p-ISSN : 2302-4216
e-ISSN : 2830-1765
Inovasi Fisika Indonesia
https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/inovasi-fisika-indonesia
Published by:
Program Studi Fisika
Jurusan Fisika FMIPA
Universitas Negeri Surabaya
Kampus Unesa Ketintang Jl. Ketintang Gd. C3 Lt. 1
Surabaya - Indonesia
jifi@unesa.ac.id

Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI) Volume 15 Nomor 3 Tahun 2026, hal 387-393

SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL ZNO@SiO_2 BERBASIS ZNO DARI EKSTRAK BAWANG PUTIH (*ALLIUM SATIVUM L.*)

[1)]Joannita Putri Maharani, [2)]Munasir

[1)] Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: joannitaputri.22018@mhs.unesa.ac.id
[2)] Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: munasir_physics@unesa.ac.id

Abstrak

Nanopartikel ZnO merupakan material semikonduktor yang banyak dikembangkan karena memiliki stabilitas kimia yang baik. Namun, nanopartikel ZnO murni masih memiliki keterbatasan berupa kecenderungan mengalami aglomerasi dan stabilitas rendah. Modifikasi menggunakan SiO_2 diketahui dapat meningkatkan stabilitas serta luas permukaan material. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi nanopartikel ZnO@SiO_2 berbasis ZnO yang disintesis secara hijau menggunakan ekstrak bawang putih (*Allium sativum L.*). Sintesis dilakukan melalui pembentukan ZnO menggunakan ekstrak bawang putih dilanjutkan dengan pelapisan SiO_2 menggunakan metode sol-gel. Karakterisasi material dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Hasil XRD menunjukkan terbentuknya fase ZnO berstruktur heksagonal wurtzite. Puncak khas SiO_2 tidak terdeteksi secara jelas pada XRD karena sifatnya yang amorf dan jumlahnya yang relatif kecil. Namun demikian, analisis FTIR mengonfirmasi keberadaan ikatan Zn–O, Si–O–Si, dan Si-OH yang menandakan keberhasilan integrasi ZnO dan SiO_2 dalam komposit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO@SiO_2 berhasil disintesis melalui metode yang ramah lingkungan dengan struktur yang terdiri atas ZnO kristalin dan SiO_2 amorf.

Kata Kunci: ZnO, SiO_2, Sintesis Hijau, Bawang Putih (*Allium sativum L.*), Metode Sol-Gel

Abstract

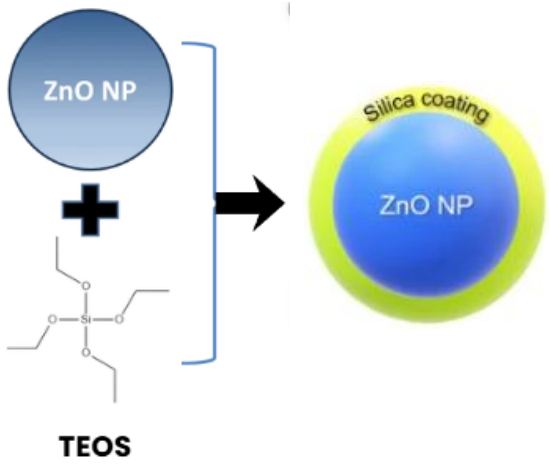
ZnO nanoparticles are widely developed semiconductor materials due to their excellent chemical stability. However, pristine ZnO nanoparticles still exhibit several limitations, including a tendency to agglomerate and relatively low stability. Surface modification with SiO_2 has been reported to enhance both the stability and specific surface area of the material. This study aimed to synthesize and characterize ZnO@SiO_2 nanoparticles based on ZnO synthesized via a green synthesis approach using garlic (Allium sativum L.) extract. ZnO nanoparticles were first synthesized using garlic extract as a biogenic reducing and stabilizing agent, followed by SiO_2 coating through the sol–gel method. The synthesized materials were characterized using X-ray diffraction (XRD) and Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR). XRD analysis confirmed the formation of ZnO with a hexagonal wurtzite crystal structure. Characteristic SiO_2 peaks were not clearly detected in the XRD pattern due to the amorphous nature and relatively low content of SiO_2. Nevertheless, FTIR analysis verified the presence of Zn–O, Si–O–Si, and Si-OH bonds, indicating the successful integration of ZnO and SiO_2 within the composite structure. The results demonstrate that ZnO@SiO_2 nanoparticles were successfully synthesized through an environmentally friendly method, yielding a composite material consisting of crystalline ZnO and amorphous SiO_2.

***Keywords**: ZnO, SiO_2, Green Synthesis, Garlic (Allium sativum L.) Extract., Sol-Gel Method*

p-ISSN : 2302-4216
e-ISSN : 2830-1765
Inovasi Fisika Indonesia
https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/inovasi-fisika-indonesia
Published by:
Program Studi Fisika
Jurusan Fisika FMIPA
Universitas Negeri Surabaya
Kampus Unesa Ketintang Jl. Ketintang Gd. C3 Lt. 1
Surabaya - Indonesia
jifi@unesa.ac.id

I. PENDAHULUAN

Perkembangan nanoteknologi mendorong pengembangan material yang berukuran nano dengan luas permukaan besar, reaktivitas tinggi, dan sifat optik serta kimia yang baik. Salah satu material nanopartikel yang banyak dikembangkan adalah seng oksida (ZnO) karena memiliki sifat semikonduktor, stabilitas kimia yang baik, dan potensi aplikasi di bidang lingkungan, elektronik, dan biomedis (Jafari-Sales et al., 2025). Nanopartikel ZnO umumnya disintesis menggunakan metode kimia konvensional seperti sol-gel, presipitasi, dan hidrotermal. Namun, metode-metode ini masih menggunakan bahan kimia berbahaya dan membutuhkan energi tinggi, sehingga kurang ramah lingkungan (Vishwanath & Negi, 2021). Oleh karena itu, dikembangkan metode sintesis hijau menggunakan ekstrak tumbuhan sebagai agen pereduksi dan penstabil alami. Salah satu tumbuhan yang berpotensi digunakan adalah bawang putih (*Allium sativum L.*) karena mengandung senyawa bioaktif seperti alisin, flavonoid, dan senyawa organosulfur yang dapat mereduksi ion Zn^{2+} menjadi ZnO sekaligus mencegah aglomerasi nanopartikel (Abdelmoteleb et al., 2024).



Gambar 1. Proses Pelapisan ZnO dengan Silika

Meskipun memiliki banyak keunggulan, nanopartikel ZnO memiliki kecenderungan mengalami aglomerasi yang dapat memengaruhi karakteristik material. Salah satu pendekatan yang telah dilaporkan untuk memodifikasi permukaan ZnO adalah pelapisan menggunakan silikon dioksida (SiO_2). Lapisan SiO_2 dapat berperan sebagai lapisan pelindung pada permukaan ZnO dan secara teoritis berpotensi meningkatkan stabilitas serta mengurangi interaksi langsung antarpenggumpalan partikel (Liu et al., 2025). Dalam penelitian ini, modifikasi ZnO dilakukan melalui pelapisan SiO_2 menggunakan metode sol-gel untuk memperoleh material ZnO@SiO_2 (Liu et al., 2025).

Beberapa penelitian telah melaporkan sintesis ZnO berdasarkan sintesis hijau serta pengembangan komposit ZnO–SiO_2. Namun, penelitian tentang sintesis dan karakterisasi nanokomposit ZnO@SiO yang berbasis ZnO menggunakan ekstrak bawang putih (*Allium sativum L.*) masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi nanokomposit ZnO@SiO_2 berdasarkan sintesis hijau untuk menghasilkan material yang stabil, ramah lingkungan, dan memiliki karakteristik yang baik.

II. METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap dengan dimulai tahap *green synthesis* ZnO dari ekstrak bawang putih dan tahap yang dilapisi dengan SiO_2. Proses pembuatan ekstrak bawang putih mengacu pada (Lestari et al., 2024). Sintesis ZnO@SiO_2 (ZS) ini memodifikasi pada (Banerjee & Kar, 2023) diawali dengan 0,1 gram ZnO ke dalam akuades menggunakan sonikasi selama 30 menit. Selanjutnya ditambahkan etanol dan

amonia hingga pH larutan mencapai 9,5–11, kemudian ditambahkan 0,2 mL TEOS. Campuran diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 8 jam pada suhu ruang. Setelah itu, larutan dicuci hingga pH netral, dipisahkan melalui sentrifugasi, dan dikeringkan pada suhu 60°C selama 24 jam hingga diperoleh material ZS.

B. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada material ZnO dan ZS yang telah berhasil disintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan beberapa pengujian, yaitu uji XRD dan uji FTIR. Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dan fase material yang terbentuk pada sampel. Data hasil pengujian XRD selanjutnya dianalisis dan diolah menggunakan *software* Origin. Selain itu, karakterisasi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan jenis ikatan kimia pada material ZnO dan ZS. Data hasil pengujian FTIR juga dianalisis dan diolah menggunakan *software* Origin.

C. Teknik Pengolahan Data

Teknik pengolahan data hasil karakterisasi struktur kristal material dilakukan menggunakan metode *X-Ray Diffraction* (XRD) dengan alat PANalytical X'Pert Pro yang menggunakan sumber radiasi Cu-Kα dengan panjang gelombang λ = 1,5406 Å. Difraktogram yang dihasilkan kemudian dianalisis berdasarkan posisi puncak difraksi (2θ), intensitas, dan nilai *Full Width at Half Maximum* (FWHM) untuk mengetahui struktur kristal, fase yang terbentuk, serta ukuran kristalit material. Selain itu, ukuran kristalit dihitung menggunakan persamaan Scherrer berdasarkan pelebaran puncak difraksi yang teramati yang ditunjukkan pada persamaan 1, sebagai berikut:

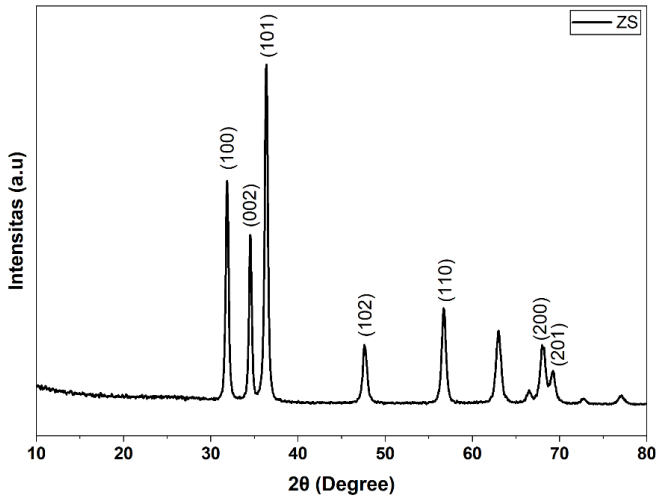
$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

di mana, D = ukuran kristal (nm)
K = konstanta Scherrer (0,94)
λ = panjang gelombang radiasi sinar-X Cu-Kα (1,5406 Å)
β = nilai FWHM (*Full Width at Half Maximum*)
θ = sudut difraksi (°)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Data *X-Ray Diffraction* (XRD)

Pembentukan fase kristalin dari ZnO@SiO_2 (ZS) dianalisis menggunakan analisis XRD **(Gambar 2.)**. Pada sampel ZnO, puncak-puncak difraksi memperlihatkan puncak-puncak karakteristik pada 2θ sekitar 31,83°; 34,53°; 36,25°; 47,54°; 56,65°; 66,44°; dan 69,22° yang masing-masing berkaitan dengan bidang kristal (100), (002), (101), (102), (110), (200), dan (201) dari struktur heksagonal wurtzite ZnO (Madhu et al., 2022).



Gambar 2. Pola Difraksi Sinar-X ZS

Pola XRD sampel ZS masih didominasi oleh puncak-puncak ZnO, sedangkan puncak SiO_2 tidak terlihat secara jelas. Hal ini menunjukkan bahwa SiO_2 cenderung berada dalam fase amorf atau memiliki kandungan yang relatif rendah sehingga kontribusi difraksinya tertutupi oleh intensitas puncak ZnO yang lebih tinggi (Samuel et al., 2025).

Tabel 1. Hasil Analisis Parameter Kristal Berdasarkan Puncak XRD

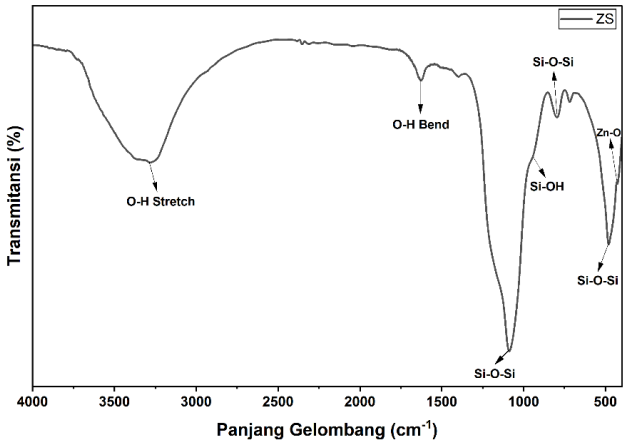
Material	2θ (Degree)	FWHM	Ukuran Kristal (nm)	Rata-Rata (nm)
ZS	31,83	0,3149	26,96	28,07
	34,53	0,2755	30,60	
	36,25	0,3149	26,64	

Berdasarkan data pada **Tabel 1**, sampel ZS Ukuran kristalit rata-rata ZnO pada material ZS yang diperoleh berdasarkan persamaan Scherrer adalah 28,07 nm. Perubahan ukuran kristalit setelah proses pelapisan SiO_2 dapat mengindikasikan adanya pengaruh modifikasi permukaan terhadap karakteristik kristalin ZnO. Namun, pengaruh pelapisan SiO_2 terhadap pertumbuhan kristal perlu dikaji lebih lanjut melalui perbandingan langsung dengan ZnO sebelum pelapisan (Samuel et al., 2025). Hasil ini mengindikasikan bahwa penambahan SiO_2 berperan dalam menjaga kestabilan dan keteraturan struktur kristal tanpa mengganggu fase ZnO yang telah terbentuk (Hutsul et al., 2023).

Penggunaan ekstrak bawang putih (*Allium sativum L.*) dalam sintesis ZnO berperan sebagai sumber senyawa bioaktif yang dapat membantu proses pembentukan dan stabilisasi nanopartikel. Senyawa bioaktif yang terdapat dalam ekstrak, terutama senyawa organosulfur dan senyawa fenolik, dapat berinteraksi dengan spesies Zn^{2+} selama proses sintesis dan berperan dalam mengontrol proses pembentukan partikel (Modi & Fulekar, 2020). Komponen organik tersebut juga dapat berperan sebagai agen penstabil pada permukaan partikel sehingga membantu mempertahankan pembentukan nanopartikel selama proses sintesis. Terbentuknya fase kristalin ZnO kemudian dikonfirmasi melalui pola difraksi XRD yang menunjukkan karakteristik struktur heksagonal wurtzite ZnO (E et al., 2024).

B. Analisis Data *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Spektrum FTIR sampel ZS ditunjukkan pada **Gambar 3.** Terlihat pita serapan lebar pada bilangan gelombang 3381 cm^{-1} yang dikaitkan dengan vibrasi regangan gugus hidroksil (O–H stretching) yang berasal dari molekul air teradsorpsi maupun gugus silanol (Si–OH) pada permukaan material. Selain itu, pita serapan pada 1626 cm^{-1} berkaitan dengan vibrasi tekukan molekul air (H–O–H bending) yang masih terikat secara fisik pada permukaan komposit (Aalami et al., 2024).



Gambar 3. Spektrum Hasil Karakterisasi FTIR ZnO@SiO_2 (ZS)

Pita serapan yang kuat pada 1085 cm^{-1} merupakan karakteristik vibrasi regangan asimetris ikatan Si–O–Si, yang menunjukkan terbentuknya jaringan silika (SiO_2) pada material hasil sintesis. Keberadaan gugus silanol ditunjukkan oleh pita pada 949 cm^{-1} yang berkaitan dengan vibrasi Si–OH, menandakan bahwa

sebagian gugus hidroksil masih terdapat pada permukaan silika. Selanjutnya, pita pada 795 cm^{-1} diatribusikan pada vibrasi simetris Si–O–Si, yang merupakan salah satu ciri khas struktur amorf SiO_2 (Helmiyati & Suci, 2019).

Pada daerah bilangan gelombang rendah, pita serapan pada 477 cm^{-1} dikaitkan dengan vibrasi tekukan (*bending vibration*) ikatan Si–O–Si, sedangkan pita pada 426 cm^{-1} menunjukkan vibrasi regangan ikatan Zn–O yang mengonfirmasi keberadaan fase ZnO dalam komposit (Aalami et al., 2024). Kehadiran pita-pita karakteristik Si–O–Si, Si–OH, dan Zn–O secara bersamaan menunjukkan bahwa ZnO dan SiO_2 telah berhasil terintegrasi dalam material komposit ZS yang disintesis. Hasil ini juga mendukung data XRD yang menunjukkan keberadaan ZnO kristalin dan SiO_2 yang bersifat amorf.

Pembentukan komponen SiO_2 pada material ZS berlangsung melalui proses sol-gel dengan *tetraethyl orthosilicate* (TEOS) sebagai prekursor silika. Pada tahap awal, TEOS mengalami hidrolisis dengan adanya air sehingga gugus etoksi ($Si–OC_2H_5$) secara bertahap digantikan oleh gugus hidroksil dan membentuk spesies silanol (Si–OH) (Kaur et al., 2021). Proses hidrolisis TEOS dalam medium air-alkohol dapat berlangsung dengan bantuan katalis basa, seperti amonia, yang digunakan untuk mengontrol berlangsungnya reaksi sol-gel (Yeasmin et al., 2022). Selanjutnya, gugus silanol yang terbentuk mengalami reaksi kondensasi, baik antargugus Si–OH maupun antara gugus Si–OH dengan gugus alkoksi yang masih terdapat pada prekursor. Reaksi tersebut menghasilkan ikatan siloksan (Si–O–Si) disertai pelepasan molekul air atau alkohol. Kondensasi yang berlangsung secara berkelanjutan menyebabkan terbentuknya jaringan siloksan yang semakin berkembang dan menghasilkan komponen silika pada material (Kaur et al., 2021).

Dalam sistem ZS, TEOS ditambahkan setelah partikel ZnO didispersikan dalam medium reaksi yang mengandung air dan etanol. Kondisi basa yang diberikan melalui penambahan amonia mendukung berlangsungnya hidrolisis dan kondensasi TEOS, sehingga spesies silanol dan jaringan siloksan dapat terbentuk di sekitar partikel ZnO. Penggunaan TEOS dan amonia dalam pembentukan struktur ZnO@SiO_2 melalui metode sol-gel juga telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya, yang menunjukkan terbentuknya lapisan SiO_2 pada permukaan ZnO (Chen et al., 2022). Dengan demikian, proses tersebut secara konseptual dapat menghasilkan modifikasi permukaan ZnO oleh komponen silika melalui pertumbuhan jaringan Si–O–Si.

Mekanisme pembentukan silika tersebut sejalan dengan hasil FTIR sampel ZS. Pelapisan SiO_2 pada ZnO menghasilkan material ZS, sebagaimana didukung oleh keberadaan pita karakteristik Si–O–Si dan Si–OH pada spektrum FTIR. Namun, pengaruh pelapisan SiO_2 terhadap morfologi, tingkat aglomerasi, dan stabilitas partikel tidak dapat dikonfirmasi secara langsung dalam penelitian ini karena belum dilakukan karakterisasi morfologi seperti SEM atau TEM maupun pengujian stabilitas.

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Nanopartikel ZS berhasil disintesis melalui metode sintesis hijau menggunakan ekstrak bawang putih (*Allium sativum* L.) dan pelapisan SiO_2 dengan metode sol-gel. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan terbentuknya fase ZnO berstruktur heksagonal wurtzite. Puncak khas SiO_2 tidak terdeteksi secara jelas pada pola XRD karena sifat SiO_2 yang amorf dan jumlahnya relatif rendah, sementara ukuran kristalit rata-rata ZnO@SiO_2 yang diperoleh adalah 28,07 nm. Karakterisasi analisis FTIR mengonfirmasi keberadaan ikatan Zn–O, Si–O–Si, dan Si–OH. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ZnO dan SiO_2 telah berhasil terintegrasi dalam material komposit ZnO@SiO_2 yang terdiri atas ZnO kristalin dan SiO_2 amorf. Pengaruh pelapisan SiO_2 terhadap morfologi, aglomerasi, dan stabilitas partikel belum dapat dikonfirmasi secara langsung dalam penelitian ini dan memerlukan karakterisasi lebih lanjut.

B. Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan karakterisasi tambahan menggunakan SEM-EDS, BET, atau TEM untuk mengetahui morfologi, distribusi unsur, dan luas permukaan material secara lebih

mendalam. Selain itu, penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengujian aktivitas fotokatalitik, adsorpsi, dan antibakteri dari material ZnO@SiO_2.

DAFTAR PUSTAKA

Aalami, Z., Hoseinzadeh, M., & Hosseini, P. (2024). Heliyon Synthesis , characterization , and photocatalytic activities of green sol-gel ZnO nanoparticles using Abelmoschus esculentus and Salvia officinalis : A comparative study versus co-precipitation-synthesized nanoparticles. *Heliyon*, *10*(2), e24212. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24212

Abdelmoteleb, A., Valdez-salas, B., Beltran-partida, E., Mendez-trujillo, V., Gonz, D., Tzintzun-camacho, O., & Roumia, A. F. (2024). *Biosynthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Garlic Peel Extract and Their Antibacterial Potential*. 1655–1669.

Banerjee, D., & Kar, A. K. (2023). Journal of Photochemistry & Photobiology , A : Chemistry Structural strategy to enhance the quantum and photocatalytic efficiency of ZnO quantum dots by incorporation of interface states. *Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry*, *437*(December 2022), 114500. https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2022.114500

Chen, J., Yu, Y., Feng, A., Mi, L., Xiu, H., & Yu, Y. (2022). Synthesis of ZnO@SiO2 core-shell structure-based thermal control coatings with enhanced UV irradiation stability. *Ceramics International*, *48*(19, Part A), 28006–28012. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.06.105

E, B., Sivalingam, A. M., Alex, A., & Neha, B. (2024). In Vitro Antioxidant Activity of Green-Synthesized Zinc Oxide (ZnO) Nanoparticles Utilizing Extracts From Allium sativum. *Cureus*, *16*(2), 1–9. https://doi.org/10.7759/cureus.55184

Helmiyati, H., & Suci, R. P. (2019). *Nanocomposite of cellulose-ZnO / SiO2 as catalyst biodiesel methyl ester from virgin coconut oil Nanocomposite of Cellulose-ZnO / SiO 2 as Catalyst Biodiesel Methyl Ester from Virgin Coconut Oil*. *020063*(November).

Hutsul, K., Ivanenko, I., Patrylak, L., Pertko, O., & Kamenskyh, D. (2023). ZnO / Zeolite composite photocatalyst for dyes degradation. *Applied Nanoscience*, *0123456789*. https://doi.org/10.1007/s13204-023-02950-y

Jafari-Sales, A., Ghahremani, Z., & Golestani, A. (2025). A review of the antibacterial properties of zinc oxide nanoparticles : synthesis , mechanism of action , and medical applications. *International Journal of Biophotonics & Biomedical Engineering*, *5*(1). https://doi.org/10.71498/ijbbe.2025.1202308

Kaur, H., Chaudhary, S., Kaur, H., Chaudhary, M., & Jena, K. C. (2021). Hydrolysis and Condensation of Tetraethyl Orthosilicate at the Air–Aqueous Interface: Implications for Silica Nanoparticle Formation. *ACS Applied Nano Materials*, *5*(1), 411–422. https://doi.org/10.1021/acsanm.1c03250

Lestari, P. P., Fitriana, F., Faaizatunnisa, N., & Munasir. (2024). Green synthesis of ZnO nanoparticles using garlic (allium sativum l .) Bulb extract as a photocatalyst for congo red dye Green synthesis of ZnO nanoparticles using garlic (allium sativum l .) Bulb extract as a photocatalyst for congo red dye. *Journal of Physics: Conference Series*, *2900*, 012018. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2900/1/012018

Liu, Y., Zhao, M., Zhang, M., Yang, B., Qi, Y., & Fu, Q. (2025). Materials Today Bio Mesoporous silica nanoparticle-based nanomedicine : Preparation , functional modification , and theranostic applications. *Materials Today Bio*, *34*(July), 102223. https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2025.102223

Madhu, J., Santhanam, A., Natarajan, M., & Velauthapillai, D. (2022). RSC Advances PAPER CO 2 adsorption performance of template free zeolite A and X synthesized from rice husk ash as silicon source †. *RSC Advances*, *12*, 23221–23239. https://doi.org/10.1039/D2RA04052B

Modi, S., & Fulekar, M. H. (2020). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using garlic skin extract and its characterization. *Journal of Nanostructures*, *10*(1), 20–27. https://doi.org/10.22052/JNS.2020.01.003

Samuel, A., Abdullah, A., Xavier, G., Stephen, S., Zeidan, M. M., Choi, D., & Abedrabbo, S. (2025). Sol–gel synthesis and characterization of ZnO–SiO2nanocomposites: a comparative study with pure ZnO and SiO2. *Nanoscale Advances*, *7*(22), 7145–7155. https://doi.org/10.1039/d5na00612k

Vishwanath, R., & Negi, B. (2021). Current Research in Green and Sustainable Chemistry Conventional and green methods of synthesis of silver nanoparticles and their antimicrobial properties. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, *4*(August), 100205. https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100205

Yeasmin, M. N., Sultana, M., Siddika, A., Tabassum, S., Ullah, S. M., & Bashar, M. S. (2022). Structural, Optical, and Morphological Characterization of Silica Nanoparticles Prepared by Sol-Gel Process. *Journal of the Turkish Chemical Society, Section A: Chemistry*, *9*(4), 1323–1334. https://doi.org/10.18596/jotcsa.1071086