

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL CuO/Ag
BERBASIS SOL-GEL DENGAN ADIKTIF MEA SEBAGAI
FOTOKATALIS DEGRADASI RHODAMIN B**

SKRIPSI

Diajukan sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains (S.Si)



Oleh :

AYSHA FAMIL HIDAYAH

NIM.22036008/2022

PROGRAM STUDI KIMIA

DEPARTEMEN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2026

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

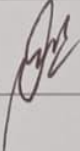
Nama : Aysha Famil Hidayah
TM/NIM : 2022/22036008
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL CuO/Ag BERBASIS
SOL-GEL DENGAN ADIKTIF MEA SEBAGAI FOTOKATALIS
DEGRADASI RHODAMIN B**

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

Padang, 24 April 2026

Tim Penguji

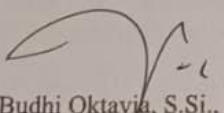
No	Jabatan	Nama	Tanda Tangan
1	Ketua	Hary Sanjaya, S.Si., M.Si	1. 
2	Anggota	Prof. Dr. Desy Kurniawati, S.Pd., M.Si	2. 
3	Anggota	Dr.rer.nat.Deski Beri, S.Si., M.Si	3. 

PERSETUJUAN SKRIPSI
SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL CuO/Ag BERBASIS
SOL-GEL DENGAN ADIKTIF MEA SEBAGAI FOTOKATALIS
DEGRADASI RHODAMIN B

Nama : Aysa Famil Hidayah
NIM : 22036008
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 24 April 2026

Mengetahui :
Kepala Departemen Kimia


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

Disetujui Oleh :
Dosen Pembimbing


Hary Sanjaya S.Si., M.Si
NIP. 19830428 200912 1 007

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini

Nama : Aysa Famil Hidayah

NIM : 22036008

Tempat/Tanggal Lahir : Padang Sibusuk / 04 April 2004

Program Studi : Kimia

Departemen : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Judul Skripsi : SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL

CuO/Ag BERBASIS SOL-GEL DENGAN ADIKTIF

MEA SEBAGAI FOTOKATALIS DEGRADASI

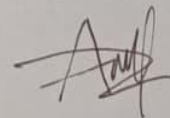
RHODAMIN B

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, 24 April 2026
Yang Menyatakan



Aysa Famil Hidayah
NIM. 22036008

SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL CuO/Ag BERBASIS SOL-GEL DENGAN ADIKTIF MEA SEBAGAI FOTOKATALIS DEGRADASI RHODAMIN B

Aysha Famil Hidayah

ABSTRAK

Pencemaran lingkungan akibat limbah zat warna sintetis, khususnya Rhodamin B, menjadi permasalahan serius karena bersifat toksik, dan sulit terdegradasi secara alami. Salah satu metode yang efektif untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah proses fotokatalisis menggunakan material semikonduktor. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis nanopartikel CuO murni dan CuO terdoping Ag menggunakan metode sol-gel dengan penambahan monoethanolamine (MEA). Sintesis dilakukan dengan variasi konsentrasi doping Ag sebesar 1mmol, 0.8 mmol 0.6 mmol 0.4 mmol dan 0.2mmol, serta variasi penambahan MEA sebesar 1ml, 1.5 ml, 2 ml, 2.5 ml, dan 3 ml. Hasil karakterisasi menggunakan UV-DRS menunjukkan bahwa doping Ag berhasil memperkecil nilai energi celah pita band gap CuO, sedangkan penambahan MEA cenderung meningkatkan nilai band gap. Analisis XRD mengonfirmasi pembentukan fase monoklinik CuO dengan ukuran kristal yang mengecil seiring penambahan MEA, ukuran kristal CuO/Ag dari 27,90nm berkurang menjadi 23,71 nm, yang mengindikasikan peran MEA sebagai capping agent dalam mengontrol pertumbuhan partikel. SEM menunjukkan morfologi permukaan yang lebih seragam, sementara analisis EDX membuktikan keberadaan unsur Cu, O, dan Ag tanpa adanya pengotor. Uji aktivitas fotokatalis menunjukkan bahwa CuO-Ag mampu mendegradasi Rhodamin B dengan efisiensi degradasi optimum 60,55% di bawah sinar tampak. Sementara itu, CuO-Ag + MEA mencapai efisiensi degradasi optimum sebesar 87,00% di bawah sinar tampak.

Kata Kunci: semikonduktor, CuO, Ag, fotokatalis, MEA, Rhodamin B

**SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF CuO/Ag
NANOPARTICLES BASED ON THE SOL–GEL METHOD WITH MEA
ADDITIVE AS A PHOTOCATALYST FOR RHODAMINE B
DEGRADATION**

Aysha Famil Hidayah

ABSTRACT

Environmental pollution caused by synthetic dye waste, particularly Rhodamine B, has become a serious problem due to its toxic nature and resistance to natural degradation. One effective method to address this issue is the photocatalytic process using semiconductor materials. This study aims to synthesize pure CuO nanoparticles and Ag-doped CuO nanoparticles using the sol–gel method with the addition of monoethanolamine (MEA). The synthesis was carried out with variations in Ag doping concentrations of 1 mmol, 0.8 mmol, 0.6 mmol, 0.4 mmol, and 0.2 mmol, as well as variations in MEA addition of 1 mL, 1.5 mL, 2 mL, 2.5 mL, and 3 mL. The characterization results using UV-DRS indicate that Ag doping successfully reduces the band gap energy of CuO, while the addition of MEA tends to increase the band gap value. XRD analysis confirms the formation of a monoclinic CuO phase with decreasing crystallite size as MEA is added; the crystallite size of CuO/Ag decreases from 27.90 nm to 23.71 nm, indicating the role of MEA as a capping agent in controlling particle growth. SEM analysis shows a more uniform surface morphology, while EDX analysis confirms the presence of Cu, O, and Ag elements without impurities. Photocatalytic activity tests show that CuO–Ag is capable of degrading Rhodamine B with an optimum degradation efficiency of 60.55% under visible light irradiation. Meanwhile, CuO–Ag with MEA achieves a higher optimum degradation efficiency of 87.00% under visible light.

Keywords: semiconductor, CuO, Ag, photocatalyst, MEA, Rhodamine B

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, nikmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi penelitian yang berjudul **“Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel CuO/Ag Berbasis Sol-Gel dengan Adiktif MEA Sebagai Fotokatalis Degradasi Rhodamin B”** dengan baik dan lancar. Skripsi diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan mata kuliah Tugas Akhir II pada Program Studi Kimia, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis melibatkan banyak pihak yang telah memberikan masukan yang berharga, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Hary Sanjaya, S.Si., M.Si selaku Pembimbing Akademik sekaligus Penasehat Akademik Tugas Akhir.
2. Ibu Prof. Dr. Desy Kurniawati, S.Pd., M.Si dan Bapak Dr.rer.nat.Deski Beri, S.Si., M.Si selaku Dosen Penguji.
3. Bapak Budhi Oktavia, S.Si., M.Si., Ph.D, sebagai Kepala Departemen Kimia Universitas Negeri Padang dan Koordinator Prodi S1 Kimia Universitas Negeri Padang
4. Ayah, cinta pertama dan panutan penulis. Meski tidak berkesempatan menempuh pendidikan hingga perguruan tinggi, tetapi keteguhan dan kerja kerasnya adalah sekolah kehidupan yang paling nyata bagi penulis. dari tangan yang tak pernah lelah

bekerja, penulis belajar tentang tanggung jawab. Dari nasihat sederhana namun penuh akan makna, penulis belajar tentang ketekunan dan keberanian untuk bertahan. Dibalik diamnya, selalu ada doa yang tidak pernah terputus selalu ada dukungan yang tak pernah surut, dan selalu ada keyakinan dan kepercayaan penuh kepada penulis. Setiap langkah yang penulis capai hari ini tidak pernah lepas dari peluh, pengorbanan dan kasih sayang beliau yang tulus.

5. Ibu, pintu surga penulis yang kelak akan menjadi bidadari surga. Beliau adalah tempat pulang ternyaman dan mendedahkan, tempat segala lelah menemukan reda, tempat cerita paling terbaik. Kebesaran hati dan ketulusan doanya jauh melampaui batas ruang manapun. Setiap kali penulis berkata, "Doakan kakak ya, Bu," selalu ada aamiin yang terucap penuh keyakinan, menjadi penguat langkah di setiap proses yang tidak mudah. Penulis senantiasa merasa berada dalam lindungan doa-doa yang setiap sujud yang beliau panjatkan. Skripsi ini bukan sekadar hasil usaha penulis semata, melainkan buah dari doa seorang ibu yang tidak pernah berhenti percaya.

6. Adik-adik penulis, Aini, Laila dan Putri sumber tawa sekaligus sumber semangat yang tak pernah habis. Dalam kepolosan dan keluguan terselip harapan agar penulis mampu menjadi kakak yang dapat dibanggakan, bukan hanya dalam pencapaian, tetapi dalam sikap dan keteguhan. Penulis menyadari bahwa setiap langkah yang ditempuh hari ini akan menjadi jejak yang mungkin akan mereka ikuti kelak. Semoga penulis dapat terus bertumbuh menjadi kakak yang selalu ada dalam setiap prosesnya dan mendukung setiap mimpi mereka.

7. Pemilik nim 22036029, Terimakasih atas segala doa, dukungan, kesabaran, dan perhatian yang selalu diberikan selama proses penyusunan skripsi ini. Kehadiranmu

menjadi sumber semangat dan kekuatan bagi penulis, terutama di saat menghadapi kesulitan dan tantangan. Terima kasih karena selalu ada untuk mendengarkan keluhan, memberikan motivasi, serta tidak pernah lelah menemani setiap langkah perjuangan ini. Segala bentuk dukungan yang diberikan menjadi sangat berarti dan menjadi bagian penting dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga segala kebaikanmu dibalas dengan hal-hal yang indah, dan semoga kita selalu diberikan kebahagiaan serta kekuatan untuk menjalani setiap proses kehidupan kedepannya.

8. Rekan-rekan yang selalu mendukung dan bekerja sama dengan baik dalam penyelesaian tugas akhir.

Dalam penyusunan skripsi ini berpedoman kepada buku panduan penulisan Skripsi Non Kependidikan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang. Untuk Kesempurnaan skripsi ini, diharapkan masukan, kritikan, dan saran yang membangun dari semua pihak. Atas masukan dan saran yang diberikan, diucapkan terima kasih.

Padang, April 2025

Aysha Famil Hidayah

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	6
C. Batasan Masalah.....	6
D. Rumusan Masalah	7
E. Tujuan Penelitian	7
F. Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Semikonduktor CuO.....	8
B. Monoethanolamine (MEA)	15
C. Metode Sol-Gel	16
D. Karakterisasi	19
E. Uji Aktivitas Fotokatalitik	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	28
A. Waktu dan Tempat Penelitian	28
B. Objek Penelitian	28
C. Variabel.....	28
D. Alat dan Bahan	29
E. Prosedur Kerja	29
1. Sintesis material CuO.....	29
2. Sintesis material CuO/Ag.....	30
3. Sintesis material CuO/Ag dengan variasi aditif MEA	30
F. Karakterisasi	31
G. Pengolahan Data.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
A. Karakterisasi.....	34
1. Pengaruh Variasi Doping Ag pada nanopartikel CuO.....	34

2. Pengaruh Variasi Penambahan Aditif pada sintesis CuO/Ag.....	36
3. Grafik Nilai Absorbansi dan Nilai Bandgap.....	38
B. Karakterisasi X-Ray Diffraction(XRD).....	39
C. Karakterisasi Scanning Electron Microscopy (SEM).....	42
D. Uji Aktivitas Fotokatalis CuO dengan Rhodamin B.....	46
BAB V PENUTUP.....	51
A. Kesimpulan	51
B. Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konduktivitas Isolator, Semikonduktor, dan Konduktor.....	8
Gambar 2. 2 Struktur Kristal CuO.....	10
Gambar 2. 3 Struktur Ortorombik AgNO ₃	13
Gambar 2. 4 Struktur MEA.....	15
Gambar 2. 5 Transisi Dasar Semikonduktor.....	19
Gambar 2. 6 Spektrum UV DRS CuO-Ce.....	21
Gambar 2. 7 Skema Sistem Untuk Difraktromer.....	22
Gambar 2. 8 Grafik XRD CuO.....	23
Gambar 2. 9 SEM nanopartikel CuO.....	24
Gambar 2. 10 Mekanisme Reaksi Fotokatalisis.....	26
Gambar 4. 1 Grafik Absorbansi dan Nilai Bandgap	38
Gambar 4. 2 Pola XRD pada (a) CuO dan (b) CuO-Ag dan CuO-Ag + MEA.....	39
Gambar 4. 3 SEM pada CuO-Ag dengan Penambahan MEA	42
Gambar 4. 4 Histogram Distribusi Ukuran Partikel pada CuO/Ag + MEA	44
Gambar 4. 5 Hasil EDX CuO/Ag penambahan MEA.....	45
Gambar 4. 6 Persen Degradasi CuO Murni, CuO/Ag dan CuO-Ag + MEA.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Energi Bandgap terhadap Pengaruh Konsentrasi doping Ag.....	34
Tabel 2. Energi Bandgap terhadap variasi penambahan adiktif MEA.....	34
Tabel 3. Ukuran Kristal CuO-Ag dan CuO-Ag dengan penambahan MEA.....	41

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk yang pesat mendorong peningkatan aktivitas industri. Sekitar 10–15% zat warna yang digunakan pada industri tekstil terbuang bersama limbah cair, sehingga sektor ini berpotensi menjadi salah satu penyumbang utama pencemaran air apabila limbah tersebut tidak diolah terlebih dahulu (Christiany, Suprihatin, and Indrasti. 2019). Indonesia menjadi negara dengan kontribusi terbesar terhadap limbah cair yang berasal dari industri tekstil, yakni mencapai 29% dari total beban limbah organik di perairan yang jumlahnya sekitar 883 ton per hari (Lolo and Pambudi. 2020). Selain industri tekstil, sektor industri kertas dan pulp juga menghasilkan limbah cair berwarna yang berasal dari proses pencetakan berbasis pewarna. Limbah serupa juga dihasilkan dari aktivitas rumah tangga serta kegiatan pertanian yang memanfaatkan pewarna sintetis dalam proses pengolahan tanaman (Purnama, et al. 2024).

Limbah cair yang berwarna mengandung senyawa aromatik dan amina yang bersifat beracun serta sulit terurai melalui proses biodegradasi (Putri and Hasna Oktaviana 2024). Zat pewarna juga memiliki sifat mutagenik dan karsinogenik, yang dapat menimbulkan gangguan pada ginjal, hati, sistem reproduksi, serta sistem saraf pusat (Yadav et al. 2021). Keberadaan limbah zat warna yang berasal dari industri tekstil dapat menimbulkan dampak serius bagi manusia, makhluk hidup lainnya, serta ekosistem secara keseluruhan.

Rhodamine B (RhB) merupakan zat warna sintetis berbentuk serbuk kristal yang memiliki warna hijau atau ungu kemerahan, tidak berbau, dan menghasilkan larutan

berwarna merah terang dengan sifat berfluoresensi. Awalnya, *Rhodamine B* digunakan dalam bidang histologi, namun penggunaannya kini telah meluas, antara lain sebagai pewarna pada kertas dan tekstil (Sunardi and Silviana 2022). *Rhodamin B* merupakan limbah zat warna yang dihasilkan oleh industri tekstil adalah senyawa organik non-biodegradable yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (Al-Buriah et al. 2022). *Rhodamin B* sangat berisiko bila terpapar langsung melalui kulit, mata, atau tertelan. Zat ini dapat menimbulkan efek jangka pendek maupun jangka panjang. Pada paparan akut, *Rhodamin B* dapat menyebabkan kerusakan serius pada mata, iritasi pada kulit, serta gangguan sistemik apabila masuk ke aliran darah melalui luka atau goresan. Dalam paparan kronis, senyawa ini menunjukkan sifat karsinogenik serta genotoksik (Balasurya et al. 2022).

Pengolahan limbah yang mengandung zat warna *Rhodamine B* telah banyak dilakukan dengan berbagai teknik, seperti flotasi, sedimentasi, dan adsorpsi menggunakan karbon aktif. Namun, metode-metode tersebut dinilai kurang efektif karena zat warna masih tertahan di dalam adsorben dalam bentuk senyawa kompleks, sehingga berpotensi mencemari kembali lingkungan apabila dibuang secara langsung. Sebagai solusi alternatif, fotodegradasi menjadi metode yang lebih efektif dengan memanfaatkan bahan fotokatalis dan paparan sinar ultraviolet. Melalui proses fotodegradasi, molekul zat warna dapat diuraikan menjadi senyawa-senyawa sederhana yang bersifat relatif lebih aman bagi lingkungan (Fauzi, Simpen, and Sudiarta. 2019). Salah satu solusi yang dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah melalui metode fotokatalisis, yaitu proses degradasi yang melibatkan penggunaan katalis dan bantuan cahaya guna mengoptimalkan pemecahan senyawa *Rhodamin B* (RhB) (Hieu et al. 2021).

Semikonduktor merupakan material yang dapat menghantarkan arus listrik pada rentang tertentu. Material ini memiliki peran penting dalam meningkatkan kinerja fotokatalis dan perangkat sel surya (Miao Wang et al. 2021). Semikonduktor merupakan sebuah bahan yang memiliki konduktivitas listrik berada antara konduktor dan isolator. Pada suhu yang tinggi bahan semikonduktor akan bersifat seperti bahan konduktor, namun pada suhu yang rendah bahan ini akan bersifat seperti bahan isolator. Bahan semikonduktor banyak dimanfaatkan sebagai material pembuatan komponen elektronik. Disisi lain perkembangan teknologi elektronik dan komputasi mendorong perkembangan material semikonduktor dengan performa yang lebih optimal dan sesuai kebutuhan (Abimanyu et al. 2025). Beberapa jenis semikonduktor yang umum digunakan dalam berbagai aplikasi antara lain titanium dioksida (TiO_2), seng oksida (ZnO), kobalt oksida (CoO), dan tembaga oksida (CuO) (Deswardani .2013)

CuO atau tembaga(II) oksida tergolong semikonduktor tipe-p dengan band gap 1,2 eV. (Singh et al., 2021). sehingga memiliki Sifat Yang menunjukkan konduktivitas listrik baik disertai stabilitas kimia tinggi. Material ini unggul karena memiliki aktivitas fotokatalitik yang tinggi, bersifat tidak beracun, Mudah dijumpai di alam dan mampu memanfaatkan rentang spektrum cahaya yang lebih besar (Singh et al., 2021). Beberapa logam semikonduktor yaitu Si, Ge, Cd dan Cu (Martín-Palma and Martínez-Duart 2017) Berbagai metode dapat digunakan untuk mensintesis oksida logam, di antaranya adalah paduan mekanik, kopresipitasi, deposisi uap kimia, metode sol-gel, iradiasi gelombang mikro, serta impregnasi basah (Basit et al., 2023). Dalam penelitian ini, dipilih teknik sol-gel sebagai metode sintesis. Melalui metode sol-gel, monomer diubah menjadi larutan koloid

(sol) yang kemudian berperan sebagai penyusun utama dalam pembentukan jaringan tiga dimensi (gel), yang terdiri atas polimer jaringan atau partikel-partikel diskrit (Ansari et al., 2018)

Doping adalah memasukkan atom dopan ke dalam nanokristal bahkan dengan perbedaan kecil dalam komposisinya dapat secara drastis mengubah sifat bahan inang sehingga menghasilkan kandidat baru dengan sifat unggul. Proses sintesis nanopartikel tersebut dilakukan dengan menggunakan metode sol-gel (Sery et al. 2022). Proses sol-gel meliputi tahapan hidrolisis dan kondensasi prekursor dalam larutan yang menggunakan pelarut organik maupun air, yang selanjutnya membentuk gel dan dapat dikeringkan menjadi serbuk atau lapisan tipis atau film. Penerapan metode sol-gel mampu menghasilkan komposit dengan homogenitas tinggi dan kemurnian yang baik. Keunggulan lain metode ini dibandingkan metode konvensional adalah suhu proses di dalamnya yang lebih rendah. (Bokov et al. 2021).

Menurut Kamble et al. (2019), hasil sintesis CuO menunjukkan bahwa material ini memiliki celah pita (band gap) sebesar 1,2 eV. Penurunan nilai band gap ini berkaitan dengan meningkatnya jarak antar atom rata-rata, yang disebabkan oleh terbentuknya kekosongan oksigen dalam struktur. Kondisi ini mampu meningkatkan aktivitas fotokatalitik material tersebut. Efisiensi katalitik dari semikonduktor sangat dipengaruhi oleh ukuran partikelnya, di mana partikel yang lebih kecil memungkinkan transfer muatan yang lebih cepat ke permukaan aktif, sehingga kinerjanya sebagai fotokatalis menjadi lebih baik (Zainul et al., 2020).

Penelitian yang dilakukan oleh Sagar Vikal et al. Hasil penelitian menunjukkan bahwa doping perak (Ag) pada nanostruktur tembaga oksida (CuO) berpengaruh signifikan terhadap sifat optiknya. Berdasarkan analisis menggunakan spektroskopi UV-Vis dengan metode plot Tauc, nilai band gap optik CuO murni tercatat sebesar 2,85 eV. Setelah dilakukan doping perak dengan konsentrasi 6 wt%, nilai band gap mengalami penurunan hingga mencapai 2,11 eV. Penurunan ini ditandai dengan terjadinya *red shift* pada spektrum serapan, yang mengindikasikan pergeseran energi ke arah panjang gelombang lebih tinggi. Fenomena ini berkaitan dengan adanya distorsi kisi, lokalisasi pembawa muatan, serta interaksi elektron-fonon akibat masuknya ion Ag ke dalam kisi CuO. Dengan demikian, hasil tersebut membuktikan bahwa doping Ag mampu mempersempit celah pita energi CuO sehingga meningkatkan kemampuan material dalam menyerap cahaya tampak, yang berimplikasi positif bagi aplikasi fotokatalitik maupun optoelektronik. (Vikal et al. 2023)

Dalam penelitian lain, (Singh and Chinnamuthu 2021) menyatakan bahwa doping Ce ke dalam CuO dapat menurunkan nilai band gap dari 1,39 eV menjadi 1,28 eV. CuO murni menunjukkan kemampuan degradasi zat warna hingga 90,88% di bawah cahaya tampak, sedangkan CuO dengan doping Ce mengalami peningkatan efisiensi hingga 95,39%. Untuk memperoleh material dengan kinerja optimal, penambahan aditif menjadi hal penting karena dapat memengaruhi karakteristik material. Aditif adalah zat yang ditambahkan ke dalam larutan untuk menghasilkan material yang lebih homogen (Ningsih 2016). Dalam sintesis ini, digunakan Monoethanolamine (MEA) sebagai aditif karena berfungsi sebagai

penstabil (Suchanek et al., 2018) serta membantu membentuk material dengan tingkat kehomogenan yang tinggi (Kasuma et al. 2021).

Berdasarkan uraian diatas dan hasil penelitian terdahulu, maka pada penelitian ini nantinya dilakukan Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel CuO/Ag Berbasis Sol-Gel dengan Aditif MEA sebagai Fotokatalis Degradasi Rhodamin B. Tujuan dari penelitian ini agar mendapatkan bandgap yang kecil dengan penambahan beberapa variasi doping perak (ag). Ag yang digunakan sebagai dopan dalam sintesis CuO diharapkan dapat dikarakterisasi menggunakan teknik UV-DRS, XRD, dan SEM, serta memiliki potensi untuk diaplikasikan sebagai fotokatalis.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang di atas, masalah yang dapat dirumuskan adalah sebagai berikut:

1. Jumlah limbah dari industri tekstil di Indonesia mengalami peningkatan yang signifikan.
2. Zat pewarna yang dihasilkan oleh industri tekstil bersifat sukar terurai, sehingga berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan.
3. Pengaruh doping Ag dan penambahan aditif MEA pada sintesis nanopartikel CuO

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Pengaruh penambahan Ag sebagai doping dalam sintesis CuO.
2. CuO memiliki bandgap yang sempit, sehingga kurang maksimal dalam menyerap sinar UV saat digunakan untuk proses fotokatalis.

3. Metode sintesis CuO/Ag yang digunakan adalah Sol-Gel.
4. Karakterisasi yang digunakan yaitu UV-DRS, dan XRD, SEM.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka perumusan masalah untuk penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh penambahan 1 mmol, 0,8 mmol, 0,6 mmol, 0,4 mmol, dan 0,2 mmol Ag sebagai doping dalam sintesis CuO?
2. Bagaimana pengaruh penambahan 1mL, 1,5 mL, 2mL, 2,5mL 3 mL MEA sebagai aditif dalam sintesis CuO?
3. Bagaimana sifat fotokatalis CuO/Ag terhadap degradasi *Rhodamin B*?

E. Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui bagaimana pengaruh sintesis CuO yang didoping dengan Ag
2. Mengetahui bagaimana pengaruh sintesis CuO yang ditambah aditif MEA
3. Mengetahui bagaimana sifat fotokatalis CuO/Ag terhadap degradasi *Rhodamin B*.

F. Manfaat Penelitian

Mampu mengevaluasi pengaruh penambahan Ag sebagai dopan pada CuO serta peran zat aditif MEA dalam proses sintesis, karakterisasi, dan efektivitas fotokatalis terhadap proses degradasi zat warna Rhodamin B.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengaruh penambahan doping perak pada sintesis CuO dapat menurunkan nilai bandgap. Nilai bandgap optimum dari CuO yang di doping Ag adalah 1,25 eV dengan konsentrasi 0,2 mmol, sedangkan dengan penambahan Ag 1 mmol menghasilkan nilai bandgap sebesar 1,50 eV.
2. Pengaruh penambahan zat aditif MEA pada sintesis adalah menaikkan nilai bandgap dari CuO doping Ag dan berperan sebagai agen penstabil yang mengontrol pertumbuhan partikel selama proses sol-gel, sehingga menghasilkan morfologi yang lebih homogen, mengurangi aglomerasi, memengaruhi nilai band gap, dan meningkatkan aktivitas fotokatalitik CuO terdoping Ag terhadap degradasi Rhodamin B.
3. Uji aktivitas fotokatalis menunjukkan bahwa CuO-Ag mampu mendegradasi Rhodamin B dengan efisiensi degradasi optimum 60,55% di bawah sinar tampak. Sementara itu, CuO-Ag + MEA mencapai efisiensi degradasi optimum sebesar 87,00% di bawah sinar tampak.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan kepada peneliti selanjutnya untuk dapat mengkarakterisasi CuO dengan menggunakan BET dan TEM dan melakukan uji fotokatalis dengan menggunakan zat warna lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Abimanyu, Yanuar -, Rike Aji Santoso, Revaldy Bisma Saylendra, Sri - Astutik, and Habibah Khusna Baihaqi. 2025. "Development of Semiconductor Electrical Conductivity Prediction System through Integration of Machine Learning and Solid State Physics Theory for Electronic Material Design." *Journal of Aceh Physics Society* 14(2): 15–21. doi:10.24815/jacps.v14i2.46363.
- Al-Buriahi, Abdullah Khaled, Adel Ali Al-Gheethi, Ponnusamy Senthil Kumar, Radin Maya Saphira Radin Mohamed, Hanita Yusof, Abdullah Faisal Alshalif, and Nasradeen A Khalifa. 2022. "Elimination of Rhodamine B from Textile Wastewater Using Nanoparticle Photocatalysts: A Review for Sustainable Approaches." *Chemosphere* 287: 132162.
- Ali, Khuram, Muhammad Sajid, Suriani Abu Bakar, Ayesha Younus, Hassan Ali, and Muhammad Zahid Rashid. 2024. "Synthesis of Copper Oxide (CuO) via Coprecipitation Method: Tailoring Structural and Optical Properties of CuO Nanoparticles for Optoelectronic Device Applications." *Hybrid Advances* 6(March): 100250. doi:10.1016/j.hybadv.2024.100250.
- Anjelina, Viony, Hary Sanjaya, and Septian Budiman. 2024. "Pengaruh Penambahan Monoethanolamine (MEA) Sebagai Aditif Dalam Sintesis Dan Karakterisasi Lapisan Tipis Tembaga (II) Oksida (CuO)." 8: 9233–38.
- Ansari, Fatemeh, Azam Sobhani, and Masoud Salavati-Niasari. 2018. "Simple Sol-Gel Synthesis and Characterization of New CoTiO₃/CoFe₂O₄ Nanocomposite by Using Liquid Glucose, Maltose and Starch as Fuel, Capping and Reducing Agents." *Journal of colloid and interface science* 514: 723–32.
- Aroussi, Soumia, Mohamed Amine Dahamni, Mostefa Ghamnia, Didier Tonneau, and Carole Fauquet. 2022. "Characterization of Some Physical and Photocatalytic Properties of CuO Nanofilms Synthesized by a Gentle Chemical Technique." *Condensed Matter* 7(2): 37.
- Bachvarova-Nedelcheva, A., R. Iordanova, K. L. Kostov, and R. Gegova. 2020. "Sol-Gel Powder Synthesis in the TiO₂-TeO₂-ZnO System: Structural Characterization and Properties." *Arabian Journal of Chemistry* 13(9): 7132–46. doi:10.1016/j.arabjc.2020.07.018.
- Badillo-ávila, M A, R Castanedo-pérez, M A Villarreal-andrade, and G Torres-delgado. 2018. "Materials Science in Semiconductor Processing Cu₂O Thin Films Obtained at Low Temperature by Mono-Ethanolamine Decomposition in Open Atmosphere Cu (# 04-0836) c) 10-275 Intensity (a . U)." 85(March): 168–76. doi:10.1016/j.mssp.2018.06.009.
- Balasurya, S, Mohammad K Okla, Asmaa Mohebaldin, Abdullah A Al-Ghamdi, Mostafa A Abdel-Maksoud, Bander Almunqedhi, Hamada AbdElgawad, et al. 2022. "Self-Assembling of 3D Layered Flower Architecture of BiOI Modified MgCr₂O₄ Nanosphere for Wider Spectrum Visible-Light Photocatalytic Degradation of Rhodamine B and Malachite Green: Mechanism, Pathway,

- Reactive Sites and Toxicity Prediction.” *Journal of Environmental Management* 308: 114614.
- Bokov, Dmitry, Abduladheem Turki Jalil, Supat Chupradit, Wanich Suksatan, Mohammad Javed Ansari, Iman H. Shewael, Gabdrakhman H. Valiev, and Ehsan Kianfar. 2021. “Nanomaterial by Sol-Gel Method: Synthesis and Application.” *Advances in Materials Science and Engineering* 2021. doi:10.1155/2021/5102014.
- Bunaciu, Andrei A., Elena gabriela Udriștioiu, and Hassan Y. Aboul-Enein. 2015. “X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications.” *Critical Reviews in Analytical Chemistry* 45(4): 289–99. doi:10.1080/10408347.2014.949616.
- Candan, Ilhan, Serap Yigit Gezgin, Silan Baturay, and Hamdi Sukur Kilic. 2022. “Structural , Morphological , Optical Properties and Modelling of Ag Doped CuO / ZnO / AZO Solar Cell.” : 26–37.
- Catauro, M., F. Papale, G. Roviello, C. Ferone, F. Bollino, M. Trifuoggi, and C. Aurilio. 2014. “Synthesis of SiO₂ and CaO Rich Calcium Silicate Systems via Sol-Gel Process: Bioactivity, Biocompatibility, and Drug Delivery Tests.” *Journal of Biomedical Materials Research - Part A* 102(9): 3087–92. doi:10.1002/jbm.a.34978.
- Christiany, Ari, Suprihatin, and Nastiti Siswi Indrasti. 2019. “Technical and Economical Potential of Textile Industry Effluent Wastewater Treatment Plant for Water Re-Use Using Carbon Active Application.” *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* 9(2): 229–40. doi:10.29244/jpsl.9.2.229-240.
- Elizabeth, Port, and South Africa. 2014. “Asian Journal of Phytomedicine.” 2(1): 11–21.
- Farooq, Muhammad, Shaukat Shujah, Kamran Tahir, Syed Tasleem Hussain, Afaq Ullah Khan, Zainab M Almarhoon, Khulood Fahad Alabbosh, et al. 2024. “Phytoassisted Synthesis of CuO and Ag – CuO Nanocomposite , Characterization , Chemical Sensing of Ammonia , Degradation of Methylene Blue.” *Scientific Reports*: 1–13. doi:10.1038/s41598-024-51391-2.
- Fauzi, W. A., I N. Simpen, and I W. Sudiarta. 2019. “SINTESIS DAN KARAKTERISASI ZEOLIT-TiO₂ SERTA PEMANFAATANNYA SEBAGAI FOTOKATALIS UNTUK DEGRADASI RHODAMIN B.” *Jurnal Kimia* 13(1): 74. doi:10.24843/jchem.2019.v13.i01.p12.
- Frastica Deswardani, Elvaswer. 2013. “KARAKTERISASI SEMIKONDUKTOR TIO₂ (ZnO) SEBAGAI SENSOR LIQUEFIED PETROLEUM GAS (LPG) Frastica Deswardani , Elvaswer.” 2(4): 269–75.
- Hernández-Ramírez, Aracely, and Iliana Medina-Ramírez. 2015. “Photocatalytic Semiconductors.” *Cham: Springer International Publishing*.
- Hieu, Vu Quang, Thanh Khoa Phung, Thanh-Quang Nguyen, Afrasyab Khan, Van Dat Doan, Vy Anh Tran, and Van Thuan Le. 2021. “Photocatalytic Degradation of Methyl Orange Dye by Ti₃C₂–TiO₂ Heterojunction under

- Solar Light.” *Chemosphere* 276: 130154.
- Huda, Adri, Chanel T. Handoko, Muhammad Djoni Bustan, Bambang Yudono, and Fakhili Gulo. 2018. “New Route in the Synthesis of Tin(II) Oxide Micro-Sheets and Its Thermal Transformation.” *Materials Letters* 211: 293–95. doi:10.1016/j.matlet.2017.10.029.
- Huda, Adri, Reisia Ichwani, Chanel Tri Handoko, Bambang Yudono, Muhammad Djoni Bustan, and Fakhili Gulo. 2019. “Enhancing the Visible-Light Photoresponse of SnO and SnO₂ through the Heterostructure Formation Using One-Step Hydrothermal Route.” *Materials Letters* 238: 264–66. doi:10.1016/j.matlet.2018.11.169.
- Javed, Rabia, Muhammad Zia, Sania Naz, Samson O Aisida, Noor Ain, and Qiang Ao. 2020. “Role of Capping Agents in the Application of Nanoparticles in Biomedicine and Environmental Remediation: Recent Trends and Future Prospects.” *Journal of Nanobiotechnology*: 1–16. doi:10.1186/s12951-020-00704-4.
- Jayaprakash, J, N Srinivasan, and P Chandrasekaran. 2014. “Surface Modifications of CuO Nanoparticles Using Ethylene Diamine Tetra Acetic Acid as a Capping Agent by Sol–Gel Routine.” *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 123: 363–68. doi:https://doi.org/10.1016/j.saa.2013.12.080.
- Jose, Lolly Maria, Nithya S. George, Sujit Anil Kadam, S. Athira, Kripa A, Arun Aravind, Yuan Ron Ma, and Yan Ruei Chen. 2023. “Insight into the Adsorption, Photocatalytic and Magnetic Properties of Bandgap Tailored Hydrothermally Grown SnO₂:Ni/Cu Nanostructures.” *Optical Materials* 135(November 2022): 113348. doi:10.1016/j.optmat.2022.113348.
- Kasuma, Sherly, Warda Ningsih, Hary Sanjaya, Edi Nasra, and Syuhada Yurnas. 2021. “Synthesis of Cu²⁺ Doped ZnO by the Combination of Sol-Gel-Sonochemical Methods with Duck Egg Albumen as Additive for Photocatalytic Degradation of Methyl Orange.” 21(3): 564–74. doi:10.22146/ijc.57077.
- Kiprotich, Nancy, Peter Waithaka, Sharon Kiprotich, and John Njagi. 2025. “Effects of Tin Doping Concentration on the Structural and Optical Properties of Cadmium Oxide Nanoparticles.” 14(2): 55–64.
- Kottappara, Revathi, Suresh C Pillai, and Baiju Kizhakkekilkoodayil Vijayan. 2020. “Copper-Based Nanocatalysts for Nitroarene Reduction-A Review of Recent Advances.” *Inorganic Chemistry Communications* 121: 108181.
- Küresel, Sürdürülebilir, Refah Göstergesi, Finans Politik, Beytullah Eren, Özgül Keleş, Özgül Keleş, I N A Etk, et al. 2014. “No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title.” *Ege Eğitim Dergisi/ Ege Journal of Education*: 6–17.
- Letifi, H, Y Litaïem, D Dridi, S Ammar, and R Chtourou. 2019. “Enhanced Photocatalytic Activity of Vanadium-Doped SnO₂ Nanoparticles in

Rhodamine B Degradation.” 2019.

- Liza, Yulia Mona, Rizka Chairani Yasin, Suci Sri Maidani, and Rahadian Zainul. 2018. “Gelation Sol- Gel Proces s Densification Ageing Drying.” *Jurnal Edu Sains* 2(5): 1–19.
- Lolo, Elvis Umbu, and Yonathan Suryo Pambudi. 2020. “Penurunan Parameter Pencemar Limbah Cair Industri Tekstil Secara Koagulasi Flokulasi (Studi Kasus: IPAL Kampung Batik Laweyan, Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia).” *Jurnal Serambi Engineering* 5(3): 1090–98. doi:10.32672/jse.v5i3.2072.
- Martín-Palma, Raúl J., and José M. Martínez-Duart. 2017. “Review of Semiconductor Physics.” *Nanotechnology for Microelectronics and Photonics*: 51–80. doi:10.1016/b978-0-323-46176-4.00003-1.
- Masjedi-Arani, Maryam, and Masoud Salavati-Niasari. 2017. “Metal (Mn, Co, Ni and Cu) Doped ZnO-Zn₂SnO₄-SnO₂ Nanocomposites: Green Sol-Gel Synthesis, Characterization and Photocatalytic Activity.” *Journal of Molecular Liquids* 248: 197–204. doi:10.1016/j.molliq.2017.10.055.
- Maulana, M Sifal, Kapti Riyani, and Tien Setyaningtyas. 2023. “Sintesis Dan Karaterisasi CuO / RGO.” 3: 1–6.
- Menggunakan, X R D, Metode Kristal, and Syaiful Rahman. 2016. “Rancangan Eksperimen Analisis Struktur Mikro Sampel Dengan Prinsip.” 3(1): 5–9.
- Mosleh, Ahmed T, Elbadawy A Kamoun, Shahira H El, Moslamy Samar, and A Salim Heba. 2024. “Discover Nano Performance of Ag - Doped CuO Nanoparticles for Photocatalytic Activity Applications: Synthesis , Characterization , and Antimicrobial Activity.” *Discover Nano*. doi:10.1186/s11671-024-04108-3.
- Negash, Asfaw, Lemma M Derseh, Abebe Tedla, and Jemal M Yassin. 2024. “Eco-Friendly Synthesis of CuO/Bi(2)O(3) Nanocomposite for Efficient Photocatalytic Degradation of Rhodamine B Dye.” *Scientific reports* 14(1): 23393. doi:10.1038/s41598-024-74408-2.
- Ningsih, Sherly Kasuma Warda. 2016. *Sintesis Anorganik*. Padang: UNP Press.
- Okoye, P C, S O Azi, T F Qahtan, T O Owolabi, and T A Saleh. 2023. “Synthesis, Properties, and Applications of Doped and Undoped CuO and Cu₂O Nanomaterials.” *Materials Today Chemistry* 30: 101513.
- Ponnarasi, P, and G Mahalakshmi. 2024. “Ag-Doped CuO Nanoparticles Embedded Reduced Graphene Oxide Nanocomposite from Punica Granatum Peel Extract and Evaluation of Their Photocatalytic Activity and Antimicrobial Potential.” *Chemical Physics Impact* 8(March): 100632. doi:10.1016/j.chphi.2024.100632.
- Purnama, Herry, Nabilah Miftachul Jannah, and Nur Hidayati. 2024. “Penghilangan Rhodamin B Dari Limbah Cair Menggunakan Pelarut Minyak Goreng Bekas Dalam Membran Cair Emulsi.” *Eksergi* 21(2): 94. doi:10.31315/e.v21i2.12005.

- Putri, Yobellya, and Afifah Hasna Oktaviana. 2024. "Adsorption of Remazol Brilliant Blue R Dye on Batik Industry Waste Using Pineapple Crown Adsorbent." *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia* 21(1): 2460–8203.
- Rai, Mahendra, Alka Yadav, and Aniket Gade. 2009. "Silver Nanoparticles as a New Generation of Antimicrobials." *Biotechnology advances* 27(1): 76–83. doi:10.1016/j.biotechadv.2008.09.002.
- Rajbongshi, Biju Mani. 2020. Handbook of Smart Photocatalytic Materials: Environment, Energy, Emerging Applications and Sustainability *Photocatalyst: Mechanism, Challenges, and Strategy for Organic Contaminant Degradation*. INC. doi:10.1016/B978-0-12-819049-4.00011-8.
- Ramadhani, Rida Oppi, Rahadian Zainul, Natural Sciences, Universitas Negeri Padang, Air Tawar Barat, Padang Utara, and West Sumatera. 2023. "Study of Synthesis of CuO Nanoparticles with Sol-Gel Method and Its Application as Antibacterial Agent in Portland Cement." 2(2): 79–88.
- Rathi, V Helen, Ambrose Rejo, and Kumarasamy Jayakumar. 2023. "Applied Surface Science Advances Green Synthesis of Ag / CuO and Ag / TiO 2 Nanoparticles for Enhanced Photocatalytic Dye Degradation , Antibacterial , and Antifungal Properties." *Applied Surface Science Advances* 18(August): 100476. doi:10.1016/j.apsadv.2023.100476.
- Ringan, Makanan, Kripik Singkong, and D I Kabupaten. 2015. "View Metadata, Citation and Similar Papers at Core.Ac.Uk."
- Sanjaya, Hary. 2018. "DEGRADASI METIL VIOLET MENGGUNAKAN KATALIS ZnO-TiO₂ SECARA FOTOSONOLISIS." *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA* 19(1): 91–99. doi:10.24036/eksakta/vol19-iss1/131.
- Saw, K G, N M Aznan, F K Yam, S S Ng, and S Y Pung. 2015. "New Insights on the Burstein-Moss Shift and Band Gap Narrowing in Indium-Doped Zinc Oxide Thin Films." : 1–17. doi:10.1371/journal.pone.0141180.
- Sery, Alaa A., Walied A.A. Mohamed, F. F. Hammad, Mostafa M.H. Khalil, and H. K. Farag. 2022. "Synthesis of Pure and Doped SnO₂ and NiO Nanoparticles and Evaluation of Their Photocatalytic Activity." *Materials Chemistry and Physics* 275: 125190. doi:10.1016/j.matchemphys.2021.125190.
- Singh, S. Jimkeli, and P. Chinnamuthu. 2021a. "Highly Efficient Natural-Sunlight-Driven Photodegradation of Organic Dyes with Combustion Derived Ce-Doped CuO Nanoparticles." *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 625(April): 126864. doi:10.1016/j.colsurfa.2021.126864.
- Singh, S Jimkeli, and P Chinnamuthu. 2021b. "Highly Efficient Natural-Sunlight-Driven Photodegradation of Organic Dyes with Combustion Derived Ce-Doped CuO Nanoparticles." *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 625: 126864.
- "Size Control of Ag₃PO₄ Nanoparticles Using Monoethanolamine and Oleylamine Chelating Agents." 2020. 10(2): 362–74. doi:10.22052/JNS.2020.02.015.

- Smith, Andrew M, and Shuming Nie. 2010. "NIH Public Access." 43(2): 190–200. doi:10.1021/ar9001069.Semiconductor.
- Sorekine, Gedu, Gabriel Anduwan, Mathew Norpa Waimbo, Helen Osora, Senthilkumar Velusamy, Sungdo Kim, Yong Soo Kim, and Junior Charles. 2022. "Photocatalytic Studies of Copper Oxide Nanostructures for the Degradation of Methylene Blue under Visible Light." *Journal of Molecular Structure* 1248: 131487. doi:10.1016/j.molstruc.2021.131487.
- Sumaya, M Ummay, Kazi Hanium, F T Z Toma, M A Zubair, and M T Chowdhury. 2023. "Heliyon Effect of Stabilizer Content in Different Solvents on the Synthesis of ZnO Nanoparticles Using the Chemical Precipitation Method." *Heliyon* 9(10): e20871. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e20871.
- Sunardi, Sunardi, and Silviana Silviana. 2022. "Transformasi Abu Vulkanik Dan Limbah Seng Menjadi Nanokomposit ZnO-SiO₂ Dan Aplikasinya Untuk Degradasi Rhodamin B." *Jurnal Ilmu Lingkungan* 20(4): 856–71. doi:10.14710/jil.20.4.856-871.
- Uji, D A N, and Aktivitas Fotokatalitiknya. 2025. "PENGARUH VARIASI KONSENTRASI DOPPING CuO DAN ADITIF MONOETHANOLAMINE (MEA) PADA SINTESIS NANOPARTIKEL ZnO." 7(1): 66–74.
- Universitas Brawijaya. 2022. "Data Sifat Fisik Perak." *Repository.Ub.Ac.Id*: 4–8. [http://repository.ub.ac.id/4267/4/BAB II.pdf](http://repository.ub.ac.id/4267/4/BAB%20II.pdf).
- Vikal, Sagar, Yogendra K. Gautam, Ashwani Kumar, Ajay Kumar, Neetu Singh, Hempal Singh, and Beer Pal Singh. 2023. "Effect of Silver (Ag) Doping on Structural, Optical and Antimicrobial Properties of Copper Oxide (CuO) Nanostructures." *Nano Express* 4(2). doi:10.1088/2632-959X/acdc41.
- Wang, Bing, Gill M. Biesold, Meng Zhang, and Zhiqun Lin. 2021. "Amorphous Inorganic Semiconductors for the Development of Solar Cell, Photoelectrocatalytic and Photocatalytic Applications." *Chemical Society Reviews* 50(12): 6914–49. doi:10.1039/d0cs01134g.
- Wang, Meng, Ting Wang, S. H. Song, Muchakayala Ravi, R. C. Liu, and S. S. Ji. 2017. "Effect of Calcination Temperature on Structural, Magnetic and Optical Properties of Multiferroic YFeO₃ Nanopowders Synthesized by a Low Temperature Solid-State Reaction." *Ceramics International* 43(13): 10270–76. doi:10.1016/j.ceramint.2017.05.056.
- Wang, Miao, Yingying Guo, Zhiqin Zhu, Quan Liu, Tongming Sun, Huihui Cui, and Yanfeng Tang. 2021. "Diethanolamine-Assisted and Morphology Controllable Synthesis of ZnO with Enhanced Photocatalytic Activities." *Materials Letters* 299: 130114.
- Welegergs, Giday G, H G Gebretinsae, M T Girmay, Azole Sindelo, Abebe Tedla, and S Dube. 2025. "Plasmonic Silver (Ag) Supported Mesoporous CuO Nanocomposites for Photodegradation of Methylene Blue in Water."
- Xiao, Xin, Shunheng Tu, Mingli Lu, Huan Zhong, Chunxia Zheng, Xiaoxi Zuo, and Junmin Nan. 2016. "Discussion on the Reaction Mechanism of the

Photocatalytic Degradation of Organic Contaminants from a Viewpoint of Semiconductor Photo-Induced Electrocatalysis.” *Applied Catalysis B: Environmental* 198: 124–32. doi:10.1016/j.apcatb.2016.05.042.

Yadav, Sarita, Aruna Yadav, Nisha Bagotia, Ashok K Sharma, and Surender Kumar. 2021. “Adsorptive Potential of Modified Plant-Based Adsorbents for Sequestration of Dyes and Heavy Metals from Wastewater-A Review.” *Journal of water process engineering* 42: 102148.

Zhang, Qiaobao, Kaili Zhang, Daguo Xu, Guangcheng Yang, Hui Huang, Fude Nie, Chenmin Liu, and Shihe Yang. 2014. “CuO Nanostructures: Synthesis, Characterization, Growth Mechanisms, Fundamental Properties, and Applications.” *Progress in Materials Science* 60: 208–337.