

**SINTESIS DAN PEMANFAATAN NANOKOMPOSIT
TiO₂/NANOSELULOSA BERBASIS PELEPAH SALAK DAN
PENENTUAN KONDISI OPTIMUM FOTODEGRADASI ZAT WARNA
METILEN BIRU**

SKRIPSI

**Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Mencapai Derajat Strata S-1**



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Oleh:
Dina Mutiara Dewi
21106030034

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2025**

LEMBAR PENGESAHAN



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-2544/Un.02/DST/PP.00.9/12/2025

Tugas Akhir dengan judul : "Sintesis dan Pemanfaatan Nanokomposit TiO₂/nanoselulosa Berbasis Pelepah Salak dan Penentuan Kondisi Optimum Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru"

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : DINA MUTIARA DEWI
Nomor Induk Mahasiswa : 21106030034
Telah diujikan pada : Rabu, 17 Desember 2025
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: 694904df116d0



Penguji I
Khamidinal, S.Si., M.Si
SIGNED

Valid ID: 694d5927ed218



Penguji II
Endaruji Sedyadi, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 6948ed8e0afca



Yogyakarta, 17 Desember 2025
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 694b55de9ef72

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Dina Mutiara Dewi
NIM : 21106030034
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Sintesis dan Pemanfaatan Nanokomposit TiO_2 / Nanoselulosa Berbasis Pelepah Salak dan Penentuan Kondisi Optimum Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru” 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, 03 Desember 2025


Dina Mutiara Dewi
21106030034

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 : Dina Mutiara Dewi
NIM : 21106030034
Judul Skripsi : Sintesis dan Pemanfaatan Nanokomposit TiO₂/nanoselulosa Berbasis Pelepah Salak dan Penentuan Kondisi Optimum Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru


sudah dapat diajukan kembali kepada Program 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 berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 03 Desember 2025
Pembimbing


Didik Krisdiyanto, S.Si., M. Sc.
NIP: 19811111 201101 1 007

HALAMAN MOTTO

**“Waktu terus berputar, tapi bukan berarti kita harus selalu lari disetiap putarannya”
(anonymous)**

**“Jika kita gagal 1000 kali, maka pastikan kita bangkit 1001 kali”
(Tentang Kamu, Tereliye)**

**“Gaada orang yang sempurna, gaada mimpi yang sempurna, tapi selalu ada proses yang membahagiakan saat kita belajar menerima”
(Ali & Ratu Ratu Queens)**

**“When hope is lost and i come undone, i swear to God i’ll survive. If it kills me to, im gonna get up and try”
(Survive, Lewis Capaldi)**



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim dengan memanjatkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya serta tidak lupa sholawat dan salam kepada Baginda Rasulullah SAW karya ini penulis persembahkan untuk:

Kedua orang tua penulis Bapak Solihin dan Ibu Omsah serta Kakak dan Kakak Ipar penulis Intan Mutiari Solihah dan Rian Juniar. Terima kasih atas doa, nasihat dan dukungan materi, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Untuk almamater tercinta:

Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah *rabbil Alamin*, puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Sintesis dan Pemanfaatan Nanokomposit TiO₂/Nanoselulosa Berbasis Pelepah Salak dan Penentuan Kondisi Optimum Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru” yang dilaksanakan di Laboratorium Kimia Universitas Islam Indonesia dan Laboratorium Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga. Tugas akhir ini ditulis sebagai bentuk pertanggungjawaban tertulis atas terlaksananya penelitian tugas akhir sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Sains bidang kimia di UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Penulisan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung selama proses pengerjaan. Ucapan terima kasih tersebut secara khusus penulis 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. Segenap PLP Laboratorium Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta khususnya Ibu Isni Gustanti, S.Si, yang telah membantu penulis selama penelitian, serta banyak memberikan semangat kepada penulis untuk bisa berani melangkah ambil resiko.
6. Seluruh dosen Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan pengajaran selama bangku perkuliahan.
7. Teruntuk dua orang paling berjasa dalam hidup penulis, Bapak Solihin dan Ibu Omsah terima kasih atas cinta, doa, restu serta menjadi sumber kekuatan dalam setiap langkah penulis.
8. Terima kasih pula untuk Intan Mutiari Solihah dan Rian Juniar selaku kakak dan kakak ipar penulis yang sudah membantu memberikan dukungan moril maupun materil.
9. Tidak lupa penulis juga berterima kasih kepada Irshad Maulana Hasbi dan Ghaitsa Zunaira Zidni selaku keponakan penulis yang selalu memberikan semangat dan canda tawa sehingga perjalanan ini terasa lebih ringan.
10. Sahabat Tercinta dari masa Taman Kanak-kanak, Kania dan Kayila terima kasih telah memberikan semangat dan dukungan kepada penulis.
11. Kepada Shafa terima kasih telah membersamai penulis dari awal perkuliahan hingga sekarang, kepada Yumroh terima kasih telah menjadi

teman cerita penulis selama 2 tahun ini dan kepada Endah terima kasih telah berjuang bersama untuk penelitian selama 1 tahun ini.

12. Terakhir, tidak lupa penulis berterima kasih kepada diri sendiri **Dina Mutiara Dewi**. Terima kasih karena tidak menyerah dan tetap berusaha dari setiap kegagalan, tetap bertahan dalam tekanan, dan tetap berjalan meskipun langkah terasa berat.
13. Semoga kedepannya laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat khususnya bagi mahasiswa Program Studi Kimia.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sehingga dapat memperbaiki kembali penulisan laporan ini dan diharapkan dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 21 Desember 2025

Penulis



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI HALAMAN

LEMBAR PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan.....	3
D. Manfaat.....	4
E. Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	5
A. Tinjauan Pustaka	5
B. Landasan Teori	7
1. Nanoselulosa	7
2. Metode Hidrolisis Asam	9
3. Tetrabutyl Titanat	10
4. Metode Sol-Gel.....	11
5. Titanium Dioksida (TiO ₂)	11
6. X-Ray Diffraction (XRD).....	13
7. Fourier Transform Spectroscopy (FTIR).....	15
8. UV Vis Reflectance Spectroscopy.....	16
9. UV-Vis.....	17
10. Metilen Biru.....	18
11. Fotokatalis.....	19
12. Laju Reaksi	21
13. Response Surface Methodology (RSM)	22
C. Kerangka Berfikir dan Hipotesis Penelitian.....	22
BAB III METODE PENELITIAN	26
A. Waktu dan Tempat Penelitian	26
B. Alat-alat Penelitian	26
C. Bahan-bahan Penelitian.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31

A. Karakterisasi Nanoselulosa dari Pelepah Pohon Salak dan TiO₂ Nanoselulosa menggunakan FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy).	31
B. Karakterisasi Nanoselulosa dari Pelepah Pohon Salak dan TiO₂ Nanoselulosa menggunakan XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).	32
C. Karakterisasi Nanoselulosa dari Pelepah Pohon Salak dan TiO₂ Nanoselulosa menggunakan DR-UV (<i>UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy</i>).	33
D. Kinetika Reaksi Fotokatalis TiO₂ /Nanoselulosa	34
E. Pengaruh Berat pada Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru	37
F. Pengaruh Suhu pada Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru	38
G. Optimasi	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	42
A. KESIMPULAN	42
B. SARAN	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	50
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Gambar Struktur Nanoselulosa (Moon et al., 2011)	8
Gambar II. 2 Gambar Hidrolisis Asam dapat menghilangkan bagian amorf dari selulosa.....	9
Gambar II. 3 Struktur Polimer Kristal TiO_2	12
Gambar II. 4 Struktur Metilen biru (Khan et al, 2022)	18
Gambar II.5 Mekanisme Fotokatalitik	20
Gambar IV. 1 Grafik absorbansi TiO_2 /nanoselulosa variasi waktu.....	36
Gambar IV. 2 Model kinetika orde reaksi ke-1	36
Gambar IV. 3 Model kinetika orde reaksi ke-2	37
Gambar IV. 4 Nilai In metilen biru dengan variasi massa berdasarkan orde ke-1	37
Gambar IV. 5 Nilai In metilen biru dengan variasi suhu berdasarkan orde ke-1	38
Gambar IV. 6 Optimasi.....	39

DAFTAR TABEL

Gambar Tabel IV. 1 Gugus Fungsi FTIR nanoselulosa, TiO ₂ /nanoselulosa dan TiO ₂	31
Gambar Tabel IV. 2 Puncak Grafik XRD nanoselulosa, TiO ₂ /nanoselulosa dan TiO ₂	33
Gambar Tabel IV. 3 Nilai Orde Reaksi 1 dan 2.....	33
Gambar Tabel IV. 4 Nilai k dan ln k berdasarkan variasi suhu.....	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Karakterisasi Nanoselulosa, TiO ₂ /nanoselulosa dan TiO ₂	50
Lampiran 2. Optimasi.....	53
Lampiran 3. Kinetika Reaksi Fotokatalis.....	53

ABSTRAK

SINTESIS DAN PEMANFAATAN NANOKOMPOSIT TiO₂/NANOSELULOSA BERBASIS PELEPAH SALAK DAN PENENTUAN KONDISI OPTIMUM FOTODEGRADASI ZAT WARNA METILEN BIRU

Oleh:

Dina Mutiara Dewi

21106030034

Pembimbing:

Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc.

Penelitian ini bertujuan mensintesis dan mengkarakterisasi nanokomposit TiO₂/nanoselulosa dari pelepah salak sebagai fotokatalis, serta menentukan kondisi optimumnya untuk mendegradasi metilen biru. Nanokomposit disintesis melalui metode sol-gel dan dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan DR-UV. Hasil FTIR mengkonfirmasi gugus fungsi OH selulosa dengan residu lignin/hemiselulosa. XRD menunjukkan keberadaan fasa kristal TiO₂ Anatase yang aktif dengan rata-rata 2,5 nm (Persamaan Scherrer). Namun, hasil DR-UV menunjukkan energi celah pita (*band gap*) tinggi, yaitu 4,6 eV yang membatasi efektivitasnya hanya pada sinar UV-C. Uji aktivitas fotodegradasi metilen biru di bawah sinar UV menunjukkan bahwa reaksi mengikuti model Kinetika Orde Reaksi Ke-1 (R²=0,8547). Energi Aktivasi (E_a) reaksi dihitung sebesar 19,5 kJ/mol (Persamaan Arrhenius). Optimasi dilakukan menggunakan Response Surface Methodology (RSM) dengan desain Box-Behnken. ditemukan pada Temperatur 45°C, Waktu 53 menit, dan Massa Katalis 0,01 gram.

Kata Kunci: Fotodegradasi, Metilen Biru, TiO₂//Nanoselulosa, Pelepah Salak, RSM, Kinetika Orde-1.

ABSTRACT

SINTESIS DAN PEMANFAATAN NANOKOMPOSIT TiO_2 /NANOSELULOSA BERBASIS PELEPAH SALAK DAN PENENTUAN KONDISI OPTIMUM FOTODEGRADASI ZAT WARNA METILEN BIRU

Oleh:

Dina Mutiara Dewi

21106030034

Pembimbing:

Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc.

This study aims to synthesize and characterize TiO_2 /nanocellulose nanocomposite from snake fruit stem as a photocatalyst, and determine its optimum conditions for degrading methylene blue. The nanocomposite was synthesized by sol-gel method and characterized using FTIR, XRD, and DR-UV. FTIR results confirmed the OH functional groups of cellulose with lignin/hemicellulose residues. XRD showed the presence of an active TiO_2 /Anatase crystal phase with an average of 2.5 nm (Scherrer Equation). However, DR-UV results showed a high band gap energy of 4.6 eV which limits its effectiveness only to UV-C light. The photodegradation activity test of methylene blue under UV light showed that the reaction follows the 1st Order Reaction Kinetics model ($R^2=0.8547$). The Activation Energy (E_a) of the reaction was calculated as 19.5 kJ/mol (Arrhenius Equation). Optimization was performed using Response Surface Methodology (RSM) with a Box-Behnken design. The results were obtained at a temperature of 45°C, a time of 53 minutes, and a catalyst mass of 0.01 grams.

Keywords: Photodegradation, Methylene Blue, TiO_2 /Nanocellulose, Salak Leaf Stem, RSM, First-Order Kinetics.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri TPT (tekstil dan produk tekstil) menjadi salah satu penyumbang devisa terbesar di Indonesia. Tercatat pada tahun 2009, industri TPT berkontribusi sebesar 12,72% pada perolehan devisa negara (Hermawan, 2011). Hal tersebut disebabkan karena industri TPT termasuk ke dalam klaster industri yang difokuskan untuk pertumbuhan ekonomi. Terdapat lima sektor strategis yang menjadi target implementasi revolusi industri *Making Indonesia 4.0* salah satunya adalah industri tekstil dan busana (Asmara et al., 2013). Namun dibalik itu semua terdapat dampak negatif yang dihasilkan oleh industri tekstil, yaitu limbah zat warnanya. Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil memiliki sifat toksik, mutagenik, dan karsinogenik, sehingga berbahaya bagi lingkungan (Hamdaoui dan Chiha, 2006).

Limbah zat warna yang terdapat dalam lingkungan perairan pada dasarnya dapat terurai secara alami oleh cahaya matahari. Tetapi proses tersebut berlangsung secara lambat karena intensitas sinar ultraviolet (UV) yang mencapai permukaan bumi relatif rendah. Akibatnya, zat warna yang berada di perairan cenderung mengalami akumulasi lebih cepat dibandingkan proses fotodegradasi yang terjadi (Nugroho and Fajriati, 2017). Salah satu kandungan limbah yang ditemukan dalam pencemaran air adalah limbah organik hasil pewarnaan tekstil. Limbah buangan yang apabila tidak diolah terlebih dahulu akan sangat berbahaya bagi lingkungan dan ekosistem, terutama ekosistem air dan secara langsung akan berdampak pada ketersediaan air bersih (Behind, L. N. O., 2019; United Nations, 2015).

Salah satu zat warna yang dihasilkan dari limbah industri tekstil adalah metilen biru. Metilen biru merupakan pewarna kationik yang paling sering digunakan sebagai zat warna pada industri tekstil dan dapat menyebabkan masalah lingkungan pada perairan. Menurut Fathoni (2016), senyawa metilen biru

bersifat toksik terhadap manusia yang berpengaruh pada kesehatan. Dalam ekosistem air, pewarna dapat menghambat penetrasi cahaya, memperlambat aktivitas fotosintesis, dan menghambat pertumbuhan biota air. Penggunaan pewarna sintetik berpotensi menghasilkan limbah cair pewarna yang dapat mencemari lingkungan. Zat warna sintesis bersifat toksik dan karsinogenik, sehingga dapat menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan (Qu'ani et al., 2022).

Salah satu cara penanggulangan metilen biru untuk mengurangi dampak negatif tersebut yaitu dengan menggunakan fotokatalis untuk mendegradasi zat warna. Fotokatalis merupakan proses reaksi kimia yang dibantu dengan radiasi sinar UV dan katalis semikonduktor (Tussa'adah dan Astuti 2015). TiO_2 merupakan senyawa yang sering digunakan sebagai fotokatalis dikarenakan stabilitas kimia yang tinggi, tahan terhadap korosi, oksidasi, dan degradasi oleh zat kimia agresif, efisiensi fotokatalisis yang tinggi, aman dan tidak beracun, ketersediaan dan biaya murah, dan stabilitas fisik yang baik (Schneider et al., 2016).

Sementara itu, nanoselulosa juga sangat diminati dalam aplikasi anti bakteri karena sifat fisik, kimia dan biologi yang dimilikinya. Material ini juga sangat stabil karena memiliki banyak gugus hidroksil. Nanoselulosa merupakan material berukuran nano yang terbuat dari selulosa, berdiameter 1-100 nm dengan bentuk memanjang 500-2000 nm yang luas permukaannya dan jumlah gugus hidroksilnya tinggi (Ningtyas et al., 2020). Nanoselulosa dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti serat alami dari tumbuhan atau hewan laut (Hertiwi et al., 2020). Serat alami dari tumbuhan pelepah pohon salak dapat dijadikan sumber nanoselulosa. Kandungan senyawa kimia penyusun serat pelepah pohon salak adalah selulosa 31,7%, hemiselulosa 33,9%, lignin 17,4% dan silika 0,6% (Triyastiti & Krisdiyanto, 2018). Menurut Ningtyas, et al., (2020), nanoselulosa dapat diekstraksi dari bahan baku sumber selulosa, diantaranya dengan metode hidrolisis asam, enzimatis dan mekanik. Saat ini metode yang paling banyak digunakan adalah metode hidrolisis asam karena mudah dan mempunyai sifat yang lebih baik (Filson et al., 2009). Pada penelitian terdahulu yang dilakukan

oleh Triyastiti dan Krisdiyanto (2018) dengan metode hidrolisis asam dan ultrasonikasi terjadi kenaikan kristalinitas pelepah pohon salak pada nanoselulosa, dari 43% menjadi 58,42%. Sedangkan TiO₂/nanoselulosa merupakan material inovatif yang banyak diteliti karena sifat fotokatalitik, antibakteri, dan aplikasinya yang ramah lingkungan. Sehingga hal tersebut sangat efektif untuk degradasi zat warna pada perairan (Khan et al., 2025).

Kondisi optimum suatu reaksi yang dilakukan secara konvensional biasanya ditentukan berdasarkan pengaruh variabel kinetis suatu reaksi yang diamati satu persatu. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan optimasi menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) untuk mengetahui kondisi optimal pada katalis TiO₂ untuk fotodegradasi zat warna metilen biru.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dipaparkan di atas maka disusun rumusan sebagai berikut:

1. Bagaimana ukuran nanoselulosa dari pelepah pohon salak hasil sintesis menggunakan metode hidrolisis asam?
2. Bagaimana karakteristik TiO₂/nanoselulosa hasil sintesis dengan parameter FTIR dan XRD kemudian TiO₂/nanoselulosa dalam melakukan fotokatalis zat warna metilen biru?
3. Bagaimana aktivitas fotokatalis berdasarkan parameter waktu, massa dan suhu?
4. Bagaimana kondisi optimum fotokatalis metilen biru menggunakan katalis TiO₂/nanoselulosa berdasarkan parameter RSM dengan desain eksperimen *Box-Behnken Desain* (BBD)?

C. Tujuan

Merujuk pada latar belakang dan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mensintesis nanoselulosa dari pelepah pohon salak berdasarkan parameter ukuran kristal menggunakan metode hidrolisis asam.

2. Mengkarakterisasi TiO₂/nanoselulosa hasil sintesis dengan parameter FTIR dan XRD kemudian karakteristik TiO₂/nanoselulosa dalam melakukan fotokatalis zat warna metilen biru.
3. Menganalisa aktivitas fotokatalis TiO₂/nanoselulosa terhadap zat warna metilen biru berdasarkan parameter waktu, massa dan suhu.
4. Mengidentifikasi kondisi optimum fotokatalis metilen biru menggunakan katalis TiO₂/nanoselulosa berdasarkan parameter RSM dengan desain eksperimen *Box-Behnken* (BBD).

D. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi bagaimana caranya mensintesis nanoselulosa dari pelepah pohon salak.
2. Memberikan informasi mengenai metode sol-gel dan metode hidrolisis asam.
3. Memberikan informasi terkait pengaruh nanoselulosa sebagai pengemban TiO₂.
4. Memberikan informasi terhadap kondisi optimal katalis TiO₂ dalam mendegradasi zat warna metilen biru dengan metode RSM.

E. Batasan Penelitian

Fokus ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada aspek-aspek berikut:

1. Sintesis nanoselulosa TiO₂ menggunakan prekursor tetrabutyl titanat (Ti(Obut)₄).
2. Nanoselulosa TiO₂ digunakan sebagai katalis dalam fotodegradasi zat warna metilen biru dengan variasi waktu, massa dan suhu.
3. Pengemban dalam sintesis nanoselulosa TiO₂ yaitu nanoselulosa dari pelepah pohon salak yang diisolasi menggunakan metode hidrolisis asam.
4. Sintesis nanoselulosa TiO₂ dari pelepah pohon salak disintesis menggunakan metode sol-gel.
5. Nanoselulosa TiO₂ dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, DR-UV.
6. Hasil fotodegradasi zat warna metilen biru di optimasi menggunakan metode RSM.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sintesis menggunakan metode hidrolisis asam berhasil dilakukan dengan hasil ukuran kristal rata-rata nanoselulosa 2,8 nm.
2. Analisis karakterisasi katalis menggunakan FTIR, XRD dan DR-UV berhasil dilakukan dengan ditunjukkannya hasil FTIR yaitu, pita vibrasi ulur (stretching) – OH tetapi masih terdapat gugus karbonil C=O gugus fungsi khas dari lignin dan hemiselulosa. Sedangkan hasil XRD menunjukkan puncak grafik nanoselulosa $15,38^\circ$ dan $22,37^\circ$, ini merupakan ciri khas umum dari kristalinitas nanoselulosa. Sedangkan untuk hasil DR-UV energi celah pita yang dihasilkan sebesar 4,6 eV menunjukkan bentuk khusus (nanosheet lepidocrocite) dan terjadi pada atomik tipis tertentu sehingga tidak efektif untuk aplikasi fotokatalis di bawah sinar matahari atau lampu UV-A/UV-B.
3. Uji aktivitas katalis nanoselulosa TiO_2 terhadap fotodegradasi zat warna metilen biru berhasil dilakukan dengan variasi waktu, massa dan suhu. Berdasarkan variasi waktu didapat regresi linear dari kinetika reaksi fotodegradasi orde ke-1 yaitu 0,8547. Sedangkan untuk variasi massa dengan berat fotokatalis 0,03 gram memiliki nilai k 0,0233, berat fotokatalis 0,01 yaitu 0,3857 dan nilai k dari berat katalis 0,02 yaitu 0,218. Sedangkan untuk variasi suhu menunjukkan regresi linear dengan massa katalis 0,01 pada suhu 30°C adalah 0,7911, pada suhu 40°C diperoleh regresi linear 0,9048 dan pada suhu 50°C diperoleh regresi linear 0,9994.
4. Identifikasi optimasi menggunakan metode RSM dengan desain eksperimen *Box-Behnken* (BBD) diketahui bahwa fotokatalisis optimal pada temperatur 45°C dengan waktu 53 menit dan massa 0.01 gram.

B. SARAN

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan karakterisasi menggunakan SEM untuk menghasilkan gambar permukaan objek dengan resolusi tinggi hingga skala nanometer.
2. Perlu dilakukan penelitian lagi dengan nilai optimum yang sudah diketahui untuk memastikan hasilnya tepat.



DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S. (2016). Proses Ekstraksi Seng Oksida dari Seng Dross menggunakan Metode Hidrometalurgi Sistem Terbuka. *J Kimia Dan Kemasan*, 103–108
- Achmad, R., Fauziah, S., Zakir, M. 2021. Pembuatan dan Modifikasi Karbon Aktif Pelepah Kelapa Sawit (*Cocos nucifera* L.) Sebagai Adsorben Metilen Biru. *Journal of pure and Applied Chemistry*.
- Al-Nuaim, M. A., Alwasiti, A. A., & Shnain, Z. Y. (2023). The photocatalytic process in the treatment of polluted water. *Chemical Papers*, 77(2), 677-701.
- Aritonang, A. L. P. 2014. Analisis Metode Response Surface pada Produksi Biodiesel secara Katalitik dengan Static Mixing Reactor. Institut Pertanian Bogor.
- Aritonang, B. A., Parwaty, P., Wibowo, M. A., Ardiningsih, P., Adhitiyawarman. 2022. Sintesis TiO₂-rGO dengan Pereduksi Aluminium untuk Fotokatalis Degradasi Metilen Biru dibawah Irradiasi Sinar Tampak. *Journal of Chemical Engineering*. Vol. 6, No. 2
- Asmara, A., Purnamadewi, Y.S., Mulatsih, Sri., Novianti, Tanti. 2013. Faktor-faktor Memengaruhi Perkembangan investasi Tekstil dan Produk Tekstil (TPT) Indonesia. *Journal of Technology Management*.
- Behind, L. N. O. (2019). The United Nations World Water Development Report 2019.
- Bokov, D., Jalil, A. T., Chupradit, S., Suksatan, W., Ansari, M. J., Shewael, I. H., Valiev, G. H., Kianfar, E. 2021. Nanomaterial by Sol-Gel: Synthesis and Application. *Advances in Material Science and Engineering/ Volume 2021*, Edisi 1.
- Chaker, H., Attar, a., Djennas, M., Fourmentin, S. 2021. A Statistical modelling-optimization approach for efficiency photocatalytic degradation of textile azo dye using cerium-doped mesoporous ZnO: A central composite design in response surface methodology. Volume 171.
- Darmanto, S., Sarwoko, Sasono, E. J., Umardani, Y., Sriyana. 2015. Karakterisasi dan Perlakuan Awal Serat Pelepah Salak untuk Meningkatkan Kekuatan Mekanik.
- Deka, Pemta Tia. (2019). Perbandingan Proses Fotodegradasi Pada Zat Warna Metil Jingga Menggunakan Zeolit, Katalis Fe₂O₃-Zeolit dan Sinar UV. *Journal of Pharmacy and Science*, Vol. 4, No. 2, 71-76.
- D. K. Muthee and B. F. Dejene, "Materials Science in Semiconductor Processing The Effect of Tetra Isopropyl Orthotitanate (TIP) Concentration on Structural, and Luminescence Properties of Titanium Dioxide Nanoparticles Prepared by Sol-Gel method," *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 106, no. July 2019, pp. 1–8, 2020, doi: 10.1016/j.mssp.2019.104783

- Dwisa, Mega dan Alimin Mahyudin. (2021). Pengaruh Waktu Rendaman NaOH Terhadap Kristalinitas dan Densitas Nanoserat Selulosa Buah Pinang. *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, 10(1),117-122. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.1.117-122.2021>
- Eddy, D. R., Noviyanti, A. R., Janati, D. 2016. Sintesis Silika Metode Sol-Gel Sebagai Penyangga Fotokatalis TiO₂ Terhadap Penurunan Kadar Kromium dan Besi. *Jurnal Sains Materia Indonesia*. Vol. 17, No, 2.
- Hamidah, F. N., Mayangsari, N. E., Setiawan, A. 2023. Kajian Isoterm Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Komposit Adsorben Karbon Aktif Sekam Padi – Hidroksiapatit Tulang Ika. *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*. Vol.6 No. 1
- Hamdaoui, O., and Chiha, M. 2006. *Removal of Methylen Blue from Aqueous Solution By Wheat Bran*, *Acta Chimica Slovenia*, 54(2), 407-418.
- Hardeli; Ramadhani, A; Kurniawati, D.; Andriko, N dan Sanjaya, H. 2014. Degradasi Methyl Violet dan Methylene Blue oleh Fotokatalis TiO₂. *EKSATA*, Volume. 1.
- Hayat, Khan., Mansoor Ul Hassan Shah. 2023. Modification Strategies of TiO₂ Based Photocatalysts for Enhanced Visible Light Activity and Energy Storage Ability. *Journal of Enviromental Chemical Engineering*. Volume. 11.
- Hendrawati, T. Y., Umar, E., Ramadhan, A. I., Sari, A. M., Salsabila, M., Suryani, R., et al. (2019). Sintesis dan Karakterisasi Nanoselulosa Serbuk dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Ultrasonifikasi. *Jurnal Teknologi*, 15(1), 159-166.
- Hermawan, I. Analisis Dampak Kebijakan Makroekonomi Terhadap Perkembangan industri Tekstil dan Produk Tekstil Indonesia. 2011. Vol.13 No.4
- Fathoni, I., 2016. Pemanfaatan Bentonit Teknis Sebagai Adsorben Zat Warna. *UNESA Journal of Chemistry*, 5(3), 18–22.
- Fatimah, I., Sugiharto, E., Wijaya, K., Tahir, I., Kamalia, 2006, Titan Dioksida Terdispersi Pada Zeolit Alam (TiO₂/Zeolit) dan Aplikasinya untuk Fotodegradasi Congo Red, *Indonesian Journal of Chemistry*, Vol. 6, No. 1, 38-42, Yogyakarta
- Filson, P.B, Dawson-Andoh, B.E. and Schwegler-Berry, D., "Enzymatic mediated production of cellulose nanocrystals from recycled pulp," *Green Chemistry*, pp. 1808-1814, 2009
- Feng, G., Jiang, F., Hu, Z., Jiang, W., Liu, J., Zhang, Q., Wu, Q., Hu, Q., Miao, L., Cheng, S. 2020. A Novel Porous Egg-White(Ew)/Titania Composite Photocatalytic Material for Efficient Photodegradation Application. *Journal RSC Advance*. 14.
- Fukuzumi, H, Saito T, Isogai A. 2013. *Influence of TEMPO oxidized cellulose nanofibril length on film properties*. *Carbohydr Polym* 93:172-177.
- Hendrawati, T. Y., Umar, E., Ramadhan, A. I., Sari, A. M., Salsabila, M., Suryani, R., et al. (2019). Sintesis dan Karakterisasi Nanoselulosa Serbuk dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Ultrasonifikasi. *Jurnal Teknologi*, 15(1), 159-166

- Hertiwi, R. L., Afni, A. N., Lailliyah, N., Sanjaya, I. G. M. 2020. Ekstraksi dan Karakterisasi Nanoselulosa dari Limbah Kulit Bawang Merah. (Journal Education and Chemistry) Vol. 2 No. 1
- Jianpiang, Shang., Yu, Jiang., Xiaoping, Qin., Bin, Zaho., Xuefei, Li. 2021. Catalytic Oxidation of Methilene Blue by Attapulgite/ TiO₂.
- Karim, Slamet, Pardoyoa, dan Agus Subagiyo. (2016). Sintesis dan Karakterisasi TiO₂ Terdoping Nitrogen (N-Doped TiO₂) dengan Metode Sol–Gel. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* 19 (2): 63 – 67.
- Khan, Idrees., *et al.* (2022). ‘Review on Methylene Blue: Its Properties, Uses, Toxicity and Photodegradation’. *Water*. 14(2). p. 242. Available at: <https://doi.org/10.3390/w14020242>.
- Liu, G.-q., Pan, X.-j., Li, J., Li, C., & Ji, C.-l. (2021). Facile preparation and characterization of anatase TiO₂/nanocellulose composite for photocatalytic degradation of methyl orange. *Journal of Saudi Chemical Society*, 25(12), 1-9
- Loelovich, M. 2012. Optimal Conditions for Isolation of Nanocrystalline Cellulose Particles. *Nanoscience and Nanotechnology*. 2(2): 9-13.
- M. Safi., SH. Amirshahi. 2023. Estimation of dye concentration by using Kubelka-Munk and Allen-Goldfinger reflective models: comparing the performance. <https://www.nature.com/articles/s41598-023-29264-x>.
- Malik, M., Chan, K., Azimi, G. 2021. Quantification of Nickel, Cobalt, and Manganese Concentration Using Ultraviolet-Visible Spectroscopy. 45.
- Masrurroh., Manggara, A. B., Papolaka, T., T. Triandi, R. 2013. Penentuan Ukuran Kristal (crystallite size) Lapisan Tipis PZT dengan Metode XRD Melalui Pendekatan Persamaan Debye Scherrer. *Journal Inovasi Pendidikan*. DOI:10.18551/erudio.1-2.4
- Moon, R.J. 2011. Cellulose Nanomaterials Review: Structure, Properties and Nanocomposites. *Chemical Society*. 40: 3941-3994
- Mukti, K. H., Hastiawan, I., Rakhmawaty, D., dan Noviyanti, A. R. 2013. Preparasi Fotokatalisis Barium Titanat TerProtonasi (HBBT) untuk Fotodegradasi Metilen Biru. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir*: Bandung.
- Mursal, I. L. P., 2018. Karakterisasi XRD dan SEM pada Material Nanopartikel Serta Peran Material Nanopartikel dalam *Drug Delivery System*. *Journal ubp Karawang*.
- Ning, Li., Yanding, Li., C. Yoo., Xiao-Hui, Yang., Xuliang, Lin., J. Ralph., Xuejen, Pan. 2018. An uncondensed lignin depolymerized in the solid state and isolated from lignocellulosic bimas: a mechanistic study. 2018. *Green Chemistry*.
- Ningtyas, Kurnia Rimadhanti, M. Muslihudin, Ira Novita Sari. (2020). Sintesis Nanoselulosa dari Limbah Hasil Pertanian dengan Menggunakan Variasi Konsentrasi Asam. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 20(2):142-147. <http://dx.doi.org/10.25181/jppt.v120i2.1631>
- Nugroho, R. T., Fajriati, Imelda. 2017. Efektivitas Fotodegradasi Zat Warna Alizarine Red-S Menggunakan Oksidator Hidrogen Peroksida H₂O₂ dan

- Fotokatalis Ti₂O₂. *Analytical and Environmental Chemistry*. 2(02). 26-37.
- Olatunji, G., A. Kola-Mustapha., O. D. Saliu. 2018. Tramadol hydrochloride delivery by regenerated cellulose nanofiber-TiO₂-ZnO composites. *Korean Journal of Chemical Engineering*.
- Pawar, M. 2018. *Journal Nanomaterial* Vol 2018, Edisi 1. <https://doi.org/10.1155/2018/5953609>
- Prabudi, M., Nurtama, B., Purnomo, E. H. 2018. *Aplikasi Response Surface Methodology (RSM) dengan Historical Data* pada Optimasi Proses Produksi Burger. *Jurnal Mutu Pangan*. Vol. 5(2): 109-115.
- Peng, B. L., Dhar, N., Liu, H. L., K. C. Tam. 2011. *Chemistry Applications of Nanocrystalline Cellulose and Its derivate: A Nanotechnology Perspective*. *Matter Lett*. 61, 5050-5052.
- Pimsawat, N., Theerakulpisut, S., Kamwilaisak, K. 2024. Tailoring Visible-light Active TiO₂/cellulose Nanocomposite with Controlled Crystalline Srructure for Enhanced Photocatalytic Performance. 101.
- Qinhai, Hu., Chunlong, Zhang., Zhirong, Wang., Yan, Chen., Kehui, Mao., Xing-Qing, Zhang., Yunlong, Xiong., Miao-Jun, Zhu. 2008. Photodegradation of Methyl tert-butyl ether (MTBE) by UV/H₂O₂ and UV/TiO₂. *Journal of Hazardous Materials*.
- Raharjo, W.P., Rudy S., Anindito P., M. Agus C., and Triyono. 2016. Mechanical Properties of Untreated and Alkaline Treated Fibers from Zalacca Midrib Wastes. *Sustainable Energy and Advanced Materials AIP*
- Rashidi, P., Ghamari, M., Ghasemifarad, M. 2020. The Structural and Optical Band Gap Energy Evaluation of Nano TiO₂ Powders by Diffuse Reflectance Spectroscopy Prepared Via Combustion Methode. *International Nano Letters*. Vol.10 No. 4
- R. Toro., A. Adel., Tilde de Caro. 2022. A Facile One-Pot Approach to the Fabrication of Nanocellulose-Titanium Dioxide Nanocomposites with Promosing Photocatalytic and Antimicrobial Activity. *Journals Materials*. Volume 15.
- Ratnawati, Gabryelle, K., Ramadhan, M. F., Wahyudin, & Handayani, A. S. (2023). Sintesis Nanokomposit Berbasis Nanoselulosa-TiO₂ Untuk Pengolahan Limbah Red Base 218. *Jurnal IPTEK*, 7(1), 51-57.
- S. Mehanny., Ehab, E., Abu-El Magd., M. Ibrahim. 2020. Extraction and Charaterization of Nanocellulose From Three Types of Palm Residues. *Journal of Materials Research and Technology*. Volume 10.
- Saha, GB Detektor Scintillation dan Semikonduktor. Dalam Fisika dan Radiobiologi Kedokteran Nuklir; Saha, GB, Ed.; Springer: New York, NY, AS, 2006; hal.100-1 81–107. ISBN 978-0-387-36281-6.
- Samsiah, R. 2009. Karakterisasi Biokomposit Apatit-Kitosan dengan XRD, FTIR, SEM dan Uji Mekanik. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- Sang, Youn. Oh., D, Yoo., Y, Shin., H, Kim., Hakjun, Kim., Y, Chung., W, Park., J, Youk. 2005. Crystalline structure analysis of cellulose treated

- with sodium hydroxide and carbon dioxide by means of X-ray diffraction and FTIR spectroscopy. *Carbohidrat Research*.
- Santhosh, Chella, A. Malathi, Ehsan Daneshvar, Pratap Kollu, and Amit Bhatnagar. 2018. "Photocatalytic Degradation of Toxic Aquatic Pollutants by Novel Magnetic 3DTiO₂@HPGA Nanocomposite." *Scientific Reports* 8 (1): 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33818-9>
- Sastrohamidjojo, H. (2001). *Spektroskopi*. Yogyakarta: Liberty.
- Schneider, J., Bahnemann, D., Ye, J., Puma, G. L., & Dionysiou, D. D. (Eds.). (2016). *Photocatalysis: fundamentals and perspectives*. Royal Society of Chemistry
- Shobirin, M., & Utomo, M. P. (2018). Preparasi, Karakterisasi, dan Aplikasi Ca₂-xZnxSiO₄ Sebagai Fotokatalis untuk Degradasi Congo Red. *Jurnal Kimia Dasar*, 7(5), 237-245.
- Suryandari, E. T. 2019. Sintesis Membran Komposit PVDF-Zeolit untuk Penghilangan Metilen Biru. *Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*. Vol. 6, No. 2
- Tangaran, R., Putri, S. E., Hasri. 2023. Fotodegradasi Zat Warna Rhodamin B Menggunakan Komposit Kitosan-Fe₂O₃. *Jurnal Chemica*. Vol 4 No. 1
- Toro, R., Adel, A., de Caro, T., Brunetti, B., Al-Shemy, M., & Caschera, D. (2022). A Facile One-Pot Approach to the Fabrication of Nanocellulose Titanium Dioxide Nanocomposites with Promising Photocatalytic and Antimicrobial Activity. *Materials*, 15(5789), 1-16.
- Triyastiti, L., & Krisdiyanto, D. (2017). Isolasi Nanoselulosa Dari Pelepah Pohon Salak Sebagai *Filler* Pada Film Berbasis Polivinil Alkohol (PVA). *Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet dan Plastik ke-6*. 25 Oktober 2017: 223- 236.
- Tussa'adah, R., & Astuti. (2015). Sintesis Material Fotokatalis TiO₂ Untuk Penjernihan Limbah Tekstil. *Jurnal Fisika Unand*, 4(1), 91-96.
- Ustamuni, U., Nurliana, L., & Musta, R. (2019). Aplikasi dan Tinjauan Kinetika Hasil Fraksinasi Produk Pirolisis Cangkang Biji Jambu Mete Uji sebagai Antijamur *Candida albicans*. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 2(2), 47-53. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol2.iss2.art1>
- Utubira, Y., Wijaya, K., Triyono, Sugiharto, E., 2006, Preparasi dan Karakterisasi TiO₂-Zeolit Serta Pengujiannya pada Degradasi Limbah Industri Tekstil secara Fotokatalitik, *Indonesian Journal of Chemistry*, Vol. 6, No. 3, 231-237, Ambon
- Wang, Wei, Jinpeng Wang, Xiaomeng Shi, Zhe Yu, Zhe Song, Liang Dong, Guiquan Jiang, and Shiyang Han. (2016). Synthesis of Mesoporous TiO₂ Induced by Nano-Cellulose and Its Photocatalytic Properties. *Bio Resources*, 11(2), 3084-3093
- Zhou, W., Umezawa, N., R., Sakai, N., Ebina, Y., Sano, K., Liu, M., Ishida, Y., Aida, T., & Sasaki, T. (2018). Spontaneous Direct Band Gap, High Hole Mobility, and Huge Exciton Energy in Atomic-Thin TiO₂ Nanosheet. *Chemistry of Materials*. <https://doi.org/10.1021/ACS.CHEMMATER.8B02792>.

- Wibowo, S., Aulia Azhar, k. N., & Sahanaya, D. A. (2023). Fotodegradasi Methylene Blue Menggunakan Fotokatalis TiO₂/Zeolit. WARTA AKAB, 47 (1). <https://doi.org/10.55075/wa.v47i1.165>
- Widarsaputra, A. Y., Prawatya, Y. E., Sujana, I. 2022. Response Surface Methodology (RSM) Untuk Optimasi Pengolahan Keripik Nanas Menggunakan Mesin *Vacum Frying*. INTEGRATE: Industrial Engineering and Management System. Volume 6, No. 2, 70-77. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jtinUNTAN/issue/view/1913>
- Withers, PJ Difraksi Sinar-X Sinkrotron. Dalam Metode Pengukuran Tegangan Sisa Praktis; Wiley: Hoboken, NJ, AS, 2013; hlm. Jurnal Manajemen dan Kewirausahaan
- Yusuf, M. 2023. Bond Characterization in Cementitious Material Binders Using Fourier-Transform Infrared Spectroscopy. *Journal Material*. 13 (5).
- Yuliyono, T., Purwanto, H., Bon, S. M., Respati. 2020. Karakterisasi Komposit Matrik Resin Epoxy Berpenguat Serat Glass dan Serat Pelepah Salak dengan Perlakuan NaOH 5%. E-Publikasi Ilmiah Unwahas. Vol 16, No. 2
- Yu-Wen, Chen., Yu-Hsuan Hsu. 2021. Effect of Reaction Temperature on the Photocatalytic Activity of TiO₂ with Pd and Cu Cocatalysts.
- Zou, W., Bian, H., Guo, J., Xu, J., Guo, B. 2023. Preparation of Titania-Silica Composite Aerogel at Atmospheric Pressure and Its Catalytic Performance in The Synthesis of Poly (Butylene Succinate). *Journal Materials*. 16 (9).