomposites. *Scientific Reports*, 15(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-83610-1>
- Afiq, Y., Budiman, S., & Beri, D. (2025). A budget-friendly integrating sphere for reliable quantum yield characterization of fluorescent solutions. *Next Materials*, 9(August), 101057. <https://doi.org/10.1016/j.nxmte.2025.101057>
- Al-amin, K., & Bhuiyan, R. (2025). *Nanoscale Advances Fourier transform infrared spectroscopic technique for analysis of inorganic materials: a review*. 6677–6702. <https://doi.org/10.1039/d5na00522a>
- Al-Buriah, A. K., Al-Gheethi, A. A., Senthil Kumar, P., Radin Mohamed, R. M. S., Yusof, H., Alshalif, A. F., & Khalifa, N. A. (2022). Elimination of rhodamine B from textile wastewater using nanoparticle photocatalysts: A review for sustainable approaches. *Chemosphere*, 287(P2), 132162. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132162>
- Amakali, T., Živković, A., Warwick, M. E. A., Jones, D. R., Dunnill, C. W., Daniel, L. S., Uahengo, V., Mitchell, C. E., Dzade, N. Y., & de Leeuw, N. H. (2022). Photocatalytic Degradation of Rhodamine B Dye and Hydrogen Evolution by Hydrothermally Synthesized NaBH_4 —Spiked ZnS Nanostructures. *Frontiers in Chemistry*, 10(April), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.835832>
- Arora, G., Syahidah, N., Liew, C., & Yan, C. (2024). Characterization of green-synthesized carbon quantum dots from spent coffee grounds for EDLC electrode applications. *Chemical Physics Impact*, 9(October), 100767. <https://doi.org/10.1016/j.chphi.2024.100767>
- Bao, H., Liu, Y., Li, H., Qi, W., & Sun, K. (2023). Luminescence of carbon quantum dots and their application in biochemistry. *Heliyon*, 9(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20317>
- Bian, Z., Gomez, E., Gruebele, M., Levine, B. G., Link, S., Mehmood, A., & Nie, S. (2025). Bottom-up carbon dots: purification, single-particle dynamics, and electronic structure. *Chemical Science*, 16(10), 4195–4212. <https://doi.org/10.1039/d4sc05843g>
- Bourlinos, A. B., Zbořil, R., Petr, J., Bakandritsos, A., Krysmann, M., & Giannelis, E. P. (2012). Luminescent surface quaternized carbon dots. *Chemistry of Materials*, 24(1), 6–8. <https://doi.org/10.1021/cm2026637>
- Bruno, F., Sciortino, A., Buscarino, G., Soriano, M. L., Ríos, Á., Cannas, M., Gelardi, F., Messina, F., & Agnello, S. (2021). A comparative study of top-down and

- bottom-up carbon nanodots and their interaction with mercury ions. *Nanomaterials*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/nano11051265>
- Chai, J., Zhang, K., Xue, Y., Liu, W., Chen, T., & Lu, Y. (n.d.). *Review of MEMS Based Fourier Transform Spectrometers*.
- Choi, Y., Choi, Y., Kwon, O. H., & Kim, B. S. (2018). Carbon Dots: Bottom-Up Syntheses, Properties, and Light-Harvesting Applications. *Chemistry - An Asian Journal*, 13(6), 586–598. <https://doi.org/10.1002/asia.201701736>
- Das, A., Kundele, E. V., Vedernikova, A. A., Cherevko, S. A., Danilov, D. V., Koroleva, A. V., Zhizhin, E. V., Tsympkin, A. N., Litvin, A. P., Baranov, A. V., Fedorov, A. V., Ushakova, E. V., & Rogach, A. L. (2022). *Revealing the nature of optical activity in carbon dots produced from different chiral precursor molecules*. <https://doi.org/10.1038/s41377-022-00778-9>
- Deng, Y., Chen, M., Chen, G., Zou, W., Zhao, Y., Zhang, H., & Zhao, Q. (2021). Visible-Ultraviolet Upconversion Carbon Quantum Dots for Enhancement of the Photocatalytic Activity of Titanium Dioxide. *ACS Omega*, 6(6), 4247–4254. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05182>
- Dimitriev, O., Kysil, D., Zaderko, A., Isaieva, O., Vasin, A., Piryatinski, Y., Fahlman, M., & Nazarov, A. (2024). *Nanoscale Advances Photoluminescence quantum yield of carbon dots : emission due to multiple centers versus excitonic*. 2185–2197. <https://doi.org/10.1039/d4na00033a>
- Gatou, M. A., Fiorentis, E., Lagopati, N., & Pavlatou, E. A. (2023). Photodegradation of Rhodamine B and Phenol Using TiO₂/SiO₂ Composite Nanoparticles: A Comparative Study. *Water (Switzerland)*, 15(15), 1–28. <https://doi.org/10.3390/w15152773>
- Gengan, S., Ananda Murthy, H. C., Sillanpää, M., & Nhat, T. (2022). Carbon dots and their application as photocatalyst in dye degradation studies- Mini review. *Results in Chemistry*, 4(November). <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2022.100674>
- Ghibate, R., Chrachmy, M., Kerrou, M., Ben Baaziz, M., Alaqarbeh, M., Amechrouq, A., Taouil, R., & Senhaji, O. (2025). Eco-friendly adsorption of Rhodamine B dye using Punica granatum peel from an aqueous medium. *Green Analytical Chemistry*, 12(December 2024). <https://doi.org/10.1016/j.greeac.2024.100201>
- Haleem, A., Ullah, M., Rehman, S. ur, Shah, A., Ullah, I., & Li, H. (2024). In-Depth Photocatalytic Degradation Mechanism of the. *Water*, 16(158), 35.
- Hamid, M., Humaidi, S., Wijoyo, H., Isnaeni, I., Saragi, I. R., Simanjuntak, C., Kaus, N. H. M., Kechik, M. M. A., Nurbillah, A., Yaakob, Y., & Nasution, T. I. (2024). Solvothermal synthesized N–S doped carbon dots derived from cavendish banana peel (*Musa paradisiaca*) for detection of Fe(III) and Pb(II). *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10(June), 100832. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100832>

- Jakimińska, A., Pawlicki, M., & Macyk, W. (2022). Photocatalytic transformation of Rhodamine B to Rhodamine-110 – The mechanism revisited. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 433(July). <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2022.114176>
- Jin, Z., Li, Q., Tang, P., Li, G., Liu, L., Chen, D., & Wu, J. (2022). *Nanoscale Advances Copper-doped carbon dots with enhanced Fenton reaction activity for rhodamine B degradation* †. 3073–3082. <https://doi.org/10.1039/D2NA00269H>
- Jing, H. H., Bardakci, F., Akgöl, S., Kusat, K., Adnan, M., & Sasidharan, S. (2023). *Green Carbon Dots : Synthesis , Characterization , Properties and Biomedical Applications*.
- Jung, H., Sapner, V. S., Adhikari, A., Sathe, B. R., & Patel, R. (2022). Recent Progress on Carbon Quantum Dots Based Photocatalysis. *Frontiers in Chemistry*, 10(April), 1–28. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.881495>
- Kandasamy, G. (2019). Recent Advancements in Doped/Co-Doped Carbon Quantum Dots for Multi-Potential Applications. *C*, 5(2), 24. <https://doi.org/10.3390/c5020024>
- Karakoçak, B. B., Laradji, A., Primeau, T., Berezin, M. Y., Li, S., & Ravi, N. (2021). Hyaluronan-Conjugated Carbon Quantum Dots for Bioimaging Use. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 13(1), 277–286. <https://doi.org/10.1021/acsami.0c20088>
- Khan, M. A., Tabassum, N., Khan, A. R., Feroz, Z., & Rahman, Q. I. (2025). *Synthesis and Photocatalytic Performance of g -C 3 N 4 / ZnO Nanocomposites for the Efficient Degradation of Dyes Under Sunlight* †.
- Kundu, A., Maity, B., & Basu, S. (2023). Orange Pomace-Derived Fluorescent Carbon Quantum Dots: Detection of Dual Analytes in the Nanomolar Range. *ACS Omega*, 8(24), 22178–22189. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c02474>
- Lavate, D., Sawant, V., & Khomane, A. (2022). Photodegradation of Rhodamine-B Dye under Natural Sunlight using CdO. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, 17(2), 466–475. <https://doi.org/10.9767/bcrec.17.2.14172.466-475>
- Lee, S. Y., Kang, D., Jeong, S., Do, H. T., & Kim, J. H. (2020). Photocatalytic Degradation of Rhodamine B Dye by TiO₂ and Gold Nanoparticles Supported on a Floating Porous Polydimethylsiloxane Sponge under Ultraviolet and Visible Light Irradiation. *ACS Omega*, 5(8), 4233–4241. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b04127>
- Li, J., Li, X., & Li, X. (2025). Carbon quantum dots modified 3D flower-like BiOCl nanostructures with enhanced visible light photocatalytic degradation of rhodamine B. *Discover Materials*, 5(1). <https://doi.org/10.1007/s43939-025-00202-0>

- Li, Y., Wang, Y. Q., Liu, D., Gao, Y., Wang, S. N., & Qiu, H. (2021). Dual-Emission Ratiometric Fluorescent Probe Based on Lanthanide-Functionalized Carbon Quantum Dots for White Light Emission and Chemical Sensing. *ACS Omega*, 6(22), 14629–14638. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c01745>
- Liu, Y., Wang, B., Zhang, Y., Guo, J., Wu, X., Ouyang, D., Chen, S., Chen, Y., Wang, S., Xing, G., Tang, Z., & Qu, S. (2024). Perylenedioic Acid-Derived Carbon Dots with Near 100% Quantum Yield in Aqueous Solution for Lasing and Lighting. *Advanced Functional Materials*, 2401353. <https://doi.org/10.1002/adfm.202401353>
- Magalong, M. A., Galvez, S. R., Flordeliza, K. O., Caballero, J. L., Gildo, P. J., & Rubi, R. V. (2026). *Optimization of Ultrasound-Assisted Solvothermal Synthesis of N-Doped Carbon Dots Derived from Water Hyacinth (Pontederia crassipes) for Carbon Monoxide Sensing †*. 1–12.
- Mao, H., Xue, M., & Han, G. (2021). Synthesis, properties and applications of fluorescent carbon dots. *Gongneng Cailiao/Journal of Functional Materials*, 52(1), 01053–01063. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-9731.2021.01.009>
- Maqbool, A. (2024). Photocatalytic degradation properties. *Characterization and Application of Nanomaterials*, 7(1), 5523. <https://doi.org/10.24294/can.v7i1.5523>
- Meena, P. L., Saini, J. K., Surela, A. K., Poswal, K., & Chhachhia, L. K. (2024). Fabrication of polyaniline-coated porous and fibrous nanocomposite with granular morphology using tea waste carbon for effective removal of rhodamine B dye from water samples. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(2), 1711–1730. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-02267-2>
- Mohamadpour, F., & Amani, A. M. (2024). Photocatalytic systems: reactions, mechanism, and applications. *RSC Advances*, 14(29), 20609–20645. <https://doi.org/10.1039/d4ra03259d>
- Mohammed, S. J., & Omer, K. M. (2023). *RSC Advances dot formation at various reaction times using the and UV-visible spectroscopic approaches †*. 14340–14349. <https://doi.org/10.1039/d3ra01646c>
- Monday, Y. N., Abdullah, J., Yusof, N. A., Rashid, S. A., & Shueb, R. H. (2021). Facile hydrothermal and solvothermal synthesis and characterization of nitrogen-doped carbon dots from palm kernel shell precursor. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(4), 1–17. <https://doi.org/10.3390/app11041630>
- Mzimela, N., Tichapondwa, S., & Chirwa, E. (2022). Visible-light-activated photocatalytic degradation of rhodamine B using WO₃ nanoparticles. *RSC Advances*, 12(53), 34652–34659. <https://doi.org/10.1039/d2ra06124d>
- Nguyen, K. G., Baragau, I. A., Gromicova, R., Nicolaev, A., Thomson, S. A. J., Rennie, A., Power, N. P., & Sajjad, M. T. (2022). Investigating the effect of N - doping on carbon quantum dots structure , optical properties and metal ion screening.

- Scientific Reports*, 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16893-x>
- Ozyurt, D., Kobaisi, M. Al, Hocking, R. K., & Fox, B. (2023). Properties, synthesis, and applications of carbon dots: A review. *Carbon Trends*, 12(March), 100276. <https://doi.org/10.1016/j.cartre.2023.100276>
- Pathak, R., Punetha, V. D., Bhatt, S., & Punetha, M. (2023). Multifunctional role of carbon dot-based polymer nanocomposites in biomedical applications: a review. *Journal of Materials Science*, 58(15), 6419–6443. <https://doi.org/10.1007/s10853-023-08408-4>
- Peng, Z., Zhou, Y., Ji, C., Pardo, J., Mintz, K. J., Pandey, R. R., Chusuei, C. C., Graham, R. M., Yan, G., & Leblanc, R. M. (2020). Facile synthesis of “boron-doped” carbon dots and their application in visible-light-driven photocatalytic degradation of organic dyes. *Nanomaterials*, 10(8), 1–17. <https://doi.org/10.3390/nano10081560>
- Qi, H., Qiu, L., Zhang, X., Yi, T., Jing, J., Sami, R., Alanazi, S. F., Alqahtani, Z., Aljabri, M. D., & Rahman, M. M. (2023). Novel N-doped carbon dots derived from citric acid and urea: fluorescent sensing for determination of metronidazole and cytotoxicity studies. *RSC Advances*, 13(4), 2663–2671. <https://doi.org/10.1039/d2ra07150a>
- Rao, L., Zhang, Q., Sun, B., Wen, M., Zhang, J., Zhong, G., Fu, T., & Niu, X. (2022). *Multicolor Luminescent Carbon Dots : Tunable Photoluminescence , Excellent Stability , and Their Application in Light-Emitting Diodes*.
- Ross, S., Wu, R. S., Wei, S. C., Ross, G. M., & Chang, H. T. (2020). The analytical and biomedical applications of carbon dots and their future theranostic potential: A review. *Journal of Food and Drug Analysis*, 28(4), 677–695. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.1154>
- Sakar, M., Mithun Prakash, R., & Trong-On, D. (2019). Insights into the tio₂-based photocatalytic systems and their mechanisms. *Catalysts*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/catal9080680>
- Seedad, R., Khuthinakhun, S., Ratanawimarnwong, N., Jittangprasert, P., Mantim, T., & Songsrirote, K. (2021). Carbon dots prepared from citric acid and urea by microwave-assisted irradiation as a turn-on fluorescent probe for allantoin determination. *New Journal of Chemistry*, 45(47), 22424–22431. <https://doi.org/10.1039/d1nj03284d>
- Shabil Sha, M., Anwar, H., Musthafa, F. N., Al-Lohedan, H., Alfarwati, S., Rajabathar, J. R., Khalid Alahmad, J., Cabibihan, J. J., Karnan, M., & Kumar Sadasivuni, K. (2024). Photocatalytic degradation of organic dyes using reduced graphene oxide (rGO). *Scientific Reports*, 14(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53626-8>
- Skjolding, L. M., Jørgensen, L. v. G., Dyhr, K. S., Köppl, C. J., McKnight, U. S.,

- Bauer-Gottwein, P., Mayer, P., Bjerg, P. L., & Baun, A. (2021). Assessing the aquatic toxicity and environmental safety of tracer compounds Rhodamine B and Rhodamine WT. *Water Research*, 197, 117109. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117109>
- Stachowska, J. D., Murphy, A., Mellor, C., Fernandes, D., Gibbons, E. N., Krysmann, M. J., Kellarakis, A., Burgaz, E., Moore, J., & Yeates, S. G. (2021). OPEN A rich gallery of carbon dots based photoluminescent suspensions and powders derived by citric acid / urea. *Scientific Reports*, 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89984-w>
- Tripti, T., Singh, P., Rani, N., Kumar, S., Kumar, K., & Kumar, P. (2024). Carbon dots as potential candidate for photocatalytic treatment of dye wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(5), 6738–6765. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31437-0>
- Wang, K., Liang, L., Zheng, Y., Li, H., Niu, X., Zhang, D., & Fan, H. (2021). Visible light-driven photocatalytic degradation of organic pollutants via carbon quantum dots/TiO₂. *New Journal of Chemistry*, 45(35), 16168–16178. <https://doi.org/10.1039/d1nj02387j>
- Xu, D., & Ma, H. (2021). Degradation of rhodamine B in water by ultrasound-assisted TiO₂ photocatalysis. *Journal of Cleaner Production*, 313(January), 127758. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127758>
- Yan, R., Liu, X., Zhang, H., Ye, M., Wang, Z., Yi, J., Gu, B., & Hu, Q. (2023). Carbon Quantum Dots Accelerating Surface Charge Transfer of 3D PbBiO₂I Microspheres with Enhanced Broad Spectrum Photocatalytic Activity—Development and Mechanism Insight. *Materials*, 16(3). <https://doi.org/10.3390/ma16031111>
- Yang, H. L., Bai, L. F., Geng, Z. R., Chen, H., Xu, L. T., Xie, Y. C., Wang, D. J., Gu, H. W., & Wang, X. M. (2023). Carbon quantum dots: Preparation, optical properties, and biomedical applications. *Materials Today Advances*, 18, 100376. <https://doi.org/10.1016/j.mtadv.2023.100376>
- Yang, Q., Gavalas, S., Ejsmont, A., Krysmann, M. J., Guo, J., Li, L., Guo, X., & Kellarakis, A. (2023). Resculpting carbon dots via electrochemical etching. 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30547-6>
- Yusuf, T. L., Orimolade, B. O., Masekela, D., Mamba, B., & Mabuba, N. (2022). The application of photoelectrocatalysis in the degradation of rhodamine B in aqueous solutions: a review. *RSC Advances*, 12(40), 26176–26191. <https://doi.org/10.1039/d2ra04236c>
- Zhang, Q., Wang, R., Feng, B., Zhong, X., & Ostrikov, K. (Ken). (2021). Photoluminescence mechanism of carbon dots: triggering high-color-purity red fluorescence emission through edge amino protonation. *Nature Communications*,

12(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27071-4>

Zhang, Y., Yang, F., Liu, C., Hou, D., Zheng, Y., Gao, H., Sun, H., & Lin, X. (2024). Solid-State Fluorescent Carbon Dots with Hydrophobic Modification Induced Red Emission for White Light-Emitting Diodes. *Inorganic Chemistry*, 63(42), 19827–19834. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.4c03150>