

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SnO_2/Ni DENGAN PENAMBAHAN
ADITIF *Monoethanolamine* (MEA) SEBAGAI KATALIS TERHADAP
DEGRADASI *METHYLENE ORANGE***

SKRIPSI

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



Oleh :
NADYA ALEXANDRA
22036032/2022

**PROGRAM STUDI KIMIA
DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2026**

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

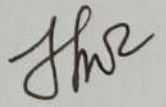
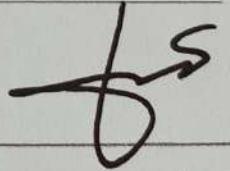
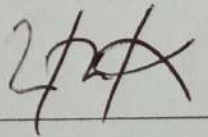
Nama : Nadya Alexandra
TM/NIM : 2022/22036032
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SnO_2/Ni DENGAN PENAMBAHAN
ADITIF *Monoethanolamine* (MEA) SEBAGAI KATALIS TERHADAP
DEGRADASI METHYLENE ORANGE**

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

Padang, 29 April 2026

Tim Penguji

No	Jabatan	Nama	Tanda Tangan
1	Ketua	Hary Sanjaya, S.Si., M.Si	1. 
2	Anggota	Alizar, S.Pd., M.Sc., Ph.D	2. 
3	Anggota	Umar Kalmar Nizar, S.Si., M.Si., Ph.D	3. 

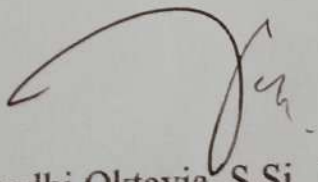
PERSETUJUAN SKRIPSI

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SnO_2/Ni DENGAN PENAMBAHAN
ADITIF *Monoethanolamine* (MEA) SEBAGAI KATALIS TERHADAP
DEGRADASI METHYLENE ORANGE**

Nama : Nadya Alexandra
NIM : 22036032
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 29 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 : Nadya Alexandra
NIM : 22036032
Tempat/Tanggal Lahir : Padang / 20 Februari 2005
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : SINTESIS DAN KARAKTERISASI SnO₂/Ni

DENGAN PENAMBAHAN ADITIF

Monoethanolamine (MEA) SEBAGAI KATALIS

TERHADAP DEGRADASI METHYLENE

ORANGE

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, 29 April 2026
Yang Menyatakan



Nadya Alexandra
NIM. 22036032

**Sintesis dan Karakterisasi SnO₂/Ni dengan Penambahan Aditif
Monoethanolamine (MEA) sebagai Katalis Terhadap Degradasi
*Methylene Orange***

Nadya Alexandra

ABSTRAK

Limbah zat warna tekstil merupakan pencemar lingkungan yang sulit terdegradasi secara alami sehingga diperlukan metode pengolahan yang efektif. Fotokatalisis menggunakan material semikonduktor menjadi salah satu metode potensial karena mampu mendegradasi zat warna organik menjadi senyawa yang lebih ramah lingkungan. Pada penelitian ini dilakukan sintesis nanopartikel SnO₂ terdoping Ni dengan variasi konsentrasi Ni (0,2–1 mmol) dan penambahan zat aditif *monoethanolamine* (MEA) (16,57–49,71 mmol) menggunakan metode sol-gel. Karakterisasi dilakukan menggunakan UV-DRS, XRD, dan SEM, serta uji aktivitas fotokatalitik terhadap degradasi methyl orange menggunakan lampu LED. Hasil UV-DRS menunjukkan bahwa bandgap SnO₂ murni sebesar 2.93 eV dan menurun menjadi 2,53–2,47 eV setelah doping Ni. Penambahan MEA menurunkan bandgap hingga nilai optimum 2,333 eV pada 33,14 mmol MEA. Hasil XRD menunjukkan struktur kristal tetragonal rutil SnO₂ tanpa fase pengotor dengan ukuran kristalit menurun dari 34,47 nm menjadi 32,36 nm setelah penambahan MEA. Hasil SEM menunjukkan morfologi partikel hampir sferis dengan aglomerasi ringan dan distribusi ukuran relatif homogen. Uji fotokatalitik menunjukkan degradasi optimum sebesar 52,9% (SnO₂), 57,6% (SnO₂-Ni), dan 69,3% (SnO₂-Ni +MEA) pada 120 menit

Kata kunci: SnO₂, doping Ni, MEA, fotokatalis, methyl orange.

***Synthesis and Characterization of Ni-Doped SnO₂ with
Monoethanolamine (MEA) Additive for Photocatalytic Degradation of
Methyl Orange***

Nadya Alexandra

ABSTRAC

Textile dye wastewater is difficult to degrade naturally and requires effective treatment methods. Photocatalysis using semiconductor materials is a promising approach for degrading organic dyes into environmentally friendly compounds. In this study, Ni-doped SnO₂ nanoparticles were synthesized using the sol-gel method with Ni doping variations (0.2–1 mmol) and *monoethanolamine* (MEA) additive variations (16.57–49.71 mmol). Characterization was performed using UV-DRS, XRD, and SEM, and photocatalytic activity was tested for methyl orange degradation under LED irradiation. UV-DRS results showed that the bandgap of pure SnO₂ (2.93 eV) decreased to 2.53–2.47 eV after Ni doping. MEA addition further reduced the bandgap to an optimum value of 2.333 eV at 33.14 mmol MEA. XRD confirmed tetragonal rutile SnO₂ structure without secondary phases, while crystallite size decreased from 34.47 nm to 32.36 nm after MEA addition. SEM analysis showed nearly spherical particles with slight agglomeration and relatively uniform distribution. Photocatalytic tests showed optimum degradation efficiencies of 52,9% (SnO₂), 57,6% (SnO₂-Ni), and 69,3% (SnO₂-Ni + MEA) at 120 minutes.

Keywords: SnO₂, Ni doping, MEA, photocatalysis, methyl orange.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian yang berjudul “ **Sintesis dan Karakterisasi SnO₂/Ni dengan Penambahan Aditif *Monoethanolamine* (MEA) sebagai Katalis Terhadap Degradasi *Methylene Orange***” dengan baik. Proposal ini diajukan untuk menyelesaikan mata kuliah Tugas Akhir 2 pada Program Studi Kimia (NK), Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Penulis ingin mengucapkan terima kasih atas dukungan dan bimbingan kepada :

1. Bapak Hary Sanjaya, S.Si., M.Si sebagai pembimbing akademik sekaligus penasehat akademik Tugas Akhir.
2. Bapak Alizar, S.Pd., M.Sc., Ph.D dan Bapak Umar Kalmar Nizar, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Dosen Pembahas.
3. Bapak Budhi Oktavia, S.Si, M.Si., selaku Ketua Departemen dan Ketua Prodi Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.
4. Kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis.
5. Teman-teman satu tim yang bekerja sama dengan penulis.

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

Padang, 17 April 2026

Nadya Alexandra

DAFTAR ISI

ABSTRAK	II
ABSTRAC	III
KATA PENGANTAR	IV
DAFTAR ISI	VI
DAFTAR GAMBAR	VIII
DAFTAR TABEL	IX
DAFTAR LAMPIRAN	X
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Batasan Penelitian	5
D. Rumusan Penelitian	5
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	6
BAB II	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Semikonduktor	7
B. Monoethanolamine (MEA)	12
C. Metode Sol-Gel	13
D. Karakterisasi	19
E. Fotokatalis	24
BAB III	27
METODE PENELITIAN	27
A. Waktu Dan Tempat	27
B. Objek Penelitian	27
C. Variabel Penelitian	27
D. Alat Dan Bahan	28
E. Prosedur Penelitian	28
F. Karakterisasi	30
G. Aktivitas Fotokatalitik SnO ₂ Doping Ni	31
H. Pengolahan Data	31
I. Skema Penelitian	33
BAB IV	34
HASIL DAN PEMBAHASAN	34
A. Karakterisasi	34
1. Pengaruh Variasi Doping Ni pada nanopartikel SnO ₂	34
2. Pengaruh Variasi Volume Zat Aditif Monoethanolamine (MEA)	35

B. X-Ray Diffraction (XRD)	37
C. Scanning Electron Microscopy (SEM)	41
D. Uji Aktivitas Fotokatalis SnO ₂ dengan Methylene Orange.....	43
BAB V.....	47
PENUTUP.....	47
A.Kesimpulan	47
B.Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN.....	6

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Konduktivitas Material Solid-State	7
Gambar 2. Struktur Kristal SnO_2	9
Gambar 3. Struktur Nikel(II) Klorida Heksahidrat	10
Gambar 4. Struktur Monoethanolamine.....	11
Gambar 5. Proses Metode Sol-Gel	17
Gambar 6. Analisis Nanopartikel SnO_2 Dengan Uv-Drs	18
Gambar 8. Mikrograf SEM Sampel SnO_2 Hasil Sintesis	19
Gambar 9. Skema Sistem Untuk Difraktometer	20
Gambar 10. Pola XRD SnO_2	22
Gambar 11. Pola XRD pada (a) SnO_2 dan (b) $\text{SnO}_2\text{-Ni}$ dan $\text{SnO}_2\text{-Ni +MEA}$	38
Gambar 12. Gambar SEM $\text{SnO}_2\text{-Ni}$ dengan penambahan aditif.....	40
Gambar 13. Histogram Distribusi Ukuran Partikel pada $\text{SnO}_2\text{-Ni}$ dengan Penambahan MEA.....	42
Gambar 14. Persen Degradasi Methylene Orange pada SnO_2 , $\text{SnO}_2\text{-Ni}$, dan $\text{SnO}_2\text{-Ni + MEA}$ dengan lampu LED.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Energi Bandgap Terhadap Pengaruh Konsentrasi Doping Nikel	34
Tabel 2. Energi Bandgap Terhadap Variasi Penambahan Aditif Mea	35
Tabel 3. Ukuran Kristan $\text{SnO}_2\text{-Ni}$ Dan $\text{SnO}_2\text{-Ni}$ Dengan Penambahan Aditif	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rencana Anggaran Biaya	61
Lampiran 2. Jadwal Penelitian	61
Lampiran 3. Sintesis Material SnO_2	62
Lampiran 4. Sintesis Material $\text{SnO}_2\text{-N}$	63
Lampiran 5. Dasar- Dasar Perhitungan.....	64
Lampiran 6. Data <i>Software</i> Image SEM	66
Lampiran 7. Perhitungan % Degradasi	68
Lampiran 8. Grafik Bandgap Karakterisasi Uv-Drs	73
Lampiran 9. Dokumentasi Penelitian.....	74

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia memiliki beragam sektor industri, di antaranya adalah industri kertas, kosmetik, farmasi, serta tekstil. Industri tekstil di Indonesia sering menghasilkan limbah cair yang mengandung pewarna sintetis dan zat kimia berat yang sulit terurai secara alami. Sebagai contoh, penelitian di Sungai Citarum mengungkap bahwa limbah cair tekstil membuang pewarna azo yang bersifat toksik, mutagenik, dan karsinogenik, dan limbah tersebut belum diolah secara memadai (Nabhani et al., 2024). Studi lain yang meneliti pencemaran di Sungai Konto, juga mencatat bahwa kadar pewarna dalam air sungai ditemukan tinggi di beberapa lokasi dan hal ini sesuai dengan persepsi masyarakat yang menganggap sungai telah tercemar limbah pewarna tekstil (Adjid et al., 2022). Pada data yang dipublikasikan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menunjukkan peningkatan limbah tekstil dalam beberapa tahun terakhir. Pada tahun 2019, limbah dari sektor tekstil hanya sekitar 2,4% dari total limbah industri. Akan tetapi, angka tersebut melonjak menjadi 6,99% pada tahun 2021, dan bahkan kembali meningkat hingga mencapai 8,2% di tahun 2022. Fakta ini memperlihatkan bahwa limbah cair tekstil semakin mendominasi dan memberikan kontribusi signifikan terhadap pencemaran air di Indonesia. Jika kondisi ini dibiarkan, maka potensi kerusakan lingkungan serta dampak negatif terhadap kesehatan masyarakat akan semakin besar.

Metode pengolahan limbah tekstil yang pernah diterapkan adalah biosand filter, yaitu sistem penyaringan air limbah dengan media pasir, kerikil, karbon

aktif, dan batu kecil. Teknologi ini awalnya banyak digunakan dalam pengolahan air bersih rumah tangga, namun kemudian juga diaplikasikan untuk limbah industri karena prosesnya sederhana dan bahan penyusunnya mudah diperoleh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini dapat menurunkan tingkat kekeruhan, bakteri, serta beberapa polutan organik dalam air limbah. Akan tetapi, kelemahan biosand filter terletak pada keterbatasannya dalam menguraikan senyawa berbahaya seperti pewarna sintetis dan logam berat. Selain itu, metode ini juga dinilai memerlukan biaya operasional yang cukup tinggi, membutuhkan lahan instalasi yang luas, serta masih terdapat risiko kontaminasi ulang pada air hasil olahan (Welz, 2024). Oleh sebab itu, banyak penelitian kemudian beralih pada teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan, salah satunya fotokatalis berbasis semikonduktor. Teknologi ini memanfaatkan energi cahaya untuk menghasilkan radikal aktif yang mampu mendegradasi polutan organik berbahaya dalam limbah cair. Dalam sebuah studi, material graphitic carbon nitride ($g\text{-C}_3\text{N}_4$) yang di eksfoliasi secara termal terbukti sangat efektif, karena mampu mendegradasi berbagai pewarna tekstil seperti methylene blue, methyl orange, dan rhodamine B dengan efisiensi lebih dari 90% hanya dalam waktu 60 menit di bawah sinar UV (Ganesan et al., 2024).

Semikonduktor merupakan material yang memiliki sifat kelistrikan berada di antara isolator dan konduktor, sehingga konduktivitasnya dapat dikontrol dengan doping atau rekayasa struktur kristal (Raju & Li, 2022). Material ini dikenal memiliki banyak keunggulan, seperti efisiensi energi yang tinggi, ukuran yang kecil dan ringan, serta fleksibilitas dalam penerapan

sehingga dapat dengan mudah diintegrasikan ke berbagai perangkat elektronik modern (Oh et al., 2024). Semikonduktor memiliki sifat multifungsi sehingga penggunaannya sangat luas dalam berbagai bidang teknologi modern. Material ini telah diaplikasikan pada sensor gas, lapisan konduktif transparan, baterai lithium-ion, hingga sel surya, dengan beberapa jenis yang paling umum digunakan antara lain silikon (Si), germanium (Ge), serta gallium arsenide (GaAs) karena keunggulan sifat listrik dan optiknya (Pisula, 2023).

SnO_2 atau timah dioksida dikenal sebagai semikonduktor tipe-n dengan band gap yang besar, biasanya sekitar 3,6 hingga sedikit lebih tinggi tergantung kondisi sintesisnya, serta memiliki konduktivitas listrik yang baik (Hoang Huy et al., 2023). Material ini memiliki berbagai sifat unggul, seperti stabilitas kimia yang baik, transparansi optik yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, serta ketersediaan bahan baku yang melimpah di alam sehingga membuatnya lebih ekonomis untuk diaplikasikan (Patel et al., 2021). Dengan kelebihan tersebut, SnO_2 banyak digunakan dalam berbagai aplikasi teknologi, misalnya sebagai elektroda transparan, fotokatalis, sensor gas, transistor, baterai.

Beberapa metode dalam pembuatan sintesis material SnO_2 , seperti metode sputtering magnetron (Ning et al., 2009), metode kopresipitasi kimia, metode hidrotermal (Borhade et al., 2019) dan metode sol-gel (B. N. Kim et al., 2018). Metode sol-gel sendiri didefinisikan sebagai proses konversi monomer menjadi larutan koloid (sol) yang kemudian dapat membentuk jaringan gel, baik dalam bentuk partikel diskrit maupun polimer. Teknik ini memiliki banyak keunggulan, diantaranya homogenitas produk yang tinggi, kontrol komposisi yang lebih mudah, kebutuhan suhu yang relatif rendah, biaya peralatan yang

tidak mahal, serta efisiensi energi dan bahan yang baik. Oleh sebab itu, metode sol-gel sering dipilih dalam sintesis material semikonduktor (Ilican et al., 2008).

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Ragupathy & Sathya, 2018) menunjukkan sintesis nanopartikel SnO_2 murni dan SnO_2 doping Ni menggunakan metode presipitasi kimia tanpa penggunaan aditif. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa SnO_2 murni memiliki energi celah pita sebesar 3,71 eV, sedangkan SnO_2 yang didoping Ni mengalami penurunan celah pita menjadi 3,51 eV. Penurunan ini mengindikasikan terbentuknya tingkat energi baru akibat doping Ni, yang berkontribusi terhadap peningkatan aktivitas fotokatalitik material. Sementara itu, penelitian oleh (Murali & Remadevi, 2021) menunjukkan bahwa penambahan *monoethanolamine (MEA)* sebagai aditif pada sintesis film tipis SnO_2 mampu menghasilkan material dengan struktur polikristalin berukuran sangat kecil (<5 nm). Hasil karakterisasi XRD dan SEM memperlihatkan morfologi berpori dengan distribusi butir yang merata, serta nilai celah pita sekitar 3,65 eV. Hal ini mengindikasikan bahwa keberadaan MEA berperan penting dalam menstabilkan prekursor, sekaligus meningkatkan kualitas struktur kristal dan sifat optik SnO_2 .

Berdasarkan uraian diatas dan hasil penelitian terdahulu, maka pada penelitian ini dilakukan sintesis SnO_2/Ni dengan menggunakan metode *sol-gel*. Sehingga pada proposal ini, diajukan penelitian dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi SnO_2/Ni dengan Penambahan Aditif *Monoethanolamine (MEA)* sebagai Katalis Terhadap Degradasi *Methylene Orange*” SnO_2 disintesis dan dikarakterisasi dengan UV-DRS, XRD, dan SEM.

B. Identifikasi Masalah

- A. Metode pengolahan limbah konvensional seperti biosand filter masih memiliki keterbatasan, antara lain biaya tinggi, instalasi besar, dan potensi kontaminasi ulang.
- B. Penggunaan teknologi fotokatalis masih perlu dikembangkan untuk efisiensi degradasi limbah cair.
- C. Belum adanya penelitian spesifik mengenai pengaruh penambahan aditif Monoethanolamine (MEA) dalam sintesis SnO_2/Ni menggunakan metode sol-gel untuk fotokatalis.

C. Batasan Masalah

- 1. Pengaruh penambahan Ni sebagai zat pendoping dalam sintesis SnO_2 .
- 2. Pengaruh penambahan MEA sebagai zat aditif dalam sintesis SnO_2/Ni .
- 3. Karakterisasi menggunakan UV-DRS, SEM, dan XRD.

D. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

- 1. Bagaimana pengaruh penambahan Ni sebagai doping dengan variasi 0.2 mmol, 0.4 mmol, 0.6 mmol, 0.8 mmol dan 1 mmol terhadap sifat optik SnO_2 ?
- 2. Bagaimana pengaruh penambahan 16,57 mmol, 33,14 mmol dan 49,71 mmol MEA sebagai zat aditif terhadap sifat optik SnO_2 ?
- 3. Bagaimana sifat fotokatalis material SnO_2/Ni terhadap degradasi *Methylene Orange*?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui pengaruh penambahan Ni sebagai doping dengan variasi 0.2 mmol, 0.4 mmol, 0.6 mmol, 0.8 mmol dan 1 mmol terhadap sifat optik SnO₂.
2. Mengetahui pengaruh penambahan 16.57 mmol, 33.14 mmol dan 49.71 mmol MEA sebagai zat aditif dalam sintesis SnO₂/Ni.
3. Mengetahui sifat fotokatalis material SnO₂/Ni terhadap degradasi *Methylene Orange*.

F. Manfaat Penelitian

Dapat menganalisis peran doping Ni dan aditif MEA dalam mempengaruhi sifat SnO₂, sehingga dapat dijadikan referensi dalam pemanfaatan material ini untuk pengolahan limbah cair industri tekstil, khususnya dalam mendegradasi zat warna *Methylene Orange*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Doping Ni menyebabkan penurunan band gap SnO_2 dari 2,93 eV menjadi 2,51 eV pada variasi optimum (0,2 mmol). Penurunan ini menunjukkan peningkatan kemampuan material dalam menyerap cahaya.
2. Penambahan MEA sebagai zat aditif dalam sintesis SnO_2/Ni terbukti menurunkan nilai band gap dari sekitar 2,51 eV menjadi 2,33 eV. MEA berperan dalam mengontrol pertumbuhan partikel sehingga menghasilkan ukuran yang lebih kecil, distribusi yang lebih homogen, serta meningkatkan luas permukaan.
3. Material SnO_2/Ni menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang efektif dalam mendegradasi zat warna Methylene Orange, dengan peningkatan efisiensi degradasi seiring waktu penyinaran hingga mencapai kondisi optimum pada menit ke-120. Material dengan kombinasi doping Ni dan penambahan MEA menunjukkan performa terbaik dengan persen degradasi tertinggi 69,3%.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan kepada peneliti selanjutnya untuk melakukan karakterisasi lanjutan pada material SnO_2 terdoping Ni menggunakan instrumen dengan resolusi tinggi seperti High Resolution Transmission Electron Microscopy (HR-TEM) guna memperoleh informasi yang lebih detail mengenai ukuran partikel, morfologi, serta distribusi dopan pada kisi kristal. Selain itu, perlu dilakukan pengujian aktivitas fotokatalitik menggunakan

variasi zat warna lain, seperti methylene blue dan rhodamin B, untuk mengevaluasi kinerja material secara lebih komprehensif terhadap berbagai jenis polutan organik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adjid, G. A. F., Kurniawan, A., & Nazriati, N. (2022). Textile Industry Waste Pollution in The Konto River (Adjid, et al). *J. Exp. Life Sci*, 12(3), 105–116.
- Ahmad, R., Dubey, K., Modi, A., & Gaur, N. K. (2024). Results in Optics Effect of surfactants on the structural , microstructural , optical , and photoluminescence characteristics of nanostructured SnO₂ compounds. *Results in Optics*, 16(March), 100677. <https://doi.org/10.1016/j.rio.2024.100677>
- Ameta, R., Solanki, M. S., Benjamin, S., & Ameta, S. C. (2018). Photocatalysis. In *Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: Emerging Green Chemical Technology*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810499-6.00006-1>
- Afzal, S., Samsudin, E. M., Julkapli, N. M., & Hamid, S. B. A. (2016). Controlled acid catalyzed sol gel for the synthesis of highly active TiO₂-chitosan nanocomposite and its corresponding photocatalytic activity. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(22), 23158–23168. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7507-2>
- Aripin, H., Mitsudo, S., Sudiana, I. N., Priatna, E., Kikuchi, H., & Sabchevski, S. (2016). Densification behavior of SnO₂-glass composites developed from the incorporation of silica xerogel and SnO₂. *International Journal of Technology*, 7(3), 401–407. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v7i3.2903>
- Basit, R. A., Abbasi, Z., Hafeez, M., Ahmad, P., Khan, J., Khandaker, M. U., Al-Mugren, K. S., & Khalid, A. (2023). Successive Photocatalytic Degradation of Methylene Blue by ZnO, CuO and ZnO/CuO Synthesized from Coriandrum sativum Plant Extract via Green Synthesis Technique. *Crystals*, 13(2).

<https://doi.org/10.3390/cryst13020281>

- Boéré, R. T., Structures, C., & Nickelbischofite, N. O. (2023). (*Nickelbischofite*) at Low Temperature: Full Refinement of Hydrogen Atoms Using Non-Spherical Atomic crystals Scattering Factors Low Temperature : 1–12.
- Borhade, V., Tope, D. R., & Sangle, S. L. (2019). Synthesis, Characterization, and Photocatalytic Application of CuSnO₃ Perovskite Oxide. *JETIR1903551 Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 6(3), 382–386.
- Ciolacu, D., Ciolacu, F., & Popa, V. I. (2011). Amorphous cellulose - Structure and characterization. *Cellulose Chemistry and Technology*, 45(1–2), 13–21.
- Doyan, A., Alam, K., Mulyadi, L., Ali, F., & Awang, M. M. (2021). *Synthesis and Characterization of SnO₂ Thin Film Semiconductor for Electronic Device Applications*. 7, 2017–2021.
<https://doi.org/10.29303/jppipa.v7iSpecialIssue.1270>
- Duhan, M., Kumar, N., Gupta, A., Singh, A., & Kaur, H. (2020). Enhanced room temperature ferromagnetism in Cr and Fe co-doped SnO₂ nanoparticles synthesized by sol-gel method. *Vacuum*, 181(April), 109635.
<https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109635>
- Esposito, S. (2019). “Traditional” sol-gel chemistry as a powerful tool for the preparation of supported metal and metal oxide catalysts. *Materials*, 12(4), 1–25. <https://doi.org/10.3390/ma12040668>
- Finegold, L., & Cude, J. L. (1972). Biological sciences: One and two-dimensional structure of alpha-helix and beta-sheet forms of poly(L-Alanine) shown by specific heat measurements at low temperatures (1.5-20 K). *Nature*, 238(5358), 38–40. <https://doi.org/10.1038/238038a0>

- Fraditasari, R., Wardhani, S., & Khunur, M. M. (2015). Degradasi Methyl Orange Menggunakan Fotokatalis TiO₂-N: Kajian Pengaruh Sinar dan Konsentrasi TiO₂-N. *Kimia.Studentjournal*, 1(1), 606–612.
- Fujishima, A., Zhang, X., & Tryk, D. A. (2008). TiO₂ photocatalysis and related surface phenomena. *Surface Science Reports*, 63(12), 515–582. <https://doi.org/10.1016/j.surfrep.2008.10.001>
- Ganesan, S., Kokulnathan, T., Sumathi, S., & Palaniappan, A. (2024). Efficient photocatalytic degradation of textile dye pollutants using thermally exfoliated graphitic carbon nitride (TE-g-C₃N₄). *Scientific Reports*, 14(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52688-y>
- Gaweł, B., Gaweł, K., & Øye, G. (2010). Sol-gel synthesis of non-silica monolithic materials. *Materials*, 3(4), 2815–2833. <https://doi.org/10.3390/ma3042815>
- Gu, Y., Sun, S., Liu, Y., Dong, M., & Yang, Q. (2019). Solvent Effect on the Solvothermal Synthesis of Mesoporous NiO Catalysts for Activation of Peroxymonosulfate to Degrade Organic Dyes. *ACS Omega*, 4(18), 17672–17683. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b01883>
- Guan, B., Yu, J., & Guo, S. (2020). Nanoscale Advances Porous nickel doped titanium dioxide nanoparticles with improved visible light photocatalytic activity. *Nanoscale Advances*, 2, 1352–1357. <https://doi.org/10.1039/C9NA00760A>
- Hoang Huy, V. P., Nguyen, T. M. H., & Bark, C. W. (2023). Recent Advances of Doped SnO₂ as Electron Transport Layer for High-Performance Perovskite Solar Cells. *Materials*, 16(18). <https://doi.org/10.3390/ma16186170>
- Ilican, S., Caglar, Y., Caglar, M., & Yakuphanoglu, F. (2008). Structural, optical

and electrical properties of F-doped ZnO nanorod semiconductor thin films deposited by sol-gel process. *Applied Surface Science*, 255(5 PART 1), 2353–2359. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2008.07.111>

Imawanti, Y. D., Doyan, A., & Gunawan, E. R. (2017). SINTESIS LAPISAN TIPIS (THIN FILM) SnO₂ MENGGUNAKAN TEKNIK SOL-GEL SPIN COATING PADA SUBSTRAT KACA DAN QUARTZ. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 3(1). <https://doi.org/10.29303/jppipa.v3i1.49>

Jeong, H. J., Kim, D. K., Lee, S. B., Kwon, S. H., & Kadono, K. (2001). Preparation of water-repellent glass by sol-gel process using perfluoroalkylsilane and tetraethoxysilane. *Journal of Colloid and Interface Science*, 235(1), 130–134. <https://doi.org/10.1006/jcis.2000.7313>

Khan, D., Rehman, A., Rafiq, M. Z., Khan, A. M., & Ali, M. (2021). Improving the optical properties of SnO₂ nanoparticles through Ni doping by sol-gel technique. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4(December 2020). <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100079>

Khan, H., Khan, M. N., Khan, M., Iqbal, Y., Ahsan, S. M., & Ullah, H. (2025). Structural , optical , electrical and photocatalytic properties Ce - doped - SnO₂ nanoparticles for photoelectrochemical applications. *Journal of Materials Science: Materials in Engineering*. <https://doi.org/10.1186/s40712-025-00220-z>

Kim, B. N., Seo, G. K., Hwang, S. W., Yu, H., Ahn, B., Seo, H., & Cho, I. S. (2018). Photophysical properties and photoelectrochemical performances of sol-gel derived copper stannate (CuSnO₃) amorphous semiconductor for solar water splitting application. *Ceramics International*, 44(2), 1843–1849.

<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.10.119>

Kim, W. J., Lee, S. W., & Sohn, Y. (2015). Metallic Sn spheres and SnO₂@C core-shells by anaerobic and aerobic catalytic ethanol and CO oxidation reactions over SnO₂ nanoparticles. *Scientific Reports*, 5(February), 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep13448>

Kishore, K., & Gupta, N. (2020). Materials Today : Proceedings Application of domestic & industrial waste materials in concrete : A review. *Materials Today: Proceedings*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.604>

Konstantinou, I. K., & Albanis, T. A. (2004). TiO₂-assisted photocatalytic degradation of azo dyes in aqueous solution: Kinetic and mechanistic investigations: A review. *Applied Catalysis B: Environmental*, 49(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2003.11.010>

Kumar, A., Kumar, N., Chitkara, M., & Dhillon, G. (2022). Physicochemical investigations of structurally enriched Sm³⁺ substituted SnO₂ nanocrystals. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 33(8), 5283–5296. <https://doi.org/10.1007/s10854-022-07716-w>

Kumar, A., Jain, K., Maan, D., Jain, S. K., & Tripathi, B. (2026). *Sol-Gel synthesis of transition metal (Mn , Fe) doped Tin oxide (SnO 2) nanoparticles with improved photocatalytic activity under visible light irradiation.*

Liao, R., Han, J., Chen, Z., Wang, J., & Wu, H. (2022). *RSC Advances Facile solvothermal synthesis of nitrogen-doped SnO 2 nanorods towards enhanced photocatalysis.* 28629–28636. <https://doi.org/10.1039/d2ra04900g>

- Liu, Y. J., & Zeng, T. W. (2023). Evaluation of the effects of synthesis conditions on the crystallite size of SnO₂ nanoparticles via the Taguchi method. *Inorganic Chemistry Communications*, 156(August), 111257. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.111257>
- Long, L. Y., Weng, Y. X., & Wang, Y. Z. (2018). Cellulose aerogels: Synthesis, applications, and prospects. *Polymers*, 8(6), 1–28. <https://doi.org/10.3390/polym10060623>
- Lucky, R. A., Sui, R., Lo, J. M. H., & Charpentier, P. A. (2010). Effect of solvent on the crystal growth of one-dimensional ZrO₂.TiO₂ nanostructures. *Crystal Growth and Design*, 10(4), 1598–1604. <https://doi.org/10.1021/cg901145d>
- Manikandan, K., Dhanuskodi, S., Thomas, A. R., Maheswari, N., Muralidharan, G., & Sastikumar, D. (2016). Size-strain distribution analysis of SnO₂ nanoparticles and their multifunctional applications as fiber optic gas sensors, supercapacitors and optical limiters. *RSC Advances*, 6(93), 90559–90570. <https://doi.org/10.1039/c6ra20503h>
- M Kalyani, J. (2023). Basics of Semiconductors. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 12(1), 412–414. <https://doi.org/10.21275/sr23108155624>
- Mishra, P. K., Biswal, S. K., & Sahu, D. (2022). Synthesis and photocatalytic activity of Ni doped SnO₂ nanoparticles for removal of toxic industrial dyes. *Materials Today: Proceedings*, 68, 80–84. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.06.104>
- Mohammed, A., & Abdullah, A. (2018). *SCANNING ELECTRON MICROSCOPY*

(SEM): A REVIEW. 77–85.

- Mugundan, S., Rajamannan, B., Viruthagiri, G., Shanmugam, N., Gobi, R., & Praveen, P. (2015). Synthesis and characterization of undoped and cobalt-doped TiO₂ nanoparticles via sol–gel technique. *Applied Nanoscience (Switzerland)*, 5(4), 449–456. <https://doi.org/10.1007/s13204-014-0337-y>
- Murali, K. V., & Remadevi, T. L. (2021). Rapid Synthesis of SnO₂ Thin Films using Monoethanolamine through Wet Chemical Route. *Indian Journal of Science and Technology*, 14(19), 1565–1573. <https://doi.org/10.17485/ijst/v14i19.462>
- Ning, T., Ji, F., Ma, J., Song, Z., Pei, X., & Tan, Y. (2009). Study on fabrication and properties of copper-tin-oxide thin films. *Advanced Materials Research*, 79–82, 787–790. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.79-82.787>
- Ningsih, S. K. W. (2017). SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL ZnO DOPED Cu²⁺ MELALUI METODA SOL-GEL. *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 18(02), 39–51. <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol18-iss02/51>
- Ningsih, S. K. W., Sanjaya, H., Bahrizal, Nasra, E., & Yurnas, S. (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. *Indonesian Journal of Chemistry*, 21(3), 564–574. <https://doi.org/10.22146/ijc.57077>
- Niu, Z., & Li, Y. (2014). Removal and utilization of capping agents in nanocatalysis. *Chemistry of Materials*, 26(1), 72–83. <https://doi.org/10.1021/cm4022479>
- Oh, Y., Song, S., & Bae, J. (2024). A Review of Bandgap Engineering and

- Prediction in 2D Material Heterostructures: A DFT Perspective. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(23).
<https://doi.org/10.3390/ijms252313104>
- Palanichamy, S., Mohamed, J. R., Kumar, P. S. S., Pandiarajan, S., & Amalraj, L. (2018). Physical properties of nebulized spray pyrolysed SnO₂ thin films at different substrate temperature. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 124(9), 0. <https://doi.org/10.1007/s00339-018-2065-8>
- Parashar, M., Shukla, V. K., & Singh, R. (2020). Metal oxides nanoparticles via sol–gel method: a review on synthesis, characterization and applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(5), 3729–3749.
<https://doi.org/10.1007/s10854-020-02994-8>
- Park, S. (1997). *n o v e r v i e w o f s e m i c o n d u c t o r p h o t o c a t a l y s i s i s . 6030(97)*
- Patel, G. H., Chaki, S. H., Kannaujiya, R. M., Parekh, Z. R., Hirpara, A. B., Khimani, A. J., & Deshpande, M. P. (2021). Sol-gel synthesis and thermal characterization of SnO₂ nanoparticles. *Physica B: Condensed Matter*, 613(March). <https://doi.org/10.1016/j.physb.2021.412987>
- Pisula, W. (2023). Inorganic Semiconductors in Electronic Applications. *Electronic Materials*, 4(3), 136–138. <https://doi.org/10.3390/electronicmat4030011>
- Qi, Z., Wang, K., Jiang, Y., Zhu, Y., Chen, X., Tang, Q., Ren, Y., Zheng, C., Gao, D., & Wang, C. (2019). Preparation and characterization of SnO₂–x/GO composite photocatalyst and its visible light photocatalytic activity for self-cleaning cotton fabrics. *Cellulose*, 26(16), 8919–8937.
<https://doi.org/10.1007/s10570-019-02662-z>

- Raju, P., & Li, Q. (2022). Review—Semiconductor Materials and Devices for Gas Sensors. *Journal of The Electrochemical Society*, 169(5), 057518. <https://doi.org/10.1149/1945-7111/ac6e0a>
- Ragupathy, S., & Sathya, T. (2018). Photocatalytic decolourization of brilliant green by Ni doped SnO₂ nanoparticles. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(10), 8710–8719. <https://doi.org/10.1007/s10854-018-8886-6>
- Rahaman, S., Abushad, M., Naseem, S., Arshad, M., Husain, S., Varshney, R. K., & Khan, W. (2020). Unravelling the effect of Ni doping on the structural, optical and dielectric properties of nanocrystalline SnO₂. *Chinese Journal of Physics*, 66(March), 543–552. <https://doi.org/10.1016/j.cjph.2020.05.017>
- Rodríguez-Dorado, R., López-Iglesias, C., García-González, C. A., Auriemma, G., Aquino, R. P., & Del Gaudio, P. (2019). Design of aerogels, cryogels and xerogels of alginate: Effect of molecular weight, gelation conditions and drying method on particles' micromeritics. *Molecules*, 24(6), 4–6. <https://doi.org/10.3390/molecules24061049>
- Sadik, W., El-demerdash, A. M., Nashed, A. W., & Mostafa, A. A. (2024). *Synthesis and investigation of optical properties and enhancement photocatalytic activity of TiO₂ – SnO₂ semiconductor for degradation of organic compounds*. vi, 1–23.
- Sajad Jolaei , Mortaza Mirzaei , Akbar Hassanpour , Hossein Safardoust-Hojaghan, A. K. (2022). *Using ZnO , NiO , and ZnO / NiO as Nano Photocatalyst for Removal of Acid Violet and Rhodamine B from Wastewater*. 12(3), 761–770.

<https://doi.org/10.22052/JNS.2022.03.029>

Sanjaya, H. (2018). DEGRADASI METIL VIOLET MENGGUNAKAN KATALIS ZnO-TiO₂ SECARA FOTOSONOLISIS. *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 19(1), 91–99. <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol19-iss1/131>

Sanjaya, H. (2024). Pengaruh Penambahan Monoethanolamine (MEA) Sebagai Aditif Dalam Sintesis dan Karakterisasi Lapisan Tipis Tembaga (II) Oksida (CuO). *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8, 9233–9238. <https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/13787>

Setiabudi, A., Hardian, R., & Muzakir, A. (2012). Karakterisasi Material ; Rifan Hardian. In *UPI Press*.

Shabna, S., Dhas, S. S. J., & Biju, C. S. (2023). Potential progress in SnO₂ nanostructures for enhancing photocatalytic degradation of organic pollutants. *Catalysis Communications*, 177(March), 106642. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2023.106642>

Shakeel, N., Piwoński, I., Kisielewska, A., Krzywiecki, M., Batory, D., & Cichomski, M. (2024). Morphology-Dependent Photocatalytic Activity of Nanostructured Titanium Dioxide Coatings with Silver Nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(16). <https://doi.org/10.3390/ijms25168824>

Shehata, F., Abdelhameed, M., Fathy, A., & Elmahdy, M. (2011). Preparation and Characteristics of Cu-Al₂O₃ Nanocomposite. *Open Journal of Metal*, 01(02), 25–33.

<https://doi.org/10.4236/ojmetal.2011.12004>

Shimizu, W., Nakamura, S., Sato, T., & Murakami, Y. (2012). Creation of high-refractive-index amorphous titanium oxide thin films from low-fractal-dimension polymeric precursors synthesized by a sol-gel technique with a hydrazine monohydrochloride catalyst. *Langmuir*, 28(33), 12245–12255. <https://doi.org/10.1021/la3015139>

Singh, S. J., & Chinnamuthu, P. (2021). 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. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.126864>

Subbarao, P., Aparna, Y., & Chitturi, K. L. (2019). Synthesis and characterization of Ni doped SnO₂ nanoparticles by sol-gel method for novel applications. *Materials Today: Proceedings*, 26(XXXX), 1676–1680. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.353>

Sumaya, M. U., Maria, K. H., Toma, F. T. Z., Zubair, M. A., & Chowdhury, M. T. (2023). Effect of stabilizer content in different solvents on the synthesis of ZnO nanoparticles using the chemical precipitation method. *Heliyon*, 9(10), e20871. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20871>

Suresh, B. N., Reddy, B. S. V., Gloridoss, R. G., & Rajendiran, A. S. (2012). Production performance of layer chicken fed diets containing sugarcane press residue. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 12(2), 257–263. <https://doi.org/10.5829/idosi.ijee.2013.04.01>

Sze, S. M., & Ng, K. K. (2006). Physics of Semiconductor Devices: Third Edition. In *Physics of Semiconductor Devices: Third Edition*.

<https://doi.org/10.1002/9780470068328>

Tran, T. N. L., Szczurek, A., Lukowiak, A., & Chiasera, A. (2022). A review on rare-earth activated SnO₂-based photonic structures: Synthesis, fabrication and photoluminescence properties. *Optical Materials: X*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.omx.2022.100140>

Wang, B., Biesold, G. M., Zhang, M., & Lin, Z. (2021). Amorphous inorganic semiconductors for the development of solar cell, photoelectrocatalytic and photocatalytic applications. *Chemical Society Reviews*, 50(12), 6914–6949. <https://doi.org/10.1039/d0cs01134g>

Welz, P. J. (2024). Biosand Reactors for Municipal and Industrial Wastewater Treatment: Status Quo, Challenges and Opportunities. *Processes*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/pr12040641>

Woignier, T., & Duffours, L. (2018). Densification and strengthening of aerogels by sintering heat treatments or plastic compression. *Gels*, 4(1), 1–9. <https://doi.org/10.3390/gels4010012>

Yu, C. H., Tam, K., & Tsang, E. S. C. (2008). Chapter 5 Chemical Methods for Preparation of Nanoparticles in Solution. *Handbook of Metal Physics*, 5, 113–141. [https://doi.org/10.1016/S1570-002X\(08\)00205-X](https://doi.org/10.1016/S1570-002X(08)00205-X)