

**MODIFIKASI ZEOLIT ALAM TEREMBAN TITANIUM DIOKSIDA
SEBAGAI FOTOKATALIS NANOPARTIKEL UNTUK MENURUNKAN
KADAR COD, BOD DAN TSS LIMBAH CAIR INDUSTRI ETANOL
(*Vinasse*)**

**Skripsi
Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1**



**Oleh:
Nise Khairani
18106030047**

**STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

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

2022



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-2811/Un.02/DST/PP.00.9/12/2022

Tugas Akhir dengan judul : Modifikasi Zeolit Alam Terombang Titanium Dioksida sebagai Fotokatalis Nanopartikel untuk Menurunkan Kadar COD, BOD dan TSS Limbah Cair Industri Etanol (Vinasse)

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : NISE KHAIRANI
 Nomor Induk Mahasiswa : 18106030047
 Telah diujikan pada : Selasa, 29 November 2022
 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: 639a785744d70



Penguji I

Dr. Imelda Fajriati, M.Si.
 SIGNED

Valid ID: 639fd4114affb



Penguji II

Endaruji Sedyadi, M.Sc.
 SIGNED

Valid ID: 639147dba3180



Yogyakarta, 29 November 2022
 UIN Sunan Kalijaga
 Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
 SIGNED

Valid ID: 63a13040b45ea



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 : Nise Khairani

NIM : 18106030047

Judul Skripsi : Modifikasi Zeolit Alam Teremban Titanium Dioksida sebagai Fotokatalis Nanopartikel untuk Menurunkan Kadar COD, BOD dan TSS Limbah Cair Industri Etanol (*Vinasse*)

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 November 2022

Pembimbing

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

NIP: 19811111 201101 1 007



NOTA DINAS KONSULTASI

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 : Nise Khairani

NIM : 18106030047

Judul Skripsi. : Modifikasi Zeolit Alam Teremban Titanium Dioksida sebagai Fotokatalis Nanopartikel untuk Menurunkan Kadar COD, BOD dan TSS Limbah Cair Industri Etanol (*Vinasse*)

sudah benar dan sesuai ketentuan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terimakasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 12 Desember 2022

Konsultan

Dr. Imelda Fajriati, M.Si.

NIP. 19750725 200003 2 001



NOTA DINAS KONSULTASI

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 : Nise Khairani

NIM : 18106030047

Judul Skripsi : Modifikasi Zeolit Alam Teremban Titanium Dioksida sebagai Fotokatalis Nanopartikel untuk Menurunkan Kadar COD, BOD dan TSS Limbah Cair Industri Etanol (*Vinasse*)

sudah benar dan sesuai ketentuan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terimakasih.

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 12 Desember 2022

Konsultan



Endaruji Sedyadi, S.Si., M.Sc.

NIP. 19820205201503 1 003

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Nise Khairani
NIM : 18106030047
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Modifikasi Zeolit Alam Teremban Titanium Dioksida sebagai Fotokatalis Nanopartikel untuk Menurunkan Kadar COD, BOD dan TSS Limbah Cair Industri Etanol (*Vinasse*)”** 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 November 2022



Nise Khairani
NIM. 18106030047

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

ABSTRAK**MODIFIKASI ZEOLIT ALAM TEREMBAN TITANIUM DIOKSIDA
SEBAGAI FOTOKATALIS NANOPARTIKEL UNTUK MENURUNKAN
KADAR COD, BOD DAN TSS LIMBAH CAIR INDUSTRI ETANOL
(*Vinasse*)****Oleh:****Nise Khairani****18106030047****Pembimbing:****Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc.**

Telah dilakukan penelitian tentang modifikasi zeolit alam teremban titanium dioksida sebagai fotokatalis nanopartikel untuk menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Total Suspended Solid* (TSS) limbah cair industri etanol (*vinasse*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakter komposit TiO₂-zeolit menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dan *UV-Visible Diffuse Reflectance* (UV-Vis DRS), mengetahui aktivitas fotokatalis TiO₂-zeolit terhadap fotodegradasi limbah cair industri etanol dengan variasi kondisi reaksi fotodegradasi, berat komposit TiO₂-zeolit dan suhu limbah cair industri etanol, mengetahui kemampuan fotokatalis TiO₂-zeolit dalam mendegradasi limbah cair industri etanol dengan kadar COD, BOD, TSS dan pH terhadap baku mutu. Zeolit alam diaktivasi menggunakan asam sulfat (H₂SO₄) sebagai pengemban TiO₂ dan komposit dibuat dengan sintesis menggunakan metode inklusi oligokation.

Materi pengujian meliputi karakterisasi dengan XRD, FTIR dan UV-Vis DRS. Karakterisasi TiO₂-zeolit terlihat pada hasil karakteristik menggunakan XRD menunjukkan adanya puncak spektra milik rutil pada komposit TiO₂-zeolit, dengan ukuran komposit 29,47 nm. Karakterisasi dengan FTIR kemunculan serapan pada bilangan gelombang 570,93 cm⁻¹ dan 2368,59 cm⁻¹ yang merupakan serapan dari TiO₂. Karakterisasi dengan UV-Vis DRS didapatkan penurunan *band gap* setelah pengembanan TiO₂ menjadi 2,9 eV.

Fotodegradasi limbah cair industri etanol dilakukan dengan variasi kondisi reaksi fotodegradasi, berat komposit TiO₂-zeolit dan suhu limbah cair industri etanol dan suhu pada waktu 30, 60, 90 dan 120 menit. Kinetika orde reaksi fotodegradasi limbah cair etanol (*vinasse*) yang terjadi mengikuti orde dua. Setelah dilakukan fotodegradasi nilai pH tetap pada 4,3, serta penurunan terhadap kadar COD, BOD dan TSS dengan aktivitas fotokatalitik yang rendah. Penurunan yang terjadi masih belum memenuhi baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No.5 Tahun 2014.

Kata Kunci: TiO₂-zeolit; fotokatalis; dan *vinasse*

ABSTRACT**MODIFICATION OF TITANIUM DIOXIDE FLOACHED NATURAL ZEOLITE AS A NANOPARTICLE PHOTOCATALYST TO REDUCE COD, BOD AND TSS LEVELS OF ETHANOL INDUSTRIAL LIQUID WASTE (*Vinasse*)****by:****Nise Khairani****18106030047****Supervisor:****Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc.**

Modification of titanium dioxide impregnated natural zeolite as a nanoparticle photocatalyst to reduce COD, BOD and TSS levels of ethanol industrial liquid waste (*vinasse*) has been done. This study aims to determine the character of the TiO₂-zeolite composite using *X-Ray Diffraction* (XRD), *Infrared Fourier Transform* (FTIR), and *UV-Visible Diffuse Reflectance* (UV-Vis DRS), to determine the activity of TiO₂-zeolite photocatalyst against photodegradation of ethanol industrial wastewater with variations in photodegradation reaction conditions, weight of TiO₂-zeolite composite and temperature of ethanol industrial liquid waste, to determine the photocatalyst ability of TiO₂-zeolite in degrading ethanol industrial wastewater with levels of COD, BOD, TSS and pH against quality standards. Natural zeolite is activated using sulfuric acid (H₂SO₄) as TiO₂ carrier and composites were made by synthesis using inclusion oligocation method.

The test material includes characterization with XRD, FTIR and UV-Vis DRS. Characterization of TiO₂-zeolite seen in the results of the characteristics using XRD indicates the presence of a spectral peak belonging to rutile in the TiO₂-zeolite composite, with a composite size of 29,47 nm. Characterization by FTIR the appearance of absorption at a wave number of 570,93 cm⁻¹ and 2368,59 cm⁻¹ which is the absorption of TiO₂. Characterization with UV-Vis DRS showed a decrease in *band gap* after TiO₂ development to 2,9 eV.

Photodegradation of ethanol industrial liquid waste was carried out with variations of photodegradation reaction conditions, weight of TiO₂-zeolite composite and temperature of ethanol industrial wastewater and temperature at 30, 60, 90 and 120 minutes. The order kinetics of the photodegradation reaction of ethanol industrial liquid waste (*vinasse*) that occurs follow the second order. After photodegradation, the pH value remained at 4.3, and the levels of COD, BOD and TSS decreased with low photocatalytic activity. The decline that occurs still does not meet the quality standards based on the Regulation of the Minister of Environment of the Republic of Indonesia No. 5 of 2014.

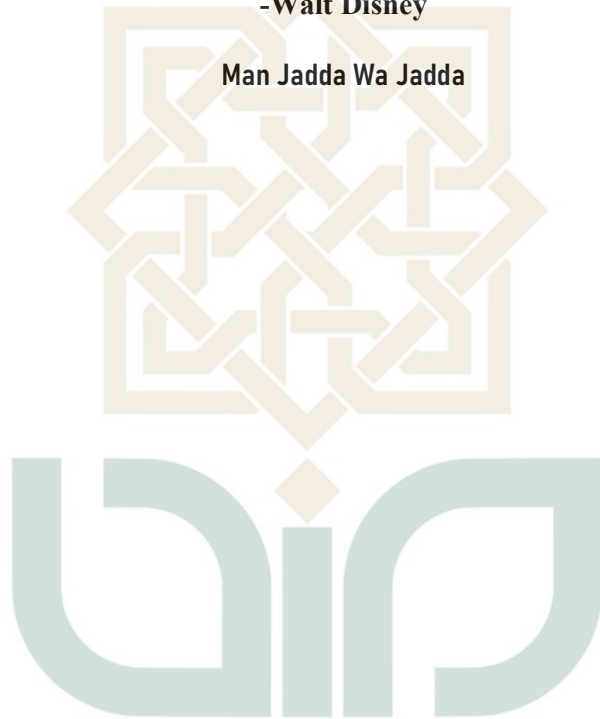
Keywords: *TiO₂-zeolite; photocatalyst; and vinasse*

MOTTO

**“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai kesanggupannya”
- Surat Al-Baqarah ayat 286**

*“The best way to get started is to quit talking and begin doing”
-Walt Disney*

Man Jadda Wa Jadda



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur dan bangga, karya ini kupersembahkan
teruntuk orang-orang spesial dalam hidupku
Mama, papa, adik, saudara, sahabat,
dan juga untuk semua yang tak pernah lelah mencari ilmu

Serta untuk almamater tercinta
Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang telah memberi kesempatan dan kekuatan sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**MODIFIKASI ZEOLIT ALAM TEREMBAN TITANIUM DIOKSIDA SEBAGAI FOTOKATALIS NANOPARTIKEL UNTUK MENURUNKAN KADAR COD, BOD DAN TSS LIMBAH CAIR INDUSTRI ETANOL (*Vinasse*)**”. Adapun penyusunan skripsi ini ditujukan untuk memenuhi sebagian persyaratan dalam mencapai derajat Sarjana Strata Satu pada program studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Skripsi ini mungkin dapat terselesaikan tanpa adanya bantuan dari pihak lain. Oleh karena itu, penyusun mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Dr. Imelda Fajriati, M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Bapak Sudarlin, M.Si. selaku pembimbing akademik yang telah membimbing, mengarahkan dan memberikan motivasi selama studi.
4. Bapak Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc., selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan banyak masukan, nasehat, membimbing dengan penuh kesabaran dan keikhlasan, serta selalu memberikan motivasi dan semangat sehingga skripsi ini tersusun.
5. Dosen-dosen Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah membagi ilmunya.
6. Bapak Indra Nafiyanto, S.Si., Bapak Wijayanto, S.Si., dan Ibu Isni Gustanti, S.Si., selaku laboran Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan pengarahan selama melakukan penelitian.
7. Kedua orang tua dan adik-adik yang tidak pernah berhenti mendoakan serta memberikan dukungan baik moril maupun materil yang tak ternilai harganya di setiap waktunya.
8. Teman-teman kimia 2018 yang sudah memberikan dukungan, semangat, saran dan bantuannya kepada penyusun.
9. Semua pihak yang tidak bisa penyusun sebutkan satu persatu atas segala bantuannya dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga amal baik dan segala bantuan yang telah diberikan kepada penyusun mendapatkan balasan yang sesuai dari Allah SWT. Penyusun mohon maaf apabila dalam penyusunan skripsi ini terdapat kekurangan baik dalam segi bahasa, isi, maupun sistematika penyusunannya. Oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penyusun harapkan. Akhir kata, semoga skripsi ini berguna dan bermanfaat bagi penyusun dan pembaca sekalian. Aamiin.

Yogyakarta, 03 November 2022

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI	iii
NOTA DINAS KONSULTASI	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	vi
ABSTRAK	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Batasan Masalah	3
C. Rumusan Masalah	4
D. Tujuan Penelitian	4
E. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	6
A. Tinjauan Pustaka	6
B. Landasan Teori	9
1. Fotokatalis Titanium Dioksida (TiO ₂)	9
2. Zeolit	14
3. Limbah Cair Industri Etanol (<i>Vinasse</i>)	17
4. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	17
5. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	20
6. <i>UV-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-Vis DRS)	21
7. <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	22
8. <i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD)	23
9. <i>Total Suspended Solid</i> (TSS)	24
C. Kerangka Berfikir dan Hipotesis Penelitian	24
BAB III METODE PENELITIAN	27
A. Waktu dan Tempat Penelitian	27
B. Alat-Alat Penelitian	27
C. Bahan Penelitian	27
D. Prosedur Kerja Penelitian	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
A. Sintesis Komposit TiO ₂ -Zeolit	31
B. Karakterisasi Material	32
1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	32
2. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	36
3. <i>UV-Vis Diffuse Reflectance</i> (UV-Vis DRS)	40
C. Fotodegradasi Limbah Cair Industri Etanol	43
1. Fotodegradasi Limbah Cair Industri Etanol Variasi Kondisi Reaksi Fotodegradasi	44

2. Fotodegradasi Limbah Cair Industri Etanol Variasi Berat Komposit...	49
3. Fotodegradasi Limbah Cair Industri Etanol Variasi Suhu Pada Limbah	53
D. Karakterisasi Limbah Cair Industri Etanol	56
1. <i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	57
2. <i>Biochemical Oxygen Demand (BOD)</i>	58
3. <i>Total Suspended Solid (TSS)</i>	59
4. pH.....	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	60
A. Kesimpulan	60
B. Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	71
CURRICULUM VITAE	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Potensial oksidasi dari radikal hidroksil.....	12
Tabel 2. 2. Bentuk modifikasi fasa TiO ₂	13
Tabel 2. 3. Jenis zeolit alam	15
Tabel 4. 1. Nilai k variasi kondisi reaksi	48
Tabel 4. 2. Nilai k variasi berat komposit TiO ₂ -zeolit.....	52
Tabel 4. 3. Nilai k variasi suhu pada limbah.....	56
Tabel 4. 4. Baku mutu limbah cair industri etanol	56
Tabel 4. 5. Kadar parameter uji sebelum dan sesudah dilakukan fotodegradasi...	57



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Mekanisme aktivitas fotokatalitik pada permukaan semikonduktor di bawah radiasi cahaya	12
Gambar 2. 2. Struktur modernit dan klipnotilotit	16
Gambar 2. 3. Difraksi sinar-X pada jarak antar atom d dan sinar datang θ	19
Gambar 2. 4. Skema elektron tereksitasi pada pita energi	22
Gambar 4. 1. Pola difraksi TiO_2	32
Gambar 4. 2. Pola difraksi zeolit teraktivasi	33
Gambar 4. 3. Pola difraksi komposit TiO_2 -zeolit.....	34
Gambar 4. 4. karakterisasi TiO_2 menggunakan FTIR.....	36
Gambar 4. 5. karakterisasi zeolit teraktivasi menggunakan FTIR	37
Gambar 4. 6. karakterisasi FTIR komposit TiO_2 -zeolit menggunakan FTIR.....	39
Gambar 4. 7. Karakterisasi TiO_2 menggunakan UV-Vis DRS.....	41
Gambar 4. 8. Karakterisasi komposit TiO_2 -zeolit menggunakan UV-Vis DRS ...	42
Gambar 4. 9. Penurunan COD pada penyinaran UV tanpa komposit TiO_2 -zeolit	45
Gambar 4. 10. Penurunan COD pada komposit TiO_2 -zeolit tanpa penyinaran UV	45
Gambar 4. 11. Penurunan COD pada komposit TiO_2 -zeolit dengan penyinaran UV	46
Gambar 4. 12. Fotodegradasi kondisi reaksi limbah cair tanpa penyinaran UV serta dengan penyinaran UV.....	48
Gambar 4. 13. Penurunan COD pada berat komposit TiO_2 -zeolit 0,125 gram.....	50
Gambar 4. 14. Penurunan COD pada komposit TiO_2 -zeolit 0,25 gram	50
Gambar 4. 15. Penurunan COD pada komposit TiO_2 -zeolit 0,375 gram	51
Gambar 4. 16. Fotodegradasi variasi berat komposit TiO_2 -zeolit.....	52
Gambar 4. 17. Penurunan COD pada suhu 25°C	53
Gambar 4. 18. Penurunan COD pada suhu 35°C	54
Gambar 4. 19. Penurunan COD pada suhu 45°C	54
Gambar 4. 20. Fotodegradasi variasi suhu pada limbah	55

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Perkembangan industri yang berkembang seiring dengan perkembangan zaman. Akan tetapi, berbagai macam zat yang berasal dari aktivitas industri tersebut dapat menjadi polutan dan merugikan bagi lingkungan maupun manusia itu sendiri. Bahan pencemar air berasal dari limbah rumah tangga (40%), limbah industri (30%), sisanya berasal dari limbah rumah sakit, pertanian, dan peternakan (Kurniadie, 2011). Air limbah industri merupakan penyumbang pencemaran air terbesar kedua dan masih belum dikelola dengan baik. Bahan pencemar dapat berasal dari senyawa organik maupun anorganik. Salah satu senyawa yang dapat mencemari lingkungan yang berasal dari aktivitas industri adalah limbah cair industri etanol.

Limbah cair yang dihasilkan dari industri etanol dengan kapasitas yang cukup besar adalah *vinasse*. *Vinasse* tidak dapat dibuang langsung ke lingkungan karena banyaknya kandungan senyawa beracun yang menyebabkan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) meningkat (Astuti & Mahatmanti, 2017). Sifat limbah *vinasse* yang asam (pH 3-4) dapat menimbulkan masalah jika dibuang langsung ke aliran sungai (Ma'rufah, et al., 2020). Pembuangan limbah ke perairan menyebabkan penurunan kualitas air. Air yang telah tercemar dengan limbah memiliki kualitas yang buruk dan dapat menyebabkan masalah kesehatan karena mengandung mikroorganisme dan senyawa kimia yang berbahaya. Hal tersebut dapat mengancam keberlangsungan

makhluk hidup dan rusaknya ekosistem, sehingga perlu adanya pengolahan yang tepat.

Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode fotodegradasi limbah. Fotodegradasi limbah merupakan penanganan limbah yang didasarkan oleh degradasi limbah akibat bantuan cahaya. Bahan fotokatalis oksida logam transisi yang haruslah memiliki struktur elektronik semikonduktor seperti TiO_2 , Fe_2O_3 , ZnO , dan CdO . Fotokatalis yang biasanya digunakan adalah TiO_2 . Senyawa titania (TiO_2) memiliki beberapa keunggulan yaitu memiliki sifat optik yang baik, tidak beracun, harganya murah, memiliki aktivitas fotokatalis yang baik (Suchaya, et al., 2016), serta penyerap UV yang baik, tidak beracun, *inert*, dan kemampuannya dalam mendegradasi senyawa organik menjadi CO_2 dan H_2O yang relatif tidak berbahaya (Sturini, et al., 2012). Namun, tingginya aktivitas fotokatalis tampaknya tidak diimbangi dengan kemampuannya dalam mengadsorpsi senyawa target. Hal ini menyebabkan proses degradasi fotokatalitik tidak berjalan dengan baik karena peluang kontak TiO_2 dengan polutan kurang maksimal. Salah satu cara untuk meningkatkan kinerja fotokatalis TiO_2 yaitu dengan pengemban dengan suatu material adsorben yaitu zeolit.

Kombinasi antara semikonduktor dan matriks seperti adsorben tersebut selain menyerap juga mampu mendegradasi limbah secara fotokatalitik (Utubira, et al., 2006). Material TiO_2 yang teremban pada zeolit alam akan memiliki fungsi ganda, tidak hanya sebagai katalis tetapi dapat berfungsi sebagai adsorben (dari sifat zeolit yang berpori dan memiliki kation yang dapat dipertukarkan). Zeolit dipilih pada penelitian ini karena dengan mendispersikan TiO_2 kedalam pori-pori

dapat menjadi lebih irit dalam penggunaan bahan dan mudah dalam menanganinya. Sebagai pengemban zeolit memiliki fungsi untuk tempat logam-logam aktif katalis teremban. Logam-logam yang diembankan ke dalam zeolit menyebabkan luas permukaan relatif besar, sehingga reaksi yang berjalan menjadi lebih cepat (Nurhayati & Wigiani, 2014). Akan tetapi, kualitas mineral alam seperti zeolit perlu ditingkatkan terlebih dahulu sebelum dimanfaatkan, agar terbebas dari pengotor organik maupun dari jenis oksida logam sehingga kinerja zeolit menjadi lebih optimal.

Peningkatan kualitas zeolit ditingkatkan dengan cara di aktivasi secara fisis maupun kimia. Secara fisis seperti kalsinasi yang bertujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit sehingga bertambahnya jumlah pori dan luas permukaan spesifik. Secara kimia seperti menggunakan larutan asam dengan tujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengganggu dan menata kembali letak atom yang dapat dipertukarkan (Suyartono & Husaini, 1991).

Berdasarkan latar belakang tersebut maka penelitian ini dilakukan untuk pemanfaatan zeolit alam yang terinklusi semikonduktor TiO_2 untuk mendegradasi limbah cair industri etanol (*vinasse*) dengan variasi kondisi reaksi fotodegradasi, berat komposit TiO_2 -zeolit dan suhu limbah cair industri etanol.

B. Batasan Masalah

Agar penelitian dapat dilakukan dengan tepat dan terarah maka pembatasan masalah yang perlu dibuat sebagai berikut:

1. Zeolit alam yang digunakan berasal dari Wonosari, Gunung Kidul.

2. Metode yang digunakan dalam sintesis TiO_2 -zeolit adalah metode inklusi oligokation.
3. Prekursor yang digunakan adalah TiCl_4 .
4. Teknik karakterisasi yang digunakan adalah *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Fourier Transform Infrared (FTIR)*, dan *UV-Visible Diffuse Reflectance (UV-Vis DRS)*.
5. Parameter uji untuk fotodegradasi limbah cair industri etanol dengan variasi kondisi reaksi, berat dan suhu adalah kadar *Chemical Oxygen Demand (COD)*.

C. Rumusan Masalah

Untuk mempermudah pembahasan, maka dapat dibuat masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakter komposit TiO_2 -zeolit menggunakan XRD, FTIR dan UV-Vis DRS?
2. Bagaimana aktivitas fotokatalis TiO_2 -zeolit terhadap fotodegradasi limbah cair industri etanol dengan variasi kondisi reaksi fotodegradasi, berat komposit TiO_2 -zeolit dan suhu limbah cair industri etanol?
3. Bagaimana kemampuan fotokatalis TiO_2 -zeolit dalam mendegradasi limbah cair industri etanol dengan kadar COD, BOD, TSS dan pH terhadap baku mutu?

D. Tujuan Penelitian

Mengacu terhadap rumusan masalah, maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengkarakterisasi komposit TiO_2 -zeolit menggunakan XRD, FTIR dan UV-Vis DRS.
2. Menganalisis aktivitas fotokatalis TiO_2 -zeolit terhadap fotodegradasi limbah cair industri etanol dengan variasi kondisi reaksi fotodegradasi, berat komposit TiO_2 -zeolit dan suhu limbah cair industri etanol.
3. Mengetahui kemampuan fotokatalis TiO_2 -zeolit dalam mendegradasi limbah cair industri etanol dengan kadar COD, BOD, TSS dan pH terhadap baku mutu.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat diantaranya:

1. Memberikan informasi mengenai metode sintesis anorganik dalam hal ini adalah fotokatalis TiO_2 -zeolit.
2. Memberikan referensi dalam penanganan masalah pencemaran limbah, terutama limbah cair industri etanol.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil karakterisasi material menggunakan XRD menunjukkan bahwa jenis mineral yang digunakan pada material zeolit adalah modernit dan pada TiO_2 adalah rutil dan anatase. Pada FTIR menunjukkan keberhasilan pengembanan TiO_2 pada zeolit dengan ditandai munculnya puncak dan gugus fungsi pada karakterisasi FTIR, sedangkan pada UV-Vis DRS menunjukkan bahwa energi celah pita TiO_2 sebesar 3,03 eV dan komposit TiO_2 -zeolit sebesar 2,9 eV.
2. Aktivitas fotokatalis terhadap limbah cair industri etanol dapat dilihat dari penurunan pada COD. Persentase penurunan COD tertinggi pada variasi kondisi reaksi pada waktu 60 menit dengan penyinaran UV dan katalis sebesar 43,87%. Persentase penurunan COD tertinggi pada variasi berat pada waktu 90 menit dengan berat 0,25 gram sebesar 45,14%. Persentase penurunan COD tertinggi pada variasi suhu pada waktu 30 menit dengan suhu 35°C sebesar 47,95%.
3. Kemampuan fotokatalis dalam mendegradasi limbah cair industri etanol terjadi penurunan pada COD, BOD dan TSS. Kadar COD limbah awal 5.860,52 mg/L menurun setelah dilakukan treatment menjadi 3.424,124 mg/L, kadar BOD limbah awal 5.095,48 mg/L menurun setelah dilakukan treatment menjadi 3.888,565 mg/L, kadar TSS limbah awal 479 mg/L menurun setelah dilakukan

treatment menjadi 447 mg/L. Nilai pH tidak berubah secara signifikan sebelum dan setelah dilakukan treatment yaitu 4,3. Nilai pH serta penurunan kadar COD, BOD dan TSS yang terjadi belum memenuhi baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No.5 Tahun 2014.

B. Saran

Dengan segala keterbatasan dalam penelitian yang telah dilakukan, untuk pengembangan lebih lanjut disarankan untuk kelanjutan penelitian:

1. Perlu dikembangkan penelitian lebih lanjut mengenai komposisi dalam metode inklusi oligokation untuk menghasilkan TiO_2 yang terinklusi lebih baik.
2. Perlu dilakukan karakterisasi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan TEM (*Transmission Electron Microscope*) untuk mengetahui morfologi permukaan, porositas zeolit, dan fotokatalis oksida titan yang diimbaskan ke dalam zeolit perlu karakterisasi menggunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. & Khairurrijal, 2009. Review: Karakterisasi Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, Volume 2.
- Abdullah, M., Virgus, Y., N. & K., 2008. Review: Sintesis Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, Volume 1, pp. 33-37.
- Agusriyanti, S., 2014. *Pemanfaatan Zeolit Alam Ciamis Sebagai Pengemban Fotokatalis TiO₂ untuk Fotodegradasi Zat Warna Rhodamine B*. Skripsi. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga.
- Alfarisa, S., Rifai, D. A. & Toruan, P. L., 2018. Studi Difraksi Sinar-X Nano Seng Oksida (ZnO). *Risalah Fisika*, Volume 2, pp. 53-57.
- Aliah, H. & Karlina, Y., 2015. Semikonduktor TiO₂ Sebagai Material Fotokatalis Berulang. *Jurnal Fisika*, Volume 9, pp. 185-203.
- Amrani, D. O., Manurung, P. & Karo-Karo, P., 2019. Pengaruh Laju Injeksi Doping Sulfur terhadap Aktivitas Fotokatalis Nanotitania Menggunakan Metode Sol Gel. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, Volume 7, pp. 223-230.
- Anam, C., S. & Firdaus, K. S., 2007. Analisis Gugus Fungsi Pada Sampel Uji, Bensin Dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FTIR. *Berkala Fisika*, Volume 10, pp. 79-85.
- Anantha, F., 2007. *Proses Pengolahan Limbah di PG. Madukismo Yogyakarta. Laporan Kerja Praktek*, Semarang: Universitas Katolik Soegijapranata.
- Andari, N. D. & Wardhani, S., 2014. Fotokatalis TiO₂-Zeolit Untuk Degradasi Metilen Biru. *Chem. Prog.*, Volume 7, pp. 9-14.
- Anggara, P. A., Wahyuni, S. & Prasetya, A. T., 2013. Optimalisasi Zeolit Alam Wonosari dengan Proses Aktivasi secara Fisis dan Kimia. *Indo. J. Chem. Sci.*, Volume 2, pp. 72-77.
- Ansori, S., Sriatun & Pardoyo, 2016. Modifikasi Zeolit Alam Menggunakan TiO₂ Sebagai Fotokatalis Zat Pewarna Indigo Carmine. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, Volume 19, pp. 68-71.
- Apollo, S., Onyango, M. S. & Ochieng, A., 2013. An Integrated Anaerobic Digestion and UV Photocatalytic Treatment of Distillery Wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 261, pp. 435-442.
- Arrodli, M. Z., Muhartini & Taryono, 2011. Pemanfaatan Vinasse-Limbah Industri Alkohol Untuk Perbaikan Sifat Fisik Dalam Pengembangan Tebu

(*Saccharum officinarum* L) di Lahan Pasir Pantai. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, Volume 3, pp. 108-114.

- Arutanti, O., Abdullah, M., K. & Mahfudz, H., 2009. Penjernihan Air Dari Pencemar Organik Dengan Proses Fotokatalis Pada Permukaan Titanium Dioksida (TiO_2). *J. Nano Saintek*, pp. 53-55.
- Astuti, W. & Mahatmanti, W., 2017. Pembuatan Pupuk Fermentasi Cair Berbasis Limbah Vinasse. *Rekayasa*, Volume 15, pp. 55-58.
- Atima, W., 2015. BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah. *Jurnal Biology Science & Education*, Volume 4, pp. 83-93.
- Atmaja, R. N., 2017. *Aktivasi Zeolit Alam Menggunakan Asam Sulfat Sebagai Katalis Reaksi Esterifikasi Pembuatan Triasetin*. Skripsi. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga.
- Barrer, R. M., 1978. *Zeolites and Clay Minerals as Sorbents and Molecular Sieves*. London: Academic Press.
- Bauer, M. J., Hermann, R., Martin, A. & Zelmann, H., 1998. Chemodynamics, Transport Behavior and Treatment of Phthalic Acid Esters in Municipal Landfill Leachates. *Wat. Sci. Tech*, Volume 38, pp. 185-192.
- Bekkum, H. v., Flanigen, E. M. & Jansen, J. C., 1991. Introduction to Zeolite Science and Practice, Studies in surface science and catalysis. *Elsevier Science Publisher*, Volume 58, pp. 0-444-88969-8.
- Brown, G. N., Birks, J. W. & Koval, C. A., 1992. Development And Characterization Of a Titanium Dioxide Based Semiconductor Photoelectrochemical Detector. *Anal. Chem*, Volume 64, pp. 427-434.
- Carey, J. H., 1992. An Introduction to Advanced Oxidation Processes (AOP) for Destruction of Organics in Wastewater. *Water Poll. Res. J. Canada*, Volume 27, pp. 1-21.
- Carli, S. A., Widyanto & Haryanto, I., 2012. Analisis Kekuatan Tarik dan Lentur Komposit Serat Gelas Jenis Woven dengan Matriks Epoxy dan Polyester Berlapis Simetri dengan Metode Manufacture Hand Lay. *TEKNIS*, Volume 7, pp. 22-26.
- Chamidah, T. A., 2016. *Peningkatan Efektivitas Fotodegradasi Congo Red Menggunakan TiO_2 -Zeolit Dengan Aerasi Sederhana*. Skripsi. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga.

- Cliffon, P., 1994. Sumber Pengendalian dan Baku Mutu. In: *Limbah Cair Berbagai Industri di Indonesia. Sumber Pengendalian dan Baku Mutu*. Jakarta: Enviromental Management Development in Indonesia.
- Cotton, F. A., Wilkinson, G., Murillo, C. A. & Brohman, M., 1999. *Advanced Inorganic Chemistry*. 6th ed. Van Couver: John Willey and Sons Inc.
- Damayanti, C. A., Wardhani, S. & Purwonugroho, D., 2014. Pengaruh Konsentrasi TiO_2 Dalam Zeolit Terhadap Degradasi Methylene Blue Secara Fotokatalitik. *Kimia Student Journal*, Volume 1, pp. 8-14.
- Darmansyah, 2010. *Evaluasi Sifat Fisik dan Mekanik Material Komposit Serat-Resin Berbahan Dasar Serat Nata de Coco dengan Penambahan Nanofiller*. Tesis. s.l.: Universitas Indonesia.
- Daroini, T. A. & Arisandi, A., 2020. Analisis BOD (Biological Oxygen Demand) Di Perairan Desa Prancak Kecamatan Sepulu, Bangkalan. *Juvenil.*, Volume 1, pp. 558-566.
- Diaz, F. R. & Santos, P. d. S., 2001. Studies On The Acid Activation of Braziluan Smectitic Clays. *Quim Nova*, Volume 24, pp. 345-353.
- Dwyer, J., Kavanagh, L. & Lant, P., 2008. The Degradation of Dissolved Organic Nitrogen Associated With Melanoidin Using a UV/ H_2O_2 AOP. *Chemosphere*, Volume 71, pp. 1745-1753.
- Ethica, S. N., 2018. *Buku Referensi Bioremediasi Limbah Biomedik Cair*. Penerbit Deepublish. Yogyakarta.
- Fardiaz, S., 1992. *Polusi dan Udara*. Yogyakarta: Kanisius.
- Fathurrahmi, 2008. *Modifikasi Zeolit Alam dan Aplikasinya Sebagai Bahan Fotokatalis Untuk Mendegradasi Limbah Cair Pabrik Tekstil*. Tesis. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Fatimah, I., Sugiharto, E., Wijaya, K., Tahir, I., Kamalia., 2006. Titan Dioksida Terdispersi Pada Zeolit Alam (TiO_2 /Zeolit) dan Aplikasinya untuk Fotodegradasi Congo Red. *Indo.J.Chem*, Volume 6, pp. 38-42.
- Flanigen, E. M., Khatami, H. & Szymanski, H. A., 1971. Infrared Structural Studies of Zeolite Framework, Molecular Sieve Zeolite-I. In: s.l.: American Society Advanced in Chemistry Series, pp. 201-227.
- Guisnet, M. & Gilson, J., 2002. *Zeolites For Cleaner Technologies, Catalytic Science*. London: Imperial College Press.
- Hammond, C., 1997. *The Basics of Crystallography and Diffraction*. Oxford: Oxford University Press.

- Harahap, M. R., Amanda, L. D., Matondang, A. H., 2020. Analisis Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) Dan TSS (Total Suspended Solid) Pada Limbah Cair Dengan Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. *AMINA*, Volume 2, pp. 79-83.
- Herald, E., Hisyam, S. W. & Sulistiyono, 2003. Karakterisasi dan Aktivasi Zeolit Alam Ponorogo. *Indonesian Journal of Chemistry*, Volume 3, pp. 91-97.
- Herald, E., W, H. S. & S., 2003. Karakterisasi dan Aktivasi Zeolit Alam Ponorogo. *Indonesia Journal of Chemistry*, Volume 3, pp. 91-97.
- Hoffman, M. R., Martin, S. T., Choi, W. & Bahnemann, D. W., 1995. Environmental Application of Semiconductor Photocatalysis. *Chem Rev*, pp. 69-96.
- Islami, D. A., 2017. *Kombinasi Medium Limbah Vinasse dan Probiotik Untuk Meningkatkan Pertumbuhan Arthrospira maxima Setchell & N.L. Gardner*. Tesis. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Jenkins, R., 1998. *X-Ray Fluorescence Spectrometry*. New York: John Wiley and Sons.
- Kee, W. C., Wong, Y.S., Ong, S.A., Lutpi, N. A., Sam, S. T., Chai, A., Eng, K. M., 2022. Photocatalytic Degradation of Sugarcane Vinasse Using ZnO Photocatalyst: Operating Parameters, Kinetic Studies, Phytotoxicity. *Int J Environ Res*, Volume 16, pp. 1-13.
- Khopkar, S. M., 2003. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI Press.
- Krisdiyanto, D., 2008. *Modifikasi Zeolit Alam Dengan Titanium Dioksida Dan Aplikasinya Sebagai Fotokatalis Untuk Menurunkan Angka COD Limbah Cair Industri Tekstil Dengan Sistem Alir*. Tesis. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Kurniadie, D., 2011. Wastewater Treatment Using Vertical Subsurface Flow Constructed Wetland in Indonesia. *American Journal of Environmental Sciences*, Volume 7, pp. 15-19.
- Kurniawati, P., Wijyantoko, B., Kurniawan, A. & Purbaningtias, T. E., 2013. Kinetic study of Cr(VI) Adsorption on Hydrotalcite Mg/Al with Molar Ratio 2:1. *EKSAKTA: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Analisis Data*, Volume 13, pp. 11-21.
- Kuzhalosai, V., Subash, B., Senthilraja, A., Dhatshanamurthi, P., Shanthi, M., 2013. Synthesis, Characterization and Photocatalytic Properties of SnO₂-ZnO Composite Under UV-A Light. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, Volume 115, pp. 876-882.

- Lestari, D. Y., 2010. *Kajian Modifikasi Dan Karakterisasi Zeolit Alam Dari Berbagai Negara*. Yogyakarta, Jurdik Kimia UNY.
- LPP, 2006. *Penuntun Analisis Limbah Cair Pabrik Gula*. Yogyakarta: LPP.
- Ma'rufah, S., Rusdiana, R. Y. & Sari, V. K., 2020. Utilization of Vinasse as Liquid Organic Fertilizer to Increase Cauliflower (*Brassica oleracea* var. *Botrytis* L.) Growth and Yield. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, Volume 20, pp. 18-24.
- Mattews, F. L. & Rawlings, R. D., 1999. *Composite Material: Engineering and Science*. England: Woodhead Publishing Limited.
- Maywontiana, D. J. P., 2018. *Pengaruh Kalsinasi Terhadap Struktur Dan Energi Celah Pita Pada Komposit ZSM-5-TiO₂ Yang Dibuat Dengan Metode Nonaqueous Gel*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Muhajir, M. S., 2013. *Penurunan Limbah Cair BOD dan COD Pada Industri Tahu Menggunakan Tanaman Cattail (*Typha Angustifolia*) dengan Sistem Construted Wetland*. Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Mumpton, F. A., 1985. Innovative Biological Technologies for Lesser Developed Countries. In: *Using Zeolite in Agriculture*. Washington: s.n.
- Mustofa, K., Aini, N. & Ningsih, R., 2015. Synthesis and Characterization Titanium Dioxide (TiO₂) Doped Vanadium (V) Using Solid State Method. *Alchemy*, Volume 4, pp. 22-29.
- Naimah, S., Ermawati, R., A., S. A. & J., B. N., 2014. Karakteristik TiO₂-Zeolit Dalam Pengolahan Limbah Tekstil Dengan Metode Fotoreaktor Silinder Berputar Skala Pilot Plant. *Jusami*, Volume 15, pp. 226-232.
- Navgire, M., Yelwande, A., Tayde, D., Balasaheb, A., Lande, M., 2012. Photodegradation of Molasses by a MoO₃-TiO₂ Nanocrystalline Composite Material. *Chinese Journal of Catalysis*, 33(2), pp. 261-266.
- Nayiroh, N., 2013. *Teknologi Material Komposit*, s.l.: s.n.
- Ningrum, S. O., 2018. Analisis Kualitas Badan Air dan Kualitas Air Sumur di Sekitar Pabrik Gula Rejo Agung Baru Kota Madiun. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, Volume 10, pp. 1-12.
- Nurhayati, N. D. & Wigiani, A., 2014. *Sintesis Katalis Ni-Cr/Zeorlit dengan Metode Impregnasi Terpisah*. Surakarta, s.n.
- Putra, V. G. V., Mohamad, J. N., Yusuf, Y., 2020. Penerapan Gelombang Plasma dalam Mengurangi Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) pada Limbah

- Batik Melalui Corona Plasma dan Elektrokoagulasi dengan Metode Variasi. *Jurnal Ilmu Fisika*, Volume 12, pp. 60-69.
- Pangajow, S. E., Wuntu, A. D. & Sangi, M. S., 2019. Kinetika Fotodegradasi Methylene Blue Menggunakan Komposit $Ag_3PO_4/Ag/HAp$ Tulang Ikan Kakap Merah (*Lutjanus sp.*). *Chem. Prog.*, Volume 12, pp. 93-95.
- Prabowo, H. E., 2019. *Karakterisasi TiO_2 Sebagai Nano Material Semikonduktor pada DSSC dengan Metode Sol-Gel*. Skripsi. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Prasetyo, D. J., 2021. *Optimalisasi Preparasi Zeolit Alam Untuk Media Imobilisasi Bakteri Pada Proses Peruraian Anaerobik Termofilik Limbah Vinasse*. Tesis. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Putra, R., K., Krisdiyanto, D. & Nugraha, I., 2015. Adsorpsi Ion Mn(II) Pada Zeolit Dari Abu Dasar Batubara Termodifikasi Ditizon. *JKTI*, Volume 17, pp. 87-89.
- Rafiq, A., Ikram, M., Ali, S., Niaz, F., Khan, M., Khan, Q., Maqbool, M., 2021. Photocatalytic Degradation of Dyes Using Semiconductor Photocatalysts to Clean Industrial Water Pollution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Volume 97, pp. 111-128.
- Rahman, S., Sabnis, M., Kuusisto, L. M., Sattier, M. Chen, V., 2018. Models for Organics Removal From Vinasse From Ethanol Production. *Clean Technologies and Environmental Policy*, Volume 20, pp. 803-812.
- Rahmawati, D., 2011. *Pengaruh Kegiatan Industri Terhadap Kualitas Air Sungai Diwak di Bergas Kabupaten Semarang dan Upaya Pengendalian Pencemaran Air Sungai*. Tesis. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Raju, G. B., Karuppiah, M. T., Latha, S. S., Parvathy, S., Prabhakar, S., 2008. Treatment of Wastewater from Synthetic Textile Industry by Electrocoagulation–Electrooxidation. *Chemical Engineering Journal*, Volume 144, pp. 51-58.
- Reis, C. E. & Hu, B., 2017. Vinasse From Sugarcane Ethanol Production: Better Treatment or Better Utilization. *Frontiers in Energy Research*, Volume 5, pp. 1-7.
- Rhofita, E. I. & Russo, A. E., 2019. Effectiveness Performance of Sugar Cane Industry Waste Water Treatment (WWTP) in Kediri and Sidorjo Regency. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Volume 20, pp. 235-242.
- Riyani, K. & Setyaningtyas, T., 2020. *Pembuatan Metanol Dari Limbah Cair Tahu Menggunakan Fotokatalis TiO_2-Ni* . Purwokerto, FMIPA Unsoed.

- Rokhmawati, E. D., 2019. *Analisis Pemilihan Dopan dalam Menurunkan Energi Band Gap pada Sintesis Lapisan TiO₂*. Semarang, Universitas PGRI Semarang.
- Roy, J., 2022. The Synthesis and Application of TiO₂ Nanoparticles Derived From Phytochemical Sources. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Volume 16, pp. 1-19.
- Sahendra, S. L., Hamsyah, R. A. & Khalimatus, S., 2021. Pengolahan Limbah Cair Pabrik Gula Menggunakan Adsorben dari Kotoran Sapi dan Ampas Tebu. *CHEESA*, Volume 4, pp. 31-38.
- Salim, A. & Sudaryanto, 2016. *Penambahan N Pada TiO₂ Dan Pengaruhnya Pada Energi Band Gap TiO₂ Sebagai Bahan Pengolah Limbah*. Serpong, PRSG-BATAN.
- Setiyanto, H., Agustina, D., Zulfikar, M. A. & Saraswaty, V., 2016. Kajian Reaksi Fenton Untuk Degradasi Remazol Red B Pada Limbah Industri Tekstil. *Molekul*, Volume 11, pp. 168-179.
- Silverstein, R. M., Bassler, G. C. & Morrill, T. C., 1986. *Penyidikan Spektrometri Senyawa Organik*. 4 ed. Jakarta: Erlangga.
- Sismiyati, 2017. *Uji Fotodegradasi Zet Warna Methylene Blue Menggunakan TiO₂-Zeolit Dengan Perlakuan Aerasi Sederhana.* Skripsi. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga.
- Slamet, R. S. & Danumulyo, W., 2003. Pengolahan Limbah Logam Berat Chromium (VI) Dengan Fotokatalis TiO₂. *Makara Teknologi*, Volume 7, pp. 27-32.
- Sturini, M., Speltini, A., Maraschi, F., Profumo, A., Pretali, L., Irastorza E. A., Fasami, E., 2012. Photolytic And Photocatalytic Degradation Of Fluoroquinolones In Untreated River Water Under Natural Sunlight. *Applied Catalysis B : Environmental*, pp. 32-39.
- Sucahya, N. T., Permatasari, N. & Nandiyanto, A. B. D., 2016. Review: Fotokatalis Untuk Pengolahan Limbah Cair. *Jurnal Integrasi Proses*, Volume 6, pp. 1-15.
- Sunardi, Irawati, U. & Sybianti, R. N., 2012. Sintesis dan Karakterisasi Komposit Kaolin-TiO₂ Sebagai Fotokatalis untuk Degradasi Zat Warna Rhodamin B. *Sains dan Terapan Kimia*, Volume 6, pp. 118-129.
- Sutrisno, H., 2009. *Tinjauan Mikrostruktur Kereaktifan Anatas dan Rutil Sebagai Material Superfotohidrofil Permukaan*. Yogyakarta, Universitas Negeri Yogyakarta, pp. 290-298.

- Suyartono & Husaini, 1991. *Tinjauan Terhadap Kegiatan Penelitian Karakterisasi dan Pemanfaatan Zeolit Indonesia yang Dilakukan PPTM*. Bandung: Buletin PPTM.
- Tan, K. H., 1991. *Dasar-Dasar Kimia Tanah*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Press.
- Trisunaryanti, W., 2006. *Kimia Zat Padat, Buku Ajar Program Studi Kimia Fakultas MIPA*. s.l.:Universitas Gadjah Mada.
- Utubira, Y., Wijaya, K. & Sugiharto, E., 2006. Preparasi dan Karakterisasi TiO₂-Zeolit Serta Pengujiannya pada Degradasi Limbah Industri Tekstil secara Fotokatalitik. *Indo J. Chem*, 6(3), pp. 231-237.
- Valdes, M. G., Perez-Cordoves, A. I. & Diaz-Garcia, M. E., 2006. Zeolite and Zeolite-Based Materials in Analytical Chemistry. *Trends in Analytical Chemical*, Volume 25.
- Valencia, S., Marin, J. M. & Restrepo, G., 2010. Study of the Bandgap of Synthesized Titanium Dioxide Nanoparticules Using the Sol-Gel and a Hydrothermal Treatment. *Open Mater. Sci. J.*, Volume 4, pp. 9-14.
- Vlack, L. H., 2004. *Elemen-Element Ilmu dan Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.
- Wahidatun, K. W., Krisdiyanto, D., Khamidinal & Nugraha, I., 2015. Kesetimbangan, Kinetika dan Termodinamika Adsorpsi Logam Cr(VI) Pada Zeolit Alam Dari Klaten Yang Teraktivasi Asam Sulfat. *Sains dan Terapan Kimia*, Volume 9, pp. 1-11.
- Wahidatun, K. W., Krisdiyanto, D., Khamidinal & Nugraha, I., 2015. Kesetimbangan, Kinetika dan Termodinamika Adsorpsi Logam Cr(VI) Pada Zeolit Alam Dari Klaten Yang Teraktivasi Asam Sulfat. *Sains dan Terapan Kimia*, Volume 9, pp. 1-11.
- Wang, Y. F., Lin, F. & Pang, W. Q., 2007. Ammonium Exchange In Aqueous Solution Using Chinese Natural Clinoptilolite and odified Zeolite. *Journal Hazardous*, Volume 142, pp. 160-164.
- Wardhana, W. A., 2004. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Wardhani, S., Bahari, A. & Khunur, M. M., 2016. Aktivitas Fotokatalitik Beads TiO₂-N/Zeolit-Kitosan Pada Fotodegradasi Metilen Biru (Kajian Pengembangan, Sumber Sinar Dan Lama Penyinaran). *Journal of Environmental Engineering & Sustainable Technology*, Volume 2, pp. 78-84.

- Wibowo, E. A., Aji, N. R., Ujiningtyas, R., Mayasari, T., Widiarti, N., 2016. Fotokatalis TiO_2 /Kitosan dan TiO_2 /Bentonit Sebagai Penjernih Air Embung di Lingkungan UNNES. *Jurnal Sains dan Teknologi*, Volume 5, pp. 807-812.
- Wijaya, K., 2002. Bahan Berlapis dan Berpori sebagai Bahan Multifungsi. *Journal of Chemistry*, pp. 142-154.
- Wijaya, K., Sugiharto, E., Sudiono, S. & Kurniaysih, D., 2006. Utilisasi TiO_2 -Zeolit dan Sinar UV Untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red. *TEKNOIN*, Volume 11, pp. 199-209.
- Windati, W., 2012. *Impregnasi Zeolit Alam Dengan TiO_2 Untuk Degradasi Jingga Metil Secara Fotokatalitik*, s.l.: Universitas Airlangga.
- Yacobi, B. G., 2003 . *Semiconductor Materials: An Introduction to Basic Principles*. New York: Kluwer Academic Publisher.
- Zhang, J., Tian, B., Wang, L., Xing, M., Lei, J., 2018. *Photocatalysis: Fundamentals, Materials and Applications*. s.l.:Springer Nature Singapore Pte Ltd.