

**SINTESIS, KARAKTERISASI, DAN OPTIMASI PROSES
FOTOKATALITIK TiO₂/NANOSELULOSA DARI PELEPAH
POHON SALAK PADA DEGRADASI *METHYL ORANGE***

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagai persyaratan

Mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Kimia



Oleh:

Endah Sulityaningsih

21106030018

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI KIMIA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2026

PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-545/Un.02/DST/PP.00.9/03/2026

Tugas Akhir dengan judul : SINTESIS, KARAKTERISASI, DAN OPTIMASI PROSES FOTOKATALITIK
TiO₂/NANOSELULOSA DARI PELEPAH POHON SALAK PADA DEGRADASI
METHYL ORANGE

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : ENDAH SULISTYANINGSIH
Nomor Induk Mahasiswa : 21106030018
Telah diujikan pada : Jumat, 30 Januari 2026
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang
Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc
SIGNED

Valid ID: 69af7b792564f



Penguji I
Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S.Si. M.Si.
SIGNED

Valid ID: 69ac5b5db55b9



Penguji II
Karmanto, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 69af7e6220c6f



Yogyakarta, 30 Januari 2026
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 69af8ab4f2f6e

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Endah Sulistyaningsih
NIM : 21106030018
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **"SINTESIS, KARAKTERISASI, DAN OPTIMASI PROSES FOTOKATALITIK $\text{TiO}_2/\text{NANOSELULOSA}$ PADA DEGRADASI METHYL ORANGE"** merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 27 Januari 2026



Endah Sulistyaningsih
21106030018

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lamp :

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Endah Sulistyaningsih

NIM : 21106030018

Judul Skripsi : Sintesis, Karakterisasi, dan Optimasi Proses Fotokatalitik TiO_2 /Nanoselulosa dan Pelelepah Pohon Salak pada Degradasi *Methyl Orange*

Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 27 Januari 2026

Pembimbing



Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc

NIP: 19811111 201101 1 007

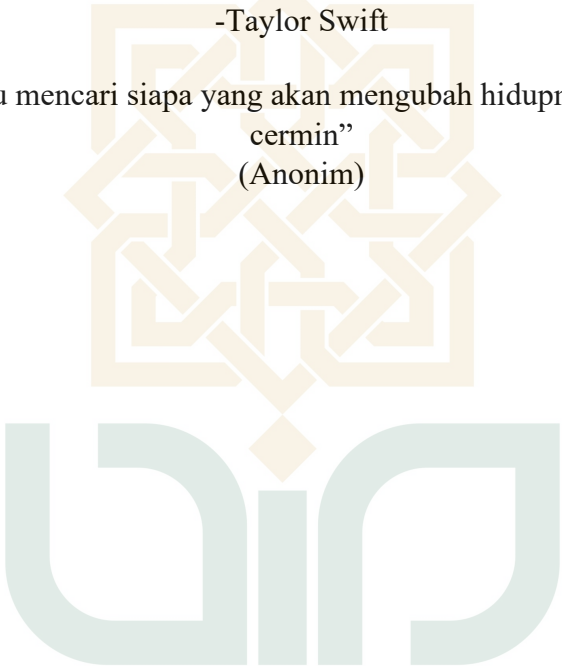
HALAMAN MOTTO

“Jika Bukan Karena Allah yang Memampukan, Aku Mungkin Sudah Lama Menyerah”

“Life can be heavy, especially if you try to carry it all at once. Part of growing up and moving into new chapters of your life is about catch and release”

-Taylor Swift

“Jika kamu mencari siapa yang akan mengubah hidupmu, lihatlah di cermin”
(Anonim)



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tiada lembar skripsi yang paling indah dalam laporan skripsi ini kecuali lembar persembahan, Bismillahirrahmanirrahim skripsi ini saya persembahkan untuk:

Allah SWT yang telah memberikan kemudahan dan pertolongan sehingga saya bisa menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Kedua orang tua tercinta Ayah Sutarji dan Ibunda Muattiroh yang selalu melangitkan doa-doa baik dan memberikan dukungan moril maupun materil untuk saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Terimakasih telah mengantarkan saya sampai di titik ini. Saya persembahkan karya tulis sederhana dan gelar untuk Ayah dan Ibun.

Diri saya sendiri, Endah Sulistyaningsih karena telah mampu berusaha dan berjuang sejauh ini. Mampu mengendalikan diri walaupun banyak tekanan dari luar keadaan dan tidak memutuskan untuk menyerah sesulit apapun proses penyusunan skripsi ini.

Untuk almamater tercinta
Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil ‘alamin, puji Syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan Rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi tugas akhir dari awal penelitian hingga penyusunan skripsi yang berjudul “SINTESIS, KARAKTERISASI, DAN OPTIMASI PROSES FOTOKATALITIK TiO₂/NANOSELULOSA DARI PELEPAH POHON SALAK PADA DEGRADASI METHYL ORANGE” yang dilaksanakan di Laboratorium Kimia Universitas Islam Indonesia dan laboratorium Terpadu Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta. Skripsi ini disusun sebagai bentuk pertanggungjawaban tertulis atas terselesainya penelitian tugas akhir sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Sains bidang Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung sehingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan. Ucapan terima kasih tersebut secara khusus penyusun sampaikan kepada:

1. Bapak Prof. Noorhaidi, M.A, M.Phil., Ph.D. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Prof. Dr. Hj. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
3. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga.
4. Bapak Didik Krisdiyanto, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing, mengarahkan, dan memberi motivasi penyusun dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Seluruh dosen Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan pengejaran selama dibangku perkuliahan.
6. Segenap PLP Laboratorium UIN Sunan Kalijaga dan PLP Laboratorium Universitas Islam Indonesia yang telah membantu penulis selama penelitian, serta banyak memberikan semangat kepada penulis.
7. Cinta pertama sekaligus panutan hidupku Ayahanda Sutarji dan pintu surgaku Ibunda Muattiroh. Terimakasih atas cinta yang tak

bertepi dan pengorbanan yang tak terhingga. Meski beliau tak sempat merasakan bangku perkuliahan, namun beliau telah memberikan segalanya hingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai meraih gelar sarjana. Penulis percaya doa-doa beliau lah yang selalu menyelamatkan dan menuntun penulis melewati masa-masa sulit selama menempuh studi. Tak lupa kepada kakak Efa Nurdiana S.Pd dan adik Erlina Aprilia Renata yang selalu menjadi pelita semangat dalam setiap langkah, serta seluruh keluarga besar yang senantiasa memberikan doa dan dukungan.

8. Teman seperjuangan Dewi, Nurul, Maria, Yuda, Nian, anggota grup bocah prik, serta anggota grup komputasi. Terimakasih telah kebersamai penulis, saling menguatkan, dan berbagi tawa serta air mata dari awal perkuliahan hingga akhir. Tanpa mereka mungkin langkah ini tak akan pernah sampai sejauh ini.
9. Teman 24/7 Nias dan Sofi atas kebersamaan yang terjalin selama ngekos di Kos Putri Cempaka. Terimakasih atas suka duka, nasihat, uluran tangan, serta bahu yang saling menguatkan dalam setiap proses yang penuh tantangan ini.
10. Teman penelitian Dina serta teman seimbang. Terimakasih atas kebersamaan selama proses penelitian yang penuh tantangan ini. Perjalanan kita memang tidak mudah tetapi yakinlah pasti akan sampai dimana kita bisa menghela nafas lega karena tetap berjuang sampai akhir dan bangkit dari berbagai tantangan dan kesulitan yang dihadapi.
11. Banyak pihak yang tak mampu penulis sebutkan satu per satu, namun setiap jejak kebaikan dan doa tulus yang hadir di sepanjang proses ini adalah bagian penting yang tak akan bisa tergantikan.
12. Terakhir, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada diri sendiri. Terima kasih telah bertahan sejauh ini. Untuk setiap malam yang dihabiskan dalam kelelahan, setiap pagi yang disambut dengan keraguan namun tetap dijalani, serta setiap ketakutan yang berhasil dilawan dengan keberanian. Terima kasih kepada hati yang tetap ikhlas, meski tidak semua hal berjalan sesuai harapan. Terima kasih kepada jiwa yang kuat, meski berkali-kali hampir menyerah. Terima kasih kepada raga yang terus melangkah, meski lelah sering kali tak terlihat. Penulis bangga kepada diri sendiri yang telah mampu melewati berbagai fase sulit dalam kehidupan ini.

Semoga kedepannya raga ini tetap kuat, tetap tegar, dan tetap lapang dalam menghadapi setiap proses kehidupan. Mari terus bekerja sama untuk tumbuh dan berkembang menjadi pribadi yang lebih baik dari hari ke hari.

Semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi mahasiswa Program Studi Kimia. Penyusun menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan ini. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun sehingga dapat memperbaiki Kembali penulisan laporan ini yang diharapkan dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Yogyakarta 2 Februari 2026

Penyusun



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR.....	iv
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Batasan Masalah	4
C. Rumusan Masalah	4
D. Tujuan Penelitian.....	5
E. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	7
A. Tinjauan Pustaka	7
B. Landasan Teori	11
1. Fotokatalis	11
2. Nanokomposit TiO_2	12
3. Nanoselulosa Pelelepah Pohon Salak.....	14
4. Metode Sol-Gel	15
5. Zat Warna Methyl Orange.....	16
6. UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy	17
7. Fourier Transform Infrared Spectroscopy	19
8. X-Ray Diffraction.....	20
9. Response Surface Methodology	22
10. Kinetika Reaksi	23
C. Kerangka Berpikir dan Hipotesis Penelitian	25
BAB III METODE PENELITIAN	28
A. Waktu dan Tempat Penelitian	28
B. Alat-alat Penelitian	28
C. Bahan-bahan Penelitian	28
D. Cara Kerja Penelitian.....	29

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
A. Sintesis TiO ₂ /Nanoselulosa.....	36
B. Karakterisasi FTIR Nanoselulosa dan TiO ₂ /Nanoselulosa.....	37
C. Karakterisasi XRD Nanoselulosa dan TiO ₂ /Nanoselulosa.....	41
D. Karakterisasi UV-Vis DRS Pita TiO ₂ /Nanoselulosa.....	46
E. Kinetika Reaksi Fotodegradasi TiO ₂ /Nanoselulosa	50
F. Pengaruh Berat Katalis pada Fotodegradasi Zat Warna <i>Methyl Orange</i>	53
G. Pengaruh Suhu pada Fotodegradasi Zat Warna <i>Methyl Orange</i>	55
H. Optimasi Fotodegradasi Zat Warna <i>Methyl Orange</i>	59
BAB V PENUTUP	64
A. KESIMPULAN	64
B. SARAN.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	66
LAMPIRAN	78
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	88



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mekanisme Fotokatalis (Zainul et al,2020).....	11
Gambar 2. 2 Tingkat Energi Bandgap dari Semikonduktor Logam Oksida (Miyake et al, 2015).....	12
Gambar 2. 3 Jenis-jenis Struktur TiO ₂ (Kaur & Singh, 2019).....	13
Gambar 2. 4 Ilustrasi skema interaksi antara gugus hidroksil nanoselulosa dan nanopartikel TiO ₂ dalam membraan nanokomposit	14
Gambar 2. 5 Struktur Nanoselulosa (Ratnawati et al, 2023).....	15
Gambar 2. 6 Tahapan Metode Sol-Gel (Liza et al, 2018)	16
Gambar 2. 7 Struktur Methyl Orange.....	17
Gambar 2. 8 Skema Alat Speedometer Inframerah (Dachriyanus, 2004)	19
Gambar 4. 1 (a) Setelah perlakuan basah, (b) Setelah bleaching, (c) Setelah hidrolisis asam, (d) Nanokomposit TiO ₂ /Nanoselulosa (Sari & Maharani, 2025).....	37
Gambar 4. 2 Spektra FTIR Nanoselulosa & TiO ₂ /Nanoselulosa.....	38
Gambar 4. 3 Difaktogram XRD Nanoselulosa & TiO ₂ /Nanoselulosa	42
Gambar 4. 4 Spektrum Reflektansi TiO ₂ /nanoselulosa.....	47
Gambar 4. 5 Spektrum Energi Aktivasi TiO ₂ /nanoselulosa	48
Gambar 4. 6 Grafik Orde Reaksi Satu.....	51
Gambar 4. 7 Grafik Orde Reaksi Dua	51
Gambar 4. 8 Grafik Fotodegradasi Methyl Orange dengan Variasi Massa.....	53
Gambar 4. 9 Diagram Peningkatan Konstanta Laju Reaksi	54
Gambar 4. 10 Grafik Arrhenius	58
Gambar 4. 11 Grafik 3D Hubungan antara Massa dan Waktu terhadap Respon dari Metode Respon Surface Methodology.....	63

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Tabel eksperimen optimasi fotodegradasi methyl orange..	33
Tabel 4. 1 Analisis Spektra FTIR TiO ₂ /nanoselulosa.....	39
Tabel 4. 2 Puncak Utama 2θ Nanoselulosa & TiO ₂ /Nanoselulosa.....	45
Tabel 4. 3 Kenaikan Konstanta laju reaksi pada variasi masa.....	54
Tabel 4. 4 Nilai untuk menentukan energi aktivasi	58
Tabel 4. 5 Nilai variabel terkode untuk menentukan hasil optimum...	62



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Karakterisasi Nanoselulosa & TiO ₂ /Nanoselulosa.....	78
Lampiran 2 Ukuran Kristal dan Kristalinitas Nanoselulosa & TiO ₂ /Nanoselulosa.....	80
Lampiran 3 Kinetika Reaksi Fotokatalis	81
Lampiran 4 Penentuan Nilai Optimasi Fotodegradasi Methyl Orange	82
Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian	85



ABSTRAK

SINTESIS, KARAKTERISASI, DAN OPTIMASI PROSES FOTOKATALITIK TiO₂/NANOSELULOSA DARI PELEPAH POHON SALAK PADA DEGRADASI *METHYL ORANGE*

Oleh:

Endah Sulistyaningsih

21106030018

Pembimbing:

Didik Krisdiyanto_S.Si., M.Sc

Penelitian ini dilakukan untuk mensintesis, mengkarakterisasi, dan mengoptimasikan hasil fotodegradasi *Methyl Orange* dengan menggunakan nanokomposit TiO₂/Nanoselulosa. Katalis disintesis melalui tahapan isolasi α -selulosa dari pelepah pohon salak yang kemudian disintesis menggunakan metode *sol-gel* dengan mencampurkan TiO₂ dengan nanoselulosa untuk menghasilkan nanokomposit sebagai katalis dalam fotodegradasi *methyl orange*. Sintesis TiO₂/Nanoselulosa berhasil dilakukan dan menghasilkan rendemen selulosa sebesar 29,5%. Karakterisasi dalam penelitian ini menggunakan instrumen *Fourier Transform Infra-Red*, *X-ray Diffraction*, dan *UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy*. Hasil Pengujian menggunakan *Fourier Transform Infra-Red* terlihat adanya puncak khas nanoselulosa pada Panjang gelombang 1157-11330 nm sedangkan puncak khas TiO₂/Nanoselulosa pada panjang gelombang 547 nm. Berdasarkan hasil *X-ray Diffraction* menunjukkan ukuran kristal nanoselulosa dan TiO₂/Nanoselulosa 6,4 nm dan 10,8 nm, serta didapatkan kristalinitas sebesar 64% dan 80%. Sedangkan dari hasil *UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy* dihasilkan band gap sebesar 3,15 eV. Fotodegradasi *methyl orange* dilakukan menggunakan variasi waktu (15, 30, 45, 60, 75, dan 90 menit), massa katalis (0,01 g, 0,02 g, dan 0,03 g), serta suhu (30°C, 40 °C, dan 50 °C) dengan penyinaran UV-Vis. Berdasarkan pengujian UV-Vis didapatkan hasil optimum degradasi *methyl orange* pada massa katalis 0,03 g, suhu 50 °C, dengan waktu 90 menit. Penelitian ini menunjukkan bahwa nanokomposit TiO₂/Nanoselulosa efektif digunakan sebagai katalis dalam fotodegradasi *methyl orange*.

Kata Kunci : *TiO₂, TiO₂/Nanoselulosa, metode sol-gel, katalis, fotodegradasi*

ABSTRACT

SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND OPTIMIZATION OF THE PHOTOCATALYTIC PROCESS OF TiO₂/NANOCELLULOSE FROM SALAK FRONDS IN THE DEGRADATION OF *METHYL ORANGE*

Oleh:

Endah Sulistyaningsih

211060300018

Pembimbing:

Didik Krisdiyanto, M.Sc

This study was conducted to synthesize, characterize, and optimize the results of Methyl Orange photodegradation using TiO₂/Nanocellulose nanocomposite. The catalyst was synthesized through the stages of α -cellulose isolation from snake fruit fronds which were then synthesized using the sol-gel method by mixing TiO₂ with nanocellulose to produce nanocomposite as a catalyst in *methyl orange* photodegradation. The synthesis of TiO₂/Nanocellulose produced a yield of 29.5%. Characterization in this study used *Fourier Transform Infra-Red*, *X-ray Diffraction*, and *UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy* instruments. The results of the test using *Fourier Transform Infra-Red* showed a typical peak of nanocellulose at a wavelength of 1157-11330 nm while the typical peak of TiO₂/Nanocellulose was at a wavelength of 547 nm. Based on the results of *X-ray Diffraction*, the crystal size of nanocellulose and TiO₂/Nanocellulose was 6.4 nm and 10.8 nm, and the crystallinity was 64% and 80%. Meanwhile, the results of *UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy* produced a band gap of 3.15 eV. Photodegradation of methyl orange was carried out using variations in time (15, 30, 45, 60, 75, and 90 minutes), catalyst mass (0.01 g, 0.02 g, and 0.03 g), and temperature (30°C, 40 °C, and 50 °C) with UV-Vis irradiation. Based on the UV-Vis test, the optimum results of methyl orange degradation were obtained at a catalyst mass of 0.03 g, a temperature of 50 oC, and a time of 90 minutes. This study shows that TiO₂/Nanocellulose nanocomposite is effective as a catalyst in the photodegradation of *methyl orange*.

Keywords: *TiO₂, TiO₂/nanocellulose, sol-gel method, catalyst, photodegradation*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Limbah merupakan salah satu masalah krusial dalam konteks lingkungan dan kesehatan masyarakat. Limbah cair, terutama limbah tekstil menjadi masalah yang cukup signifikan karena mengandung senyawa organik dan anorganik yang dapat menyebabkan kualitas air menurun (Miyake *et al*, 2015). Salah satu bahan kimia berbahaya dari limbah tekstil adalah pewarna *methyl orange*. *Methyl orange* merupakan zat warna azo karsinogenik yang larut dalam air dan banyak digunakan dalam pewarnaan kain, pembuatan kertas cetak, dan laboratorium penelitian (Sejie & Nadiye 2016). Ketika masuk ke dalam air, zat warna methyl orange dapat menyebabkan berkurangnya serapan dari cahaya matahari sehingga proses fotosintesis dapat terganggu. Selain itu, sifat toksik, mutagenetik, dan karsinogenik dari methyl orange dapat menyebabkan efek kesehatan jangka panjang bagi makhluk hidup (Suryani, L, 2021). Oleh karena itu, diperlukan metode alternatif yang dapat mempercepat penguraian limbah zat warna. Salah satu metode alternatif yang mudah diterapkan adalah metode fotodegradasi zat warna dari limbah tekstil menggunakan fotokatalis.

Fotokatalis didefinisikan sebagai suatu proses transformasi kimia dengan bantuan energi cahaya dan material katalis. Dalam pengolahan air, fotokatalis akan mengubah energi cahaya menjadi energi kimia sehingga menghasilkan radikal

hidroksil yang akan bereaksi dengan senyawa organik. Hal itu menyebabkan air akan kembali jernih karena terpisahkan dari limbah cair (Miyake *et al*, 2015). Teknologi fotokatalis telah banyak diterapkan dalam pemisahan air untuk memproduksi hidrogen dengan iradiasi cahaya. Selama beberapa dekade terakhir, perkembangan fotokatalis meningkat pesat karena keunggulannya dalam berbagai aplikasi yang bermanfaat bagi umat manusia. Selain itu, teknologi ini juga digunakan dalam pengolahan air limbah untuk mengurangi kontaminan dari limbah industri dan metode ini terbukti lebih efektif dibandingkan proses pengolahan air yang lain (Sadikin *et al*, 2023).

Material yang digunakan sebagai fotokatalis umumnya merupakan material semikonduktor, salah satunya yaitu TiO_2 . TiO_2 adalah material semikonduktor dengan pita valensi yang terisi elektron dan pita konduksi yang kosong dan dipisahkan oleh celah yang dikenal sebagai band gap. Karakteristik ini memungkinkan material tersebut dapat menyerap energi radiasi sesuai dengan ukuran celah pita yang dimilikinya, sehingga meningkatkan kepekaan terhadap reaksi oksidasi dan reduksi yang diinduksi oleh cahaya (Hoffman *et al*, 1995). Penggunaan TiO_2 dapat berfungsi sebagai fotokatalis untuk berbagai aplikasi seperti pemurnian udara, air, anti mikroba self cleaning, degradasi polutan, dan terapi kanker. Proses ini melibatkan elektron, hole, dan radikal hidroksil yang dihasilkan dari proses fotokatalisis. Namun, dalam prosesnya penggunaan TiO_2 menjadi kurang efisien sebagai fotokatalis karena sulit diambil

kembali. Untuk itu, diperlukan modifikasi nanokomposit TiO_2 untuk mendegradasi zat warna organik dari limbah industri, salah satunya yaitu dengan pengembangan nanoselulosa (Winataputra & Yusuf 2014).

Nanoselulosa merupakan bahan yang sangat berpori, dimana sebagai kandidat yang baik untuk bahan penyangga dari TiO_2 . Ikatan kovalen antara nanopartikel TiO_2 dan rantai selulosa akan membentuk nanokomposit yang kompatibel sehingga dapat meningkatkan kekakuan rantai polimer (Rathoda *et al*, 2018). Nanoselulosa dapat diperoleh dari isolasi bahan seperti tandan kelapa sawit, pelepah pohon salak, jerami, dan gandum (Ratnawati *et al*, 2023). Penelitian tentang nanoselulosa, terutama dari pelepah pohon salak saat ini telah banyak berkembang dan diaplikasikan sebagai fotokatalis untuk mendegradasi zat warna organik dari limbah industri. Nanoselulosa dari pelepah pohon salak dapat diperoleh dari proses hidrolisis dan dikaji menggunakan asam dan dikaji dari segi dimensi skala ukuran, tinggi kekuatan spesifik dan modulus serta tinggi daerah permukaannya (Habibi *et al*, 2010).

Penelitian yang dilakukan Toro *et al* (2022) telah berhasil mendegradasi zat warna methyl orange menggunakan TiO_2 -Nanoselulosa dengan hasil degradasi hampir 99% dalam waktu 180 menit penyinaran UV. Hal ini membuktikan bahwa aplikasi nanokomposit TiO_2 dengan nanoselulosa dapat meningkatkan stabilitas, sifat fotokatalitik, dan hidrofilik TiO_2 . Maka dari itu, masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah seberapa besar pengaruh nanokomposit berbasis

nanoselulosa TiO_2 dari pelepah pohon salak dalam mendegradasi limbah cair *methyl orange*. Selain itu, juga dilakukan optimasi fotodegradasi *methyl orange* menggunakan nanokomposit TiO_2 /Nanoselulosa.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Prekursor dalam sintesis nanokomposit TiO_2 /nanoselulosa adalah titanium dioksida (TiO_2)
2. Sintesis nanokomposit TiO_2 /nanoselulosa menggunakan pengemban nanoselulosa dari pelepah pohon salak yang diisolasi menggunakan metode hidrolisis asam.
3. Sintesis nanokomposit TiO_2 /nanoselulosa menggunakan metode *sol-gel*.
4. Karakterisasi sintesis nanokomposit TiO_2 /nanoselulosa menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*, dan *X-Ray Diffraction*, dan *UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy*.
5. Nanokomposit TiO_2 /nanoselulosa digunakan untuk katalis dalam fotodegradasi zat warna *methyl orange* menggunakan variasi waktu, massa, dan suhu.
6. Optimasi fotodegradasi zat warna *methyl orange* dengan metode *Response Surface Methodology*.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik yang dihasilkan dari sintesis nanokomposit TiO_2 /nanoselulosa?

2. Bagaimana aktivitas katalis TiO_2 /nanoselulosa terhadap fotodegradasi zat warna *methyl orange* dengan variasi waktu, massa, dan suhu?
3. Bagaimana optimasi fotodegradasi zat warna *methyl orange* menggunakan nanokomposit TiO_2 /nanoselulosa?

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mensintesis dan mengkarakterisasi nanokomposit TiO_2 /nanoselulosa dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*, dan *X-Ray Diffraction*, dan *UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy*.
2. Menguji aktivitas katalis TiO_2 /nanoselulosa terhadap fotodegradasi zat warna *methyl orange* dengan variasi waktu, massa, dan suhu.
3. Menentukan optimasi fotodegradasi zat warna *methyl orange* menggunakan nanokomposit TiO_2 /nanoselulosa.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi terkait sintesis dan karakteristik nanokomposit TiO_2 /nanoselulosa dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*, dan *X-Ray Diffraction*, dan *UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy*.
2. Memberikan informasi terkait nanoselulosa pelepah pohon salak sebagai pengemban sintesis nanokomposit TiO_2 /nanoselulosa

3. Memberikan informasi terkait aktivitas fotokatalitik TiO_2 /nanoselulosa terhadap fotodegradasi zat warna *methyl orange*.
4. Memberikan informasi terkait kondisi optimal dalam fotodegradasi zat warna *methyl orange*



BAB V

PENUTUP

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut;

1. Sintesis TiO₂/Nanoselulosa berhasil dilakukan dan didapatkan rendemen sebesar 29,5%, didapatkan karakteristik gugus fungsi khas selulosa pada bilangan gelombang 1157-1330 cm⁻¹ dan TiO₂ pada bilangan gelombang 547 cm⁻¹ dengan ukuran kristal nanoselulosa dan TiO₂/Nanoselulosa 6,4 nm dan 10,8 nm, sehingga didapatkan kristalinitas sebesar 64% dan 80%, serta band gap sebesar 3,15 eV yang menunjukkan bahwa material komposit yang dihasilkan berpotensi digunakan sebagai fotokatalis dalam proses degradasi zat warna *methyl orange*.
2. Aktivitas fotokatalitik dari TiO₂/Nanoselulosa menunjukkan bahwa fotodegradasi *methyl orange* mengikuti model orde reaksi satu sehingga diperoleh energi aktivasi sebesar 70,9 kJ/mol.
3. Hasil optimasi fotodegradasi *methyl orange* menggunakan metode *Response Surface Methodology* diperoleh pada massa katalis 0,03 gram, suhu 50 °C, dan waktu reaksi 90 menit. Kondisi ini merepresentasikan keseimbangan optimum antara faktor kinetika reaksi dan efektivitas sistem fotokatalitik, sehingga menghasilkan laju reaksi fotodegradasi tertinggi.

B. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut dengan memodifikasi nanokomposit, seperti penambahan dopan atau variasi sumber selulosa, untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik terutama pada kondisi cahaya tampak.
2. Perlu dilakukan karakterisasi lanjutan menggunakan SEM (*Scanning Elektron microscope*) dan TEM (*Transmission Elektron Microscope*).
3. Pengujian aplikasi nanokomposit TiO_2 /nanoselulosa terhadap jenis zat warna lain atau limbah cair nyata industri tekstil disarankan untuk mengevaluasi potensi penerapan material ini pada skala yang lebih luas.
4. Penelitian lanjutan dapat mempertimbangkan penggunaan variasi intensitas cahaya dan pH larutan untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi proses fotodegradasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullahi, S. S., Guner, S., Koseoglu, Y., Musa, I. M., Adamu, B., I., & Abdulhamid, M. I. 2016. "Simple Method For The Determination Of Band Gap Of A Nanopowdered Sample Using Kubelka Munk Theory." *Journal Of The Nigerian Association Of Mathematical Physics* 35:12.
- Admojo, L., & Setyawan, B. 2018. "Potensi Pemanfaatan Lignoselulosa Dari Biomassa Kayu Karet (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg)." *Warta Perkaratan* 37 (1): 39–50.
- Agusyanti Anggraeni, Aulia Dewi Rosanti, Fahmi Hidayat. 2024. "Study Of The Influence Of Variations In Catalyst Mass On The Degradation Of Methyl Orange Dyes By ZnO/Kj-Ctab Under Uv-Led Illumination." *Jurnal Kimia & Pendidikan Kimia* 6 (1): 10–18.
- Al-Nuaim, M. A., Alwasiti, A. A., & Shnain, Z. 2023. "The Photocatalytic Process In The Treatment Of Polluted Water." *Chemical Papers* 77 (2): 667–701.
- Ayu, D. M. 2015. "Sintesis Nano TiO₂ Menggunakan Metode Sol-Gel Dengan Penambahan Peg Sebagai Antimikroba." In *Skripsi: Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang*.
- Aziz, M., & Saraswati, R. 2022. "Optimalisasi Parameter Mesin Cncmilling 3axis terhadap Waktu Produksi Dengan Menggunakan Response Surface Methodology." *Formosa Journal Of Applied Sciences (Fjas)* 1 (4): 293–304.
- Chaker, A., Alila, S., Mutje, P., Vilar, M. R., Dan Boufi, S. 2013. *Key Role Of The Hemicellulose Content And The Cell Morphology On The Nanofibrillation Effectiveness Of Cellulose Pulps*.
- Dachriyanus. 2004. *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*.
- Fathurrahman, Muhammad. 2024. "Fotodegradasi Metilen Biru Oleh Metal Organic Framework (Mof) Fe-Ptc Dengan Penambahan H₂O₂ Dan Dioptimasi Menggunakan Desain Box Behnken." *Jurnal Kartika Kimia* 6 (2): 131–44.
<https://doi.org/10.26874/jkk.v6i2.228>.

- Frasnawati, Eva, Anthoni, B. Aritonag, Dan Syahbanu. 2019. "Sintesis Dan Karakterisasi Tio₂/Ti Nanotube Menggunakan Metode Anodisasi." *Jurnal Kimia Khatulistiwa* 8 (2): 9–14.
- Habibi, Y., Lucia, L.A., Dan Rojas, O.J. 2010. *Cellulose Nanocrystals: Chemistry, Self-Assembly, And Applications*.
- Hendrawati, T. Y., Umar, E., Ramadhan, A. I., Sari, A. M., Salsabila, M., Suryani, R., Firmansyah., Dam Rahardja, I. B. 2023. "Sintesis Dan Karakterisasi Nanoselulosa Serbuk Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Ultrasonifikasi." *Jurnal Teknologi* 15 (1): 160–65.
- Hidayati, U. F., Aritonang, A. B., & Destiarti, L. 2021. "Tio₂-Rgo Composite For Photocatalytic Decolorization Of Methylene Blue Under The Visible Light Illumination." *Berkala Saintek* 9 (4): 167–73.
- Hoffman, M. R., Martin, S. T., Choi, W., & Bahremann, D. W. 1995. *Environmental Application Of Semiconductor Photocatalysis*.
- Imam, D. N. A., Purnama, R. B., & Purwasasmita, B. S. 2023. "Sintesis Dan Karakterisasi Nanoselulosa Sekam Padi Sebagai Bahan Pengikat Material Kedokteran Gigi." *Journal Of Densistry* 7 (2): 837–46.
- Isdin, O. 2010. *Nanoscience In Nature: Cellulose Nanocrystalsn*.
- Joglekar, A. M & May, A. T. 1987. *Product Excellence Through Design Of Experiments. Cereal Foods World*.
- Khuri, A. I., And Cornell, J. A. 1996. *Response Suerface: Design And Analysis*.
- Kimoto, A., & Shimada, S. 2012. "A Proposal Of Process Sensing Technique At Photocatalytic Degradation Sensors And Actuators A: Physical." In , 150–54.
- Li, J., Ma, W., Chen, C., Zhao, J., Zhu, H., Dan Gao, X. 2007. "Photodegradation Of Dye Pollutants On One-Dimensional Tio₂ Nanoparticles Under Uv And Visible Irradiation." *J. Mol. Cat. A: Chem* 261:131–38.
- Liu, Guqing, Xiang-Jun Pan, Jing Li, Cheng Li, Chen-Lu Ji. 2021.

- “Facile Preparation And Characterization Of Anatase Tio₂/Nanocellulose Composite For Photocatalytic Degradation Of Methyl Orange.” *Journal Of Saudi Chemical Society* 25:1–9.
- Loelovich, M. 2012. “Optimal Conditions For Isolation Of Nanocrystalline Cellulose Particles.” *Journal Nanoscience And Nanotechnology* 2 (9–13).
- Madjid, A. D. R., Nitsae, M., Atikah, & Sabarudin, A. 2015. “Pengaruh Penambahan Tripolyfosfat Pada Kitosan Beads Untuk Adsorpsi Methyl Orange.” *Jurnal Mipa* 38 (2): 144–49.
- Mahardiani, L, Saputro, S., & Ciptonugroho, W. 2024. *Nanopartikel Hematit Termodifikasi Biopolimer (Pemanfaatan Dalam Proses Adsorpsi Dan Fotokatalitik Zat Warna)*.
- Mahi, Dha. 2021. “Karakterisasi Dan Adsorpsi Zat Warna Methyl Orange Menggunakan Zeolit Alam Dengan Variasi Konsentrasi Hcl (Characterization And Adsorption Methyl Orange Dye Using Natural Zeolit With Variation Of Hcl Concentration).” In *Undergraduate Thesis, Faculty Of Science And Technology, Uin Maulana Malik Ibrahim*.
- Maulidawati, & Purnomo, A, S. 2014. “Biodegradasi Methyl Orange Oleh Jamur Pelapuk Coklat Daedalea Dickinsii.” *Jurusan Kimia, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh November* 2 (1): 1–4.
- Milawati, S., Syahbanu, I., Sasri, R. 2021. “Sintesis Komposit Tio₂-Sio₂ Menggunakan Metode Sol-Gel Hidrotermal.” *Jurnal Ilmu Dasar* 22 (1): 51.
- Miyake, Michiro; Takayuki Mano; Shunsuke Nishimoto; Yoshikazu Kameshima. 2015. “Water Treatment Efficacy Of Various Metal Oxide Semiconductors For Photocatalytic Ozonation Under Uv And Visible Light Irradiation.” 2015). *Water Treatment Efficacy Of Various Metal Oxide Semiconductors For Photocatalytic Ozonation Under Uv And Visible Light Irradiation. N. Chemical Engineering Journal* 264:221–29.
- Mon, I., Yerimadesi, & Hardeli. 2012. *Kimia Fisika (Kinetika Kimia)*.
- Nainggalon, E. A., & Amwar, D. 2023. “Optimasi Kondisi Blansir

- Terhadap Whitenes Index Tepung Umbi Kayu Menggunakan Response Surface Methodology (Rsm).” *Jurnal Pertanian Argoteknologi* 10 (6): 418–25.
- Nandanwar, Ruchi, Ahmad Umar Jyoti Bamne, Nitu Singh, Kajol Taiwade, Vivek Chandel, P. K. Sharma, Purnima Singh, And And Fozia Z. Haque. 2022. “Synthesis Of Titania-Silica Nanocomposite For Enhanced Photodegradation Of Methylene Blue And Methyl Orange Dyes Under Uv And Mercury Lights.” *Es Materials And Manufacturing* 16:78–88.
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadita, R. 2019. “How To Read And Interpret Ftir Spectroscopy Of Organic Material.” *Indonesian Journal Of Science & Technology* 4 (1): 97–118.
- Ningtyas, K. Rimadhanti., Muslihudin, M., & Sari, I. N. 2020. “Sintesis Nanoselulosa Dari Limbah Hasil Pertanian Dengan Menggunakan Variasi Konsentrasi Asam.” *Jurnal Pertanian Terapan* 20 (2): 142–47.
- Nurisnaini, R., Dan Maharani, D. K. 2024. “Nanopartikel Tio₂ Dari Ekstrak Daun Kemangi (Ocimum Sanctum) Untuk Degradasi Metilen Biru.” *Jurnal Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam, Kebumihan Dan Angkasa* 2 (3): 7–66.
- Pradipta, A. R., & Irunsa, A. 2022. “Synthesis Of Modified Tio₂ Nanocomposite Using Fe₃O₄ And Nickel As Photocatalyst In Reduction Of Silver.” *Indonesian Journal Of Chemical Studies* 1 (1): 8–12.
- Pratapa, S. 2009. *Difraksi Sinar-X Untuk Sidikjari Dalam Analisis Nanostruktur. Prosiding Seminar Nasional Hamburan Neutron Dan Sinar-X Ke 7*.
- Prayitno. 2007. *Kajian Kinetika Kimia Model Matematik Reduksi Kadmium Melalui Laju Reaksi, Konstanta Dan Orde Reaksi Dalam Proses Elektrokimia*.
- Rasyid, Ridho Arief Al, Sri Wardhani, And Siti Mutfrofin. 2021. “Fotodegradasi Metil Jingga Dengan Tio₂/Cu-Zeolit-Alginat Pada Sinar Uv.” *The Indonesian Green Technology Journal* 10:79–87.

- Rathoda, M., Pareshkumar, G., Moradeeyab, Soumya, H., & Shaik, B. 2018. "Nanocellulose/Tio2 Composites: Preparation, Characterization And Application In Photocatalytic Degradation Of A Potential Endocrine Disruptor Mefanamic Acid, From Aqueous Media." *Photochemical & Photobiological Sciences*, 1–25.
- Ratnawati, Kevin Gabryelle, Muhammad Fadil Alif Ramadhan, Wahyudin, Aniek Sri Handayani. 2023. "Sintesis Nanokomposit Berbasis Nanoselulosa-Tio2 Untuk Pengolahan Limbah Red Base 218." *Jurnal Iptek 7* (1): 51–57.
- Raturandang, R., Wenas, D. R., Mongan, S., Dan Bujung, C. 2022. "Analisis Spektroskopi Ftir Untuk Karakterisasi Kimia Fisik Fluida Mata Air Panas Di Kawasan Wisata Hutan Pinus Tomohon Sulawesi Utara." *Jurnal Fisika Dan Terapannya 3* (1): 28–33.
- Sadikin, S. N., Ridwan, J., Umar, M. I. A., Raub, A. A. M., Yunas, J., Hamzah, A. A., Dahlan, D., Rahman, M. Y. A., Dan Umar, A. A. 2023. "Photocatalytic Activity And Stability Properties Of Porous Tio2 Film As Photocatalyst For Methylene Blue And Methylene Orange Degradation." *International Journal Of Electrochemical Science*.
- Sejie, F. P., & Nadiye, M. S. T. 2016. "Removal Of Methyl Orange (Mo) From Water By Adsorption Onto Modified Local Clay (Kaolinite)." *Jurnal Physical Chemistry*, 6 (2): 39–48.
- Setiabudi, A., Hardian, R., Dan Muzakir, A. 2012. *Karakterisasi Material : Prinsip Dan Aplikasinya Dalam Penelitian Kimia*.
- Sharma, R., Bisen, D. P., And Sharma, B. G. 2012. "X-Ray Diffracton : A Powerful Method Of Characterizing Nanomaterials." *Recent Research In Science And Technology 4* (8): 77–79.
- Sitepu. 2016. "Sintesis Komposit Zno-Bentonit Dan Penggunaannya Dalam Proses Degradasi Methyl Orange." In , 153–60.
- Suryani, L., Sanjaya, H., Dan Yohandri. 2021. "Degradasi Zat Warna Methyl Orange Dengan Katalis Zno-Co Menggunakan Metode Fotosonolisis." *Chemistry Journal Of Universitas Negeri Padang 10* (2): 33–37.

- Sutanto, H & Wibowo, S. 2015. *Semikonduktor Fotokatalis Seng Oksida Dan Titania (Sintesis, Deposisi Dan Aplikasi)*.
- Toro, Roberta, G., Abeer, M. Adel, Tilde De Caro, Bruno Brunetti, Mona, T. Al-Shemy, And Daniella, C. 2022. "A Facile One-Pot Approach To The Fabrication Of Nanocellulose–Titanium Dioxide Nanocomposites With Promising Photocatalytic And Antimicrobial Activity." *Journal Materials* 15:5789.
- Triyastiti, L., & Krisdiyanto, D. 2017. "Isolasi Nanoselulosa Dari Pelepah Pohon Salak Sebagai Filler Pada Film Berbasis Polivinil Alkohol (Pva)." In *Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet Dan Plastik Ke-6*, 223–36.
- Wang, C., Yang, R., Wang, H. 2020. "Synthesis Of Zif-8/Fly Ash Composite For Adsorption Of Cu^{2+} , Zn^{2+} And Ni^{2+} From Aqueous Solutions." *Journal Materials* 13:214.
- Winataputra, D. S., & Yusuf, S. 2014. "Sintesis Komposit Fe_3O_4 - SiO_2 - TiO_2 Dan Aplikasinya Untuk Mendegradasi Limbah Zat Warna Methylene Blue." *Jurnal Sains Materi Indonesia* 15 (3): 147–52.
- Yuan, Wenxia., Da Wang., Zhongan Guo., Yuan Peng. 2015. "Visible Light Induced Photocatalytic Overall Water Splitting Over Micro-Sic Driven By The Z-Scheme System." *Catalysis Communication* 61:53–56.
- Zainul, R., Aziz, H., Dan Arief, S. 2020. *Fotokatalis Dan Fotodegradasi Asam Humat*.
- Abdullahi, S. S., Guner, S., Koseoglu, Y., Musa, I. M., Adamu, B., I., & Abdulhamid, M. I. 2016. "Simple Method For The Determination Of Band Gap Of A Nanopowdered Sample Using Kubelka Munk Theory." *Journal Of The Nigerian Association Of Mathematical Physics* 35:12.
- Admojo, L., & Setyawan, B. 2018. "Potensi Pemanfaatan Lignoselulosa Dari Biomassa Kayu Karet (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg)." *Warta Perkaretan* 37 (1): 39–50.
- Agusyanti Anggraeni, Aulia Dewi Rosanti, Fahmi Hidayat. 2024. "Study Of The Influence Of Variations In Catalyst Mass On The Degradation Of Methyl Orange Dyes By ZnO/KJ-CTAB Under UV-

- Led Illumination.” *Jurnal Kimia & Pendidikan Kimia* 6 (1): 10–18.
- Al-Nuaim, M. A., Alwasiti, A. A., & Shnain, Z. 2023. “The Photocatalytic Process In The Treatment Of Polluted Water.” *Chemical Papers* 77 (2): 667–701.
- Ayu, D. M. 2015. “Sintesis Nano Tio₂ Menggunakan Metode Sol-Gel Dengan Penambahan Peg Sebagai Antimikroba.” In *Skripsi: Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang*.
- Aziz, M., & Saraswati, R. 2022. “Optimalisasi Parameter Mesin Cncmilling 3axis terhadap Waktu Produksi Dengan Menggunakan Response Surface Methodology.” *Formosa Journal Of Applied Sciences (Fjas)* 1 (4): 293–304.
- Chaker, A., Alila, S., Mutje, P., Vilar, M. R., Dan Boufi, S. 2013. *Key Role Of The Hemicellulose Content And The Cell Morphology On The Nanofibrillation Effectiveness Of Cellulose Pulps*.
- Dachriyanus. 2004. *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*.
- Fathurrahman, Muhammad. 2024. “Fotodegradasi Metilen Biru Oleh Metal Organic Framework (Mof) Fe-Ptc Dengan Penambahan H₂O₂ Dan Dioptimasi Menggunakan Desain Box Behnken.” *Jurnal Kartika Kimia* 6 (2): 131–44. <https://doi.org/10.26874/jkk.v6i2.228>.
- Frasnawati, Eva, Anthoni, B. Aritonag, Dan Syahbanu. 2019. “Sintesis Dan Karakterisasi Tio₂/Ti Nanotube Menggunakan Metode Anodisasi.” *Jurnal Kimia Khatulistiwa* 8 (2): 9–14.
- Habibi, Y., Lucia, L.A., Dan Rojas, O.J. 2010. *Cellulose Nanocrystals: Chemistry, Self-Assembly, And Applications*.
- Hendrawati, T. Y., Umar, E., Ramadhan, A. I., Sari, A. M., Salsabila, M., Suryani, R., Firmansyah., Dam Rahardja, I. B. 2023. “Sintesis Dan Karakterisasi Nanoselulosa Serbuk Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Ultrasonifikasi.” *Jurnal Teknologi* 15 (1): 160–65.
- Hidayati, U. F., Aritonang, A. B., & Destiarti, L. 2021. “Tio₂-Rgo Composite For Photocatalytic Decolorization Of Methylene Blue

- Under The Visible Light Illumination.” *Berkala Saintek* 9 (4): 167–73.
- Hoffman, M. R., Martin, S. T., Choi, W., & Bahremann, D. W. 1995. *Environmental Application Of Semiconductor Photocatalysis*.
- Imam, D. N. A., Purnama, R. B., & Purwasasmita, B. S. 2023. “Sintesis Dan Karakterisasi Nanoselulosa Sekam Padi Sebagai Bahan Pengikat Material Kedokteran Gigi.” *Journal Of Densistry* 7 (2): 837–46.
- Isdin, O. 2010. *Nanoscience In Nature: Cellulose Nanocrystalsn*.
- Joglekar, A. M & May, A. T. 1987. *Product Excellence Through Design Of Experiments. Cereal Foods World*.
- Khuri, A. I., And Cornell, J. A. 1996. *Response Suerface: Design And Analysis*.
- Kimoto, A., & Shimada, S. 2012. “A Proposal Of Process Sensing Technique At Photocatalytic Degradation Sensors And Actuators A: Physical.” In , 150–54.
- Li, J., Ma, W., Chen, C., Zhao, J., Zhu, H., Dan Gao, X. 2007. “Photodegradation Of Dye Pollutants On One-Dimensional Tio2 Nanoparticles Under Uv And Visible Irradiation.” *J. Mol. Cat. A: Chem* 261:131–38.
- Liu, Guqing, Xiang-Jun Pan, Jing Li, Cheng Li, Chen-Lu Ji. 2021. “Facile Preparation And Characterization Of Anatase Tio2/Nanocellulose Composite For Photocatalytic Degradation Of Methyl Orange.” *Journal Of Saudi Chemical Society* 25:1–9.
- Loelovich, M. 2012. “Optimal Conditions For Isolation Of Nanocrystalline Cellulose Particles.” *Journal Nanoscience And Nanotechnology* 2 (9–13).
- Madjid, A. D. R., Nitsae, M., Atikah, & Sabarudin, A. 2015. “Pengaruh Penambahan Tripolyfosfat Pada Kitosan Beads Untuk Adsorpsi Methyl Orange.” *Jurnal Mipa* 38 (2): 144–49.
- Mahardiani, L, Saputro, S., & Ciptonugroho, W. 2024. *Nanopartikel Hematit Termodifikasi Biopolimer (Pemanfaatan Dalam Proses Adsorpsi Dan Fotokatalitik Zat Warna)*.

- Mahi, Dha. 2021. "Karakterisasi Dan Adsorpsi Zat Warna Methyl Orange Menggunakan Zeolit Alam Dengan Variasi Konsentrasi Hcl (Characterization And Adsorption Methyl Orange Dye Using Natural Zeolit With Variation Of Hcl Concentration)." In *Undergraduate Thesis, Faculty Of Science And Technology, Uin Maulana Malik Ibrahim*.
- Maulidawati, & Purnomo, A, S. 2014. "Biodegradasi Methyl Orange Oleh Jamur Pelapuk Coklat *Daedalea Dickinsonii*." *Jurusan Kimia, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh November* 2 (1): 1–4.
- Milawati, S., Syahbanu, I., Sasri, R. 2021. "Sintesis Komposit Tio₂-Sio₂ Menggunakan Metode Sol-Gel Hidrotermal." *Jurnal Ilmu Dasar* 22 (1): 51.
- Miyake, Michiro; Takayuki Mano; Shunsuke Nishimoto; Yoshikazu Kameshima. 2015. "Water Treatment Efficacy Of Various Metal Oxide Semiconductors For Photocatalytic Ozonation Under Uv And Visible Light Irradiation." 2015). *Water Treatment Efficacy Of Various Metal Oxide Semiconductors For Photocatalytic Ozonation Under Uv And Visible Light Irradiation. N. Chemical Engineering Journal* 264:221–29.
- Mon, I., Yerimadesi, & Hardeli. 2012. *Kimia Fisika (Kinetika Kimia)*.
- Nainggalon, E. A., & Amwar, D. 2023. "Optimasi Kondisi Blansir Terhadap Whitenes Index Tepung Umbi Kayu Menggunakan Response Surface Methodology (Rsm)." *Jurnal Pertanian Argoteknologi* 10 (6): 418–25.
- Nandanwar, Ruchi, Ahmad Umar Jyoti Bamne, Nitu Singh, Kajol Taiwade, Vivek Chandel, P. K. Sharma, Purnima Singh, And And Fozia Z. Haque. 2022. "Synthesis Of Titania-Silica Nanocomposite For Enhanced Photodegradation Of Methylene Blue And Methyl Orange Dyes Under Uv And Mercury Lights." *Es Materials And Manufacturing* 16:78–88.
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadita, R. 2019. "How To Read And Interpret Ftir Spectroscopy Of Organic Material." *Indonesian Journal Of Science & Technology* 4 (1): 97–118.
- Ningtyas, K. Rimadhanti., Muslihudin, M., & Sari, I. N. 2020. "Sintesis

- Nanoselulosa Dari Limbah Hasil Pertanian Dengan Menggunakan Variasi Konsentrasi Asam.” *Jurnal Pertanian Terapan* 20 (2): 142–47.
- NurIsnaini, R., Dan Maharani, D. K. 2024. “Nanopartikel Tio₂ Dari Ekstrak Daun Kemangi (*Ocimum Sanctum*) Untuk Degradasi Metilen Biru.” *Jurnal Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam, Kebumihan Dan Angkasa* 2 (3): 7–66.
- Pradipta, A. R., & Irunsa, A. 2022. “Synthesis Of Modified Tio₂ Nanocomposite Using Fe₃O₄ And Nickel As Photocatalyst In Reduction Of Silver.” *Indonesian Journal Of Chemical Studies* 1 (1): 8–12.
- Pratapa, S. 2009. *Difraksi Sinar-X Untuk Sidikjari Dalam Analisis Nanostruktur. Prosiding Seminar Nasional Hamburan Neutron Dan Sinar-X Ke 7*.
- Prayitno. 2007. *Kajian Kinetika Kimia Model Matematik Reduksi Kadmium Melalui Laju Reaksi, Konstanta Dan Orde Reaksi Dalam Proses Elektrokimia*.
- Rasyid, Ridho Arief Al, Sri Wardhani, And Siti Mutrofin. 2021. “Fotodegradasi Metil Jingga Dengan Tio₂/Cuo-Zeolit-Alginat Pada Sinar Uv.” *The Indonesian Green Technology Journal* 10:79–87.
- Rathoda, M., Pareshkumar, G., Moradeeyab, Soumya, H., & Shaik, B. 2018. “Nanocellulose/Tio₂ Composites: Preparation, Characterization And Application In Photocatalytic Degradation Of A Potential Endocrine Disruptor Mefenamic Acid, From Aqueous Media.” *Photochemical & Photobiological Sciences*, 1–25.
- Ratnawati, Kevin Gabryelle, Muhammad Fadil Alif Ramadhan, Wahyudin, Aniek Sri Handayani. 2023. “Sintesis Nanokomposit Berbasis Nanoselulosa-Tio₂ Untuk Pengolahan Limbah Red Base 218.” *Jurnal Iptek* 7 (1): 51–57.
- Raturandang, R., Wenas, D. R., Mongan, S., Dan Bujung, C. 2022. “Analisis Spektroskopi Ftir Untuk Karakterisasi Kimia Fisik Fluida Mata Air Panas Di Kawasan Wisata Hutan Pinus Tomohon Sulawesi Utara.” *Jurnal Fisika Dan Terapannya* 3 (1): 28–33.

- Sadikin, S. N., Ridwan, J., Umar, M. I. A., Raub, A. A. M., Yunas, J., Hamzah, A. A., Dahlan, D., Rahman, M. Y. A., Dan Umar, A. A. 2023. "Photocatalytic Activity And Stability Properties Of Porous Tio₂ Film As Photocatalyst For Methylene Blue And Methylene Orange Degradation." *International Journal Of Electrochemical Science*.
- Sejie, F. P., & Nadiye, M. S. T. 2016. "Removal Of Methyl Orange (Mo) From Water By Adsorption Onto Modified Local Clay (Kaolinite)." *Jurnal Physical Chemistry*, 6 (2): 39–48.
- Setiabudi, A., Hardian, R., Dan Muzakir, A. 2012. *Karakterisasi Material : Prinsip Dan Aplikasinya Dalam Penelitian Kimia*.
- Sharma, R., Bisen, D. P., And Sharma, B. G. 2012. "X-Ray Difrraction : A Powerful Method Of Characterizing Nanomaterials." *Recent Research In Science And Technology* 4 (8): 77–79.
- Sitepu. 2016. "Sintesis Komposit Zno-Bentonit Dan Penggunaannya Dalam Proses Degradasi Methyl Orange." In , 153–60.
- Suryani, L., Sanjaya, H., Dan Yohandri. 2021. "Degradasi Zat Warna Methyl Orange Dengan Katalis Zno-Co Menggunakan Metode Fotosonolisis." *Chemistry Journal Of Universitas Negeri Padang* 10 (2): 33–37.
- Sutanto, H & Wibowo, S. 2015. *Semikonduktor Fotokatalis Seng Oksida Dan Titania (Sintesis, Deposisi Dan Aplikasi)*.
- Toro, Roberta, G., Abeer, M. Adel, Tilde De Caro, Bruno Brunetti, Mona, T. Al-Shemy, And Daniella, C. 2022. "A Facile One-Pot Approach To The Fabrication Of Nanocellulose–Titanium Dioxide Nanocomposites With Promising Photocatalytic And Antimicrobial Activity." *Journal Materials* 15:5789.
- Triyastiti, L., & Krisdiyanto, D. 2017. "Isolasi Nanoselulosa Dari Pelepah Pohon Salak Sebagai Filler Pada Film Berbasis Polivinil Alkohol (Pva)." In *Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet Dan Plastik Ke-6*, 223–36.
- Wang, C., Yang, R., Wang, H. 2020. "Synthesis Of Zif-8/Fly Ash Composite For Adsorption Of Cu²⁺, Zn²⁺ And Ni²⁺ From Aqueous Solutions." *Journal Materials* 13:214.

- Winataputra, D. S., & Yusuf, S. 2014. "Sintesis Komposit Fe_3O_4 - SiO_2 - TiO_2 Dan Aplikasinya Untuk Mendegradasi Limbah Zat Warna Methylene Blue." *Jurnal Sains Materi Indonesia* 15 (3): 147–52.
- Yuan, Wenxia., Da Wang., Zhongan Guo., Yuan Peng. 2015. "Visible Light Induced Photocatalytic Overall Water Splitting Over Micro-Sic Driven By The Z-Scheme System." *Catalysis Communication* 61:53–56.
- Zainul, R., Aziz, H., Dan Arief, S. 2020. *Fotokatalis Dan Fotodegradasi Asam Humat*.

