



**KARAKTERISTIK MATERIAL KOMPOSIT  $\text{TiO}_2$  – ZEOLIT YANG  
DISINTESIS MENGGUNAKAN METODE HIDROTERMAL  
DENGAN VARIASI TEMPERATUR**

**SKRIPSI**

Oleh

**Rizka Nurhayati Fajrin**

**NIM 181810201025**

**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2022**



**KARAKTERISTIK MATERIAL KOMPOSIT  $\text{TiO}_2$  – ZEOLIT YANG  
DISINTESIS MENGGUNAKAN METODE HIDROTERMAL  
DENGAN VARIASI TEMPERATUR**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Fisika (S-1)  
dan mencapai gelar Sarjana Sains (S.Si)

Oleh

**Rizka Nurhayati Fajrin**

**NIM 181810201025**

**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2022**

## PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikah rahmat serta kemudahan kepada saya sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini yang dipersembahkan untuk:

1. Kedua orang tua, kakak, dan seluruh keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan, semangat, do'a, dan pengorbanan yang tiada henti dengan penuh kasih sayang dan kesabaran.
2. Bapak/Ibu guru dan Dosen serta Teknisi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan bimbingan dengan keikhlasan dan kesabaran.
3. Almamater Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
4. Seluruh teman-teman yang telah memberikan semangat, do'a, dan dukungannya.

**MOTTO**

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain, dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap.”  
(terjemahan Surat *Al-Insyirah* ayat 6-8)<sup>1</sup>



---

<sup>1</sup> Departemen Agama Republik Indonesia. 2009. *Mushaf Al Qur'an dan Terjemahannya*. Jakarta: CV. Pustaka Al-Kautsar.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rizka Nurhayati Fajrin

NIM : 181810201025

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Karakteristik Material Komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit yang Disintesis Menggunakan Metode Hidrotermal dengan Variasi Temperatur” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang saya sebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 24 April 2022  
Yang menyatakan,

Rizka Nurhayati Fajrin  
NIM 181810201025

**SKRIPSI**

**KARAKTERISTIK MATERIAL KOMPOSIT TiO<sub>2</sub>-ZEOLIT YANG  
DISINTESIS MENGGUNAKAN METODE HIDROTHERMAL  
DENGAN VARIASI TEMPERATUR**

Oleh

**Rizka Nurhayati Fajrin**

**NIM 181810201025**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Sutisna, S.Pd., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Karakteristik Material Komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit yang Disintesis Menggunakan Metode Hidrotermal dengan Variasi Temperatur” karya Rizka Nurhayati Fajrin telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Jember

**Tim Penguji:**

Ketua,

Anggota I,

Dr. Sutisna, S.Pd., M.Si.  
NIP 197301152000031001

Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si.  
NIP 197208201998021001

Anggota II,

Anggota III,

Wenny Maulina, S.Si., M.Si.  
NIP 198711042014042001

Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si.  
NIP 196912251999031001

Mengesahkan  
Dekan,

Drs. Achmad Syaifullah, M.Sc., Ph.D.  
NIP 195910091986021001

## RINGKASAN

**Karakteristik Material Komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit yang Disintesis Menggunakan Metode Hidrotermal dengan Variasi Temperatur;** Rizka Nurhayati Fajrin; 181810201025; 2022; 73 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) adalah material semikonduktor yang memiliki energi celah pita mulai dari 3,0 – 3,4 eV. Material ini dikenal sebagai material yang baik untuk degradasi polutan-polutan lingkungan. Material TiO<sub>2</sub> banyak digunakan karena memiliki kelebihan, yaitu tidak beracun, *biocompatible*, harga cukup terjangkau dan memiliki stabilitas kimia yang sangat tinggi. Material TiO<sub>2</sub> dalam pengaplikasiannya sering dimodifikasi dengan material sorben agar memiliki daya serap yang tinggi untuk meningkatkan degradasi limbah. Material sorben yang digunakan dalam penelitian ini yaitu zeolit yang merupakan material alami berpori dan memiliki beberapa kandungan mineral dominan (SiO<sub>4</sub> dan AlO<sub>4</sub>). Metode untuk sintesis komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit telah banyak dilakukan, salah satunya yaitu metode hidrotermal karena memiliki proses yang sederhana, bebas polusi, dan suhu reaksi lebih rendah. Temperatur operasional hidrotermal, saat sintesis material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit, memiliki pengaruh terhadap karakteristik dari material komposit hasil sintesis yaitu dapat mempengaruhi ukuran partikel dan perubahan fasa kristal. Pemilihan temperatur optimum dibutuhkan untuk mendapatkan karakteristik dan aktivitas yang baik dari material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit. Sehingga pada penelitian ini dilakukan sintesis material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit menggunakan metode hidrotermal dengan variasi temperatur.

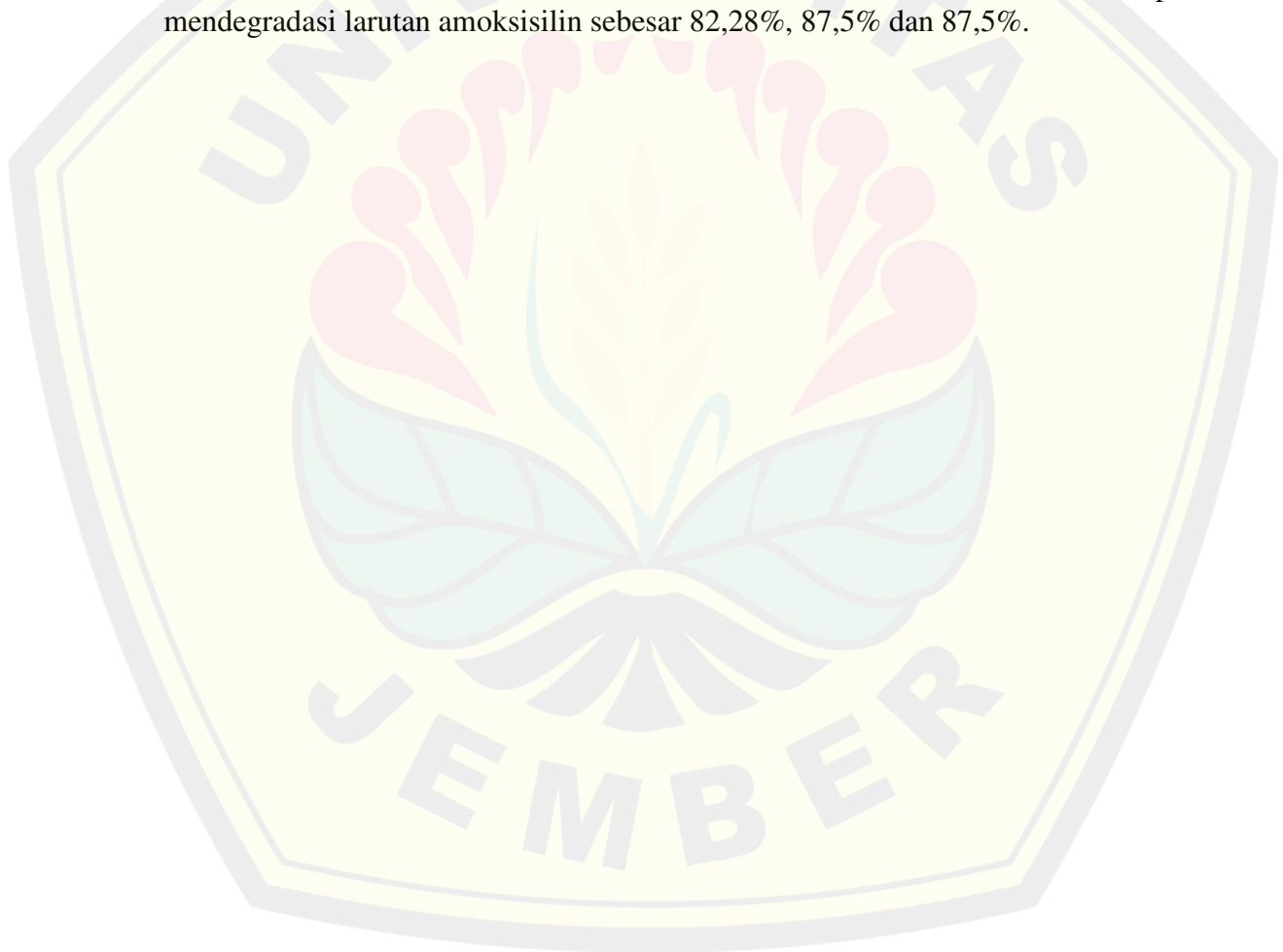
Proses sintesis hidrotermal diawali dengan pencampuran 6mL TTIP + 35 mL air suling + 35 mL etanol kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 700 rpm selama 1 jam, kemudian zeolit sebanyak 1,5 gram dicampurkan ke dalam larutan kemudian diaduk selama 2 jam dengan kecepatan 700 rpm. Campuran tersebut kemudian dimasukkan ke dalam autoklaf hidrotermal dan dipanaskan dengan variasi temperatur operasional 150°C, 180°C, 200°C, dan 220°C selama 12 jam. Setelah proses hidrotermal, sampel yang dihasilkan dicuci menggunakan air suling hingga pH netral, kemudian dipanaskan hingga kering dalam oven dengan suhu 100°C selama 2 jam untuk menghilangkan kadar airnya. Sampel berupa serbuk TiO<sub>2</sub>-zeolit kemudian dikalsinasi pada suhu 500°C selama 3 jam.

Karakteristik material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit dianalisis menggunakan FTIR, XRD dan UV-Vis DRS. Gugus fungsi yang dianalisis berdasarkan hasil karakterisasi FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi Ti-O-Ti yang dibuktikan dengan munculnya puncak serapan pada bilangan gelombang 644 cm<sup>-1</sup>, 636 cm<sup>-1</sup>, 652 cm<sup>-1</sup>, dan 646 cm<sup>-1</sup> pada hasil FTIR material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit hasil sintesis dengan variasi temperatur operasional hidrotermal (150°C, 180°C, 200°C, dan 220°C). Fasa kristal material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit hasil sintesis yang dianalisis menggunakan karakterisasi XRD menunjukkan fasa anatase. Berdasarkan data



XRD juga diperoleh ukuran kristalin dari material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit/150, TiO<sub>2</sub>-zeolit/180, TiO<sub>2</sub>-zeolit/200, dan TiO<sub>2</sub>-zeolit/220 secara berturut-turut sebesar 115,1 nm, 87,57 nm, 95,4 nm, dan 105,9 nm. Energi celah pita material komposit dianalisis berdasarkan data UV-Vis DRS. Material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit/150, TiO<sub>2</sub>-zeolit/180, TiO<sub>2</sub>-zeolit/200, dan TiO<sub>2</sub>-zeolit/220 memiliki nilai energi celah pita berturut-turut sebesar 3,316 eV, 3,325 eV, 3,327 eV, dan 3,328 eV.

Uji aktivitas fotokatalitik dari material komposit dilakukan pada larutan amoksisilin. Keberadaan limbah antibiotik dalam perairan dengan jangka waktu yang lama akan menyebabkan resistensi bakteri sehingga dapat membahayakan kesehatan masyarakat. Uji aktivitas fotokatalitik dilakukan di dalam *UV-Chamber* selama 150 menit dengan *sampling* setiap 30 menit. Kemudian dilakukan pengukuran absorbansi dari hasil *sampling* menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui penurunan konsentrasi larutan selama proses fotodegradasi. Hasil yang diperoleh yaitu material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit/180 mampu mendegradasi amoksisilin sebesar 89,87% dalam waktu 60 menit, sedangkan material TiO<sub>2</sub>-zeolit/150, TiO<sub>2</sub>-zeolit/200 dan TiO<sub>2</sub>-zeolit/220 berturut-turut dapat mendegradasi larutan amoksisilin sebesar 82,28%, 87,5% dan 87,5%.



## PRAKATA

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Karakteristik Material Komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit yang Disintesis Menggunakan Metode Hidrotermal dengan Variasi Temperatur”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan stata satu (S-1) di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

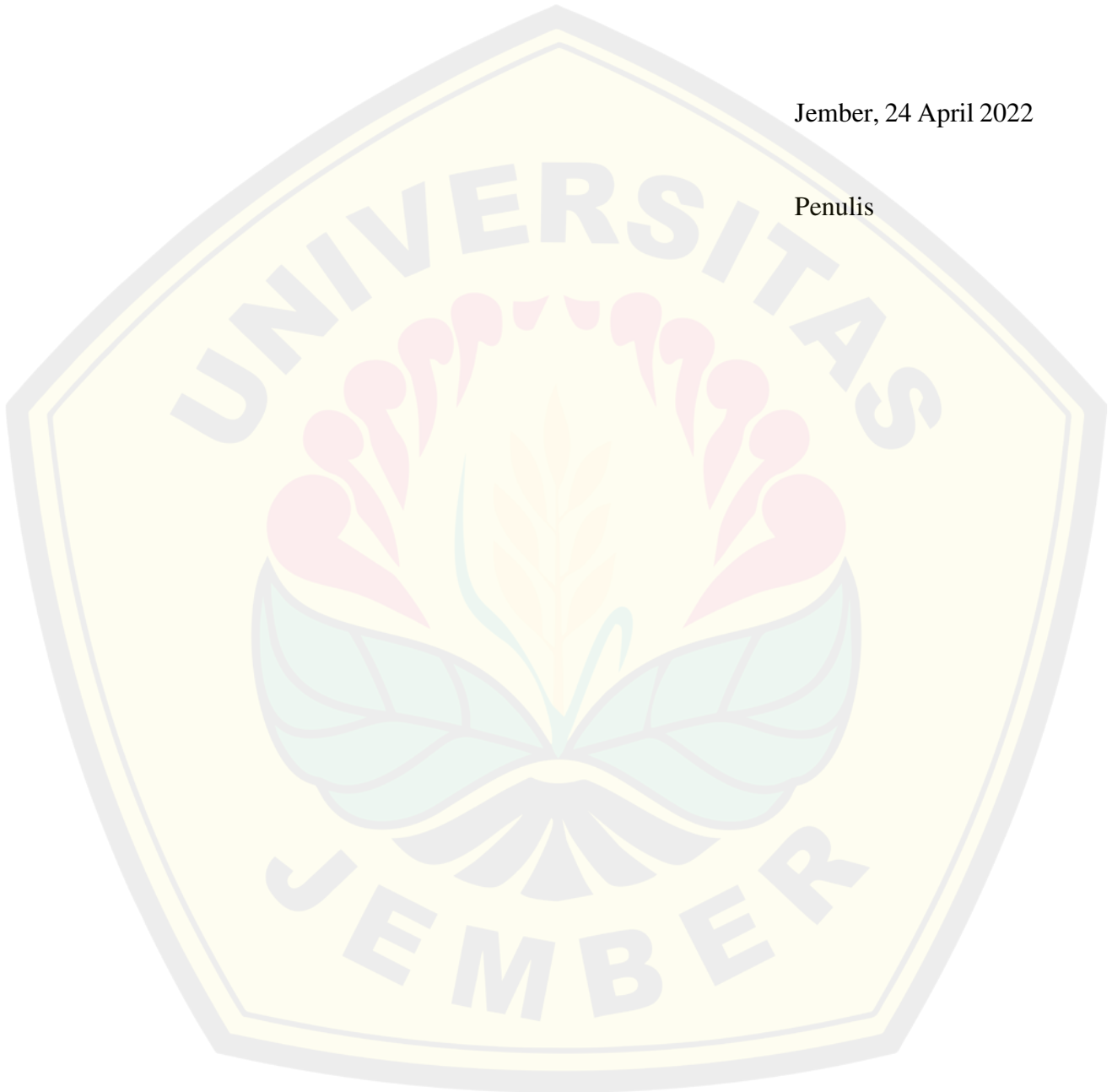
Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, dukungan, bimbingan, dan pengarahan dari berbagai pihak. Oleh skarena itu, dalam kesempatan ini penulis berterima kasih kepada:

1. Dr. Sutisna, S.Pd., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Utama serta Dosen Pembimbing Akademik, dan Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah membimbing dan meluangkan waktu, pikiran, tenaga, dan perhatian dalam membantu penulisan skripsi ini;
2. Wenny Maulina, S.Si., M.Si. selaku Dosen Penguji I dan Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si. selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktu untuk menguji dan memberikan kritik serta saran demi kesempurnaan penulisan skripsi ini;
3. Segenap Dosen dan Karyawan Fakultas MIPA Universitas Jember yang selalu membantu dan mendukung selama penulis kuliah;
4. Keluarga yang telah memberikan dukungan, semangat dan do'a demi terselesaikannya penulisan skripsi ini;
5. Teman-teman fisika material yang telah memberikan dukungan dan motivasi dalam penelitian;
6. Teman-teman seperjuangan (Lia, Adit, Intan, Ayu, dkk) dan teman-teman asisten (Yusi, Zein, Hana, Andini, Putri, Niken) yang selalu memberikan dukungan;
7. Teman-teman pengurus HIMAFI 2021 yang telah mengajarkan arti kepemimpinan, musyawarah, kepemimpinan, dll serta dukungan dan do'a;
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak pembaca demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca serta perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang Fisika.

Jember, 24 April 2022

Penulis



**DAFTAR ISI**

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	vi
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>PRAKATA</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	4
<b>1.3 Tujuan</b> .....	5
<b>1.4 Manfaat</b> .....	5
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
<b>2.1 Semikonduktor TiO<sub>2</sub> sebagai Fotokatalis</b> .....	6
<b>2.2 Material Zeolit Sebagai Adsorben</b> .....	9
<b>2.3 Sintesis Material Komposit TiO<sub>2</sub>-Zeolit dengan Metode Hidrotermal</b> .....	11
<b>2.4 Karakterisasi Material</b> .....	12
2.4.1 FTIR ( <i>Fourier Transform Infra Red</i> ) .....	12
2.4.2 XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ).....	13
2.4.3 Spektrofotometer UV-Vis.....	13
<b>2.5 Antibiotik Amoksisilin</b> .....	15
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	17
<b>3.1 Kegiatan Penelitian</b> .....	17

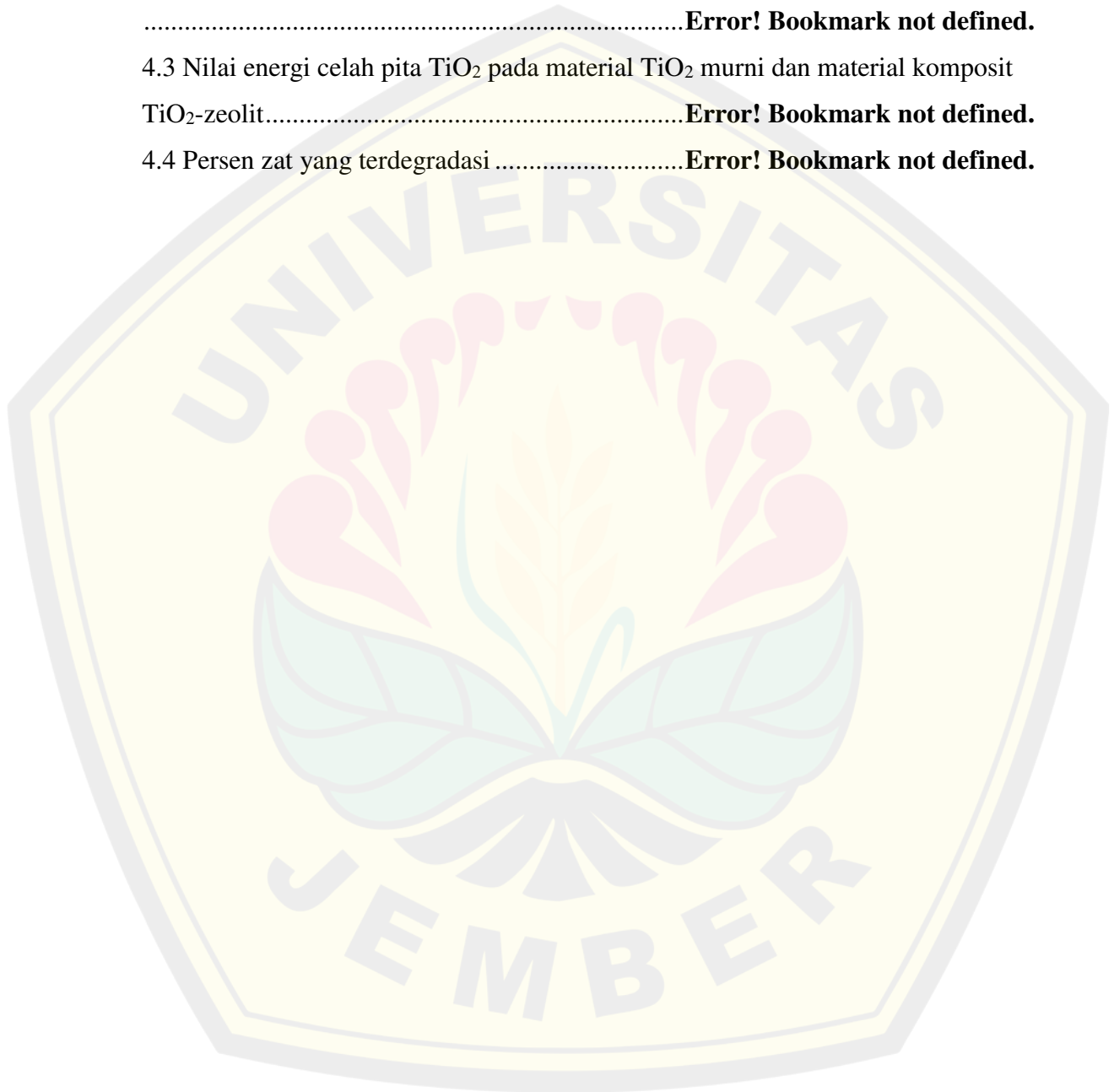
<b>3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>3.3 Definisi Operasional Variabel dan Skala Pengukuran</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.1 Operasional Variabel .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.2 Skala Pengukuran .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>3.4 Kerangka Pemecahan Masalah.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.1 Tahap Aktivasi Zeolit .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.2 Tahap Sintesis Material Komposit TiO <sub>2</sub> -zeolit....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.3 Tahap Karakterisasi Material Komposit TiO <sub>2</sub> -zeolit..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.4 Tahap Uji Aktivitas Material pada Larutan Amoksisilin.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>3.5 Analisis Data .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5.1 Analisis Gugus Fungsi .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5.2 Analisis Fasa Kristal .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5.3 Analisis Energi Celah Pita .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5.4 Analisis Aktivitas Fotokatalitik dalam Fotodegradasi Amoksisilin .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1 Hasil Sintesis Material Komposit TiO<sub>2</sub>-Zeolit .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2 Karakteristik Material Komposit TiO<sub>2</sub>-Zeolit Hasil Sintesis.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.1 Karakteristik Gugus Fungsi .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.2 Karakteristik Fasa Kristal dan Ukuran Kristal.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.3 Karakteristik Energi Celah Pita .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>4.3 Aktivitas Fotokatalitik Material Komposit TiO<sub>2</sub>-Zeolit .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>5.1 Kesimpulan .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

5.2 Saran.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA.....	21
LAMPIRAN.....	28



**DAFTAR TABEL**

2.1 Resistensi antibiotik amoksisilin.....	16
4.1 Data karakterisasi FTIR .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2 Sudut puncak difraksi ( $2\theta$ ) material TiO <sub>2</sub> , komposit TiO <sub>2</sub> -zeolit, dan referensi .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3 Nilai energi celah pita TiO <sub>2</sub> pada material TiO <sub>2</sub> murni dan material komposit TiO <sub>2</sub> -zeolit.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4 Persen zat yang terdegradasi .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>



## DAFTAR GAMBAR

2.1 Pita energi semikonduktor.....	6
2.2 Skema aktivitas fotokatalis .....	7
2.3 Struktur kristal TiO <sub>2</sub> .....	8
2.4 Struktur zeolit mordenit .....	10
2.5 Struktur kimia dari amoksisilin.....	15
3.1 Diagram alir kegiatan penelitian .....	17
3.2 Skema kerangka pemecah masalah.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3 Proses aktivasi zeolit.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4 Skema sintesis material komposit TiO <sub>2</sub> -zeolit .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1 Material komposit TiO <sub>2</sub> -zeolit hasil sintesis dengan variasi temperatur .....	20
4.2 Hasil karakterisasi FTIR dari material komposit TiO <sub>2</sub> , zeolit, dan TiO <sub>2</sub> -zeolit .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3 Hasil karakterisasi XRD dari material komposit hasil sintesis .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4 Grafik ukuran kristal dari masing-masing material TiO <sub>2</sub> hasil sintesis ...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.5 Grafik untuk menentukan energi celah pita TiO <sub>2</sub> pada material komposit TiO <sub>2</sub> -zeolit.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.6 Grafik absorbansi larutan amoksisilin.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.7 Grafik presentase konsentrasi amoksisilin yang belum terdegradasi (R%) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.8 <i>Fitting</i> model LH orde 1 material komposit hasil sintesis ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.9 Grafik perbandingan nilai konstanta laju reaksi pada TiO <sub>2</sub> dan TiO <sub>2</sub> -zeolit .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>



## DAFTAR LAMPIRAN

1.1 Proses sintesis material komposit TiO <sub>2</sub> -zeolit.....	56
2.1 Hasil FTIR material TiO <sub>2</sub> .....	57
2.2 Hasil FTIR material komposit TiO <sub>2</sub> -zeolit.....	58
2.3 Hasil FTIR zeolit.....	59
3.1 Hasil XRD material TiO <sub>2</sub> /150.....	60
3.2 Hasil XRD material TiO <sub>2</sub> /180.....	61
3.3 Hasil XRD material TiO <sub>2</sub> /200.....	62
3.4 Hasil XRD material TiO <sub>2</sub> /220.....	63
3.5 Hasil XRD material komposit TiO <sub>2</sub> -zeolit/150.....	64
3.6 Hasil XRD material komposit TiO <sub>2</sub> -zeolit/180.....	65
3.7 Hasil XRD material komposit TiO <sub>2</sub> -zeolit/200.....	66
3.8 Hasil XRD material komposit TiO <sub>2</sub> -zeolit/220.....	67
4.1 Data referensi XRD JCPDS 21-1272.....	68
5.1 Perhitungan ukuran kristal material TiO <sub>2</sub> menggunakan <i>Microsoft excel</i> .....	69
5.2 Perhitungan ukuran kristal material komposit TiO <sub>2</sub> -zeolit menggunakan <i>Microsoft excel</i> .....	71
6.1 Analisa hasil karakterisasi UV-Vis DRS .....	72
7.1 Hasil sampling larutan amoksisilin saat uji fotodegradasi .....	75
7.2 Perhitungan zat yang belum terdegradasi (R%).....	75
7.3 Perhitungan zat yang terdegradasi .....	76

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Titanium dioksida atau biasa disebut dengan titania merupakan oksida titanium dengan rumus kimia  $\text{TiO}_2$  yang berbentuk serbuk putih. Material  $\text{TiO}_2$  ditemukan pertama kali pada tahun 1821 dan dikomersialkan sebagai zat pewarna putih pada tahun 1916.  $\text{TiO}_2$  adalah material semikonduktor yang memiliki energi celah pita mulai dari 3,0 – 3,4 eV (Karim *et al.*, 2016). Material ini dikenal sebagai material yang baik untuk degradasi polutan-polutan lingkungan seperti untuk fotodegradasi zat warna, pestisida, fenol, p-klorofenol, dan asam-asam karboksilat (Anggraini, 2019). Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) memiliki tiga struktur kristal, yaitu *anatase* (tetragonal), *rutile* (tetragonal), dan *brookite* (ortorombik). Dari ketiga struktur  $\text{TiO}_2$ , fasa anatase yang sering digunakan dalam proses fotokimia karena memiliki mobilitas elektron yang tinggi, konstanta dielektrik yang rendah, dan memiliki densitas yang rendah (Carp *et al.*, 2004).

Keuntungan dari material  $\text{TiO}_2$  yaitu tidak beracun, *biocompatible*, harga cukup terjangkau dan memiliki stabilitas kimia yang sangat tinggi (Parrino dan Palmisano, 2020), akan tetapi metode fotokatalisis  $\text{TiO}_2$  memiliki kelemahan yaitu daya adsorpsi yang rendah dan prosesnya hanya terjadi di permukaan  $\text{TiO}_2$  (Singh *et al.*, 2016). Kelemahan yang terdapat dalam metode ini menyebabkan diperlukannya penelitian mengenai material  $\text{TiO}_2$  yang dimodifikasi dengan material sorben agar memiliki daya serap yang tinggi untuk meningkatkan degradasi limbah.

Material sorben merupakan material yang mampu menyaring atau mengikat molekul-molekul di sekitarnya. Proses adsorpsi terjadi karena adanya pori-pori material sehingga dapat menyaring dan menyerap molekul-molekul di sekitarnya. Bahan berpori yang dapat digunakan sebagai material adsorben antara lain karbon aktif, silika gel, dan zeolit. Zeolit merupakan material alami berpori dan memiliki beberapa kandungan mineral dominan ( $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$ ). Zeolit memiliki bentuk kristal yang sangat teratur dengan rongga yang saling berhubungan ke segala arah sehingga menyebabkan luas permukaan zeolit sangat besar (Emelda *et al.*, 2013).

Kemampuan zeolit sebagai adsorben memungkinkan adanya adsorpsi dalam fisika, kimia, serta ikatan hidrogen. Pori-pori yang dimiliki zeolit memungkinkan adanya penyerapan yang menempati pori-pori tersebut, sehingga besarnya daya serap yang dapat dilakukan bergantung pada jumlah pori dan luas permukaan zeolit (Prameswari, 2020). Akan tetapi, molekul yang diikat zeolit hanya di permukaan, sehingga ketika diaplikasikan untuk pengolahan limbah, kontaminan limbah tersebut akan menutupi permukaan zeolit dan menurunkan kemampuan adsorpsinya. Oleh karena hal tersebut, perlu pengolahan lanjutan untuk menghilangkan kontaminan yang terjerap di permukaan zeolit sehingga tidak lepas kembali mencemari lingkungan.

Penelitian zeolit sebagai adsorben banyak dilakukan untuk proses fotokatalis, salah satunya yaitu penelitian yang dilakukan oleh Liu *et al.* (2018) yaitu fotokatalisis  $\text{TiO}_2$ -zeolit untuk mendegradasi Sulfadiazine (SDZ). Hasil yang diperoleh yaitu  $\text{TiO}_2$ -zeolit dapat meningkatkan efisiensi dalam degradasi fotokatalitik SDZ lebih dari 90% dalam waktu 120 menit. Alfarez *et al.* (2018) juga melaporkan bahwa sifat optik dan fotokatalisis  $\text{TiO}_2$ -zeolit meningkat dengan penggabungan zeolit dalam  $\text{TiO}_2$ . Jansson *et al.* (2015) telah melakukan penelitian fotokatalisis  $\text{TiO}_2$ /zeolit untuk degradasi polutan dalam fase gas. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa sifat polutan dan karakteristik fisikokimia zeolit memiliki pengaruh yang kuat pada kemampuan adsorpsi dan kinerja fotokatalitik komposit.

Metode yang digunakan untuk sintesis  $\text{TiO}_2$ -zeolit sudah banyak dilakukan diantaranya metode sol-gel, solvothermal, dekomposisi termal, dan hidrotermal. Metode hidrotermal dilakukan dengan mencampurkan bahan baku dengan memanaskannya pada suhu tertentu. Keuntungan dari metode hidrotermal yaitu proses yang sederhana, bebas polusi, tingkat dispersi lebih tinggi, suhu reaksi lebih rendah, dan kemudahan dalam mengontrol bentuk (Pujiyanto, 2009). Bagheri *et al.* (2015) telah melakukan penelitian sintesis  $\text{TiO}_2$ -karbon aktif dengan menggunakan metode hidrotermal untuk degradasi *metil orange*. Hasil yang diperoleh menunjukkan tingkat adsorpsi yang tinggi. Ismila (2021) melakukan penelitian sintesis  $\text{TiO}_2$ -zeolit alam menggunakan metode hidrotermal dengan variasi

komposisi untuk degradasi zat warna biru metilen. Hasil yang diperoleh menunjukkan material TiO<sub>2</sub>(40%)-zeolit alam mampu mendegradasi zat warna biru metilen lebih dari 95% dalam waktu 2,5 jam. Metode hidrotermal dilakukan pada sistem tertutup untuk mencegah hilangnya pelarut saat dipanaskan, sehingga komposisi reaktan dalam sintesis tidak berkurang. Pemanasan pada suhu mendekati titik didih air akan menyebabkan terbentuknya uap air yang tetap tertahan didalam sistem (Fajari, 2006).

Temperatur operasional hidrotermal saat sintesis material akan mempengaruhi karakteristik material hasil sintesis. Hal ini dikarenakan temperatur mempengaruhi ukuran partikel dan perubahan fasa. Susilowati (2016) melakukan sintesis N-TiO<sub>2</sub> dengan variasi temperatur 110°C, 120°C dan 150°C. Hasil yang didapatkan yaitu pada temperatur 120°C rasio fasa *rutile* mengalami penurunan dan akan naik pada temperatur 150°C. Sedangkan rasio fase *anatase* menurun seiring dengan naiknya temperatur hidrotermal. Kim *et al.* (2005) melakukan sintesis hidrotermal TiO<sub>2</sub> menggunakan *titanium tetraisopropoxide* (TTIP) dan penambahan HNO<sub>3</sub> dengan variasi temperatur 120°C, 140°C, 160°C, 180°C, dan 200°C. Hasil yang diperoleh yaitu material TiO<sub>2</sub> dengan temperatur 180°C menunjukkan aktivitas tertinggi pada dekomposisi fotokatalitik *metil orange*. Maulana (2021) juga melakukan sintesis TiO<sub>2</sub> menggunakan metode hidrotermal dengan variasi temperatur operasional 150°C, 180°C, dan 200°C. Hasil yang diperoleh yaitu material TiO<sub>2</sub> dengan temperatur 180°C dapat mendegradasi amoksisilin 100% dalam waktu 120 menit. Oleh karena itu, pada penelitian ini metode hidrotermal yang digunakan untuk sintesis TiO<sub>2</sub>-zeolit dilakukan dengan memvariasi temperatur operasional hidrotermal.

Berdasarkan uraian tersebut, pada penelitian ini akan dilakukan sintesis TiO<sub>2</sub>-zeolit menggunakan metode hidrotermal dengan variasi temperatur. Proses sintesis dilakukan dengan memodifikasi langkah Ismila (2021) yaitu dengan mengganti TiO<sub>2</sub> komersil dengan TiO<sub>2</sub> yang disintesis dari TTIP. Material TiO<sub>2</sub>-zeolit hasil sintesis kemudian dikarakterisasi untuk mengetahui karakteristik fisis dari material. Adapun karakterisasi yang digunakan meliputi karakterisasi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi material komposit

TiO<sub>2</sub>-zeolit hasil sintesis, karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa kristal material, karakterisasi UV-Vis DRS untuk mengetahui energi celah pita material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit hasil sintesis, serta karakterisasi UV-Vis untuk mengetahui penurunan absorbansi yang berhasil dilakukan menggunakan material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit hasil sintesis.

Uji aktivitas fotokatalitik material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit hasil sintesis dilakukan melalui uji fotodegradasi dari antibiotik amoksisilin. Antibiotik merupakan obat yang berasal dari seluruh atau bagian tertentu mikroorganisme dan digunakan untuk mengobati infeksi bakteri. Antibiotik selain membunuh mikroorganisme atau menghentikan reproduksi bakteri, juga membantu sistem pertahanan alami tubuh untuk mengeliminasi bakteri (Fernandez, 2013).

Antibiotik yang paling banyak dikonsumsi yaitu amoksisilin. Amoksisilin merupakan penisilin amino yang diindikasikan dalam mengobati infeksi karena rentan isolate dari bakteri (Akhavan *et al.*, 2021). Produksi dan pemanfaatan antibiotik saat ini terus meningkat. Antibiotik tidak dapat diserap atau dimetabolisme oleh tubuh. 30-90% antibiotik diekskresikan ke lingkungan melalui feses (Heberer, 2002). Oleh karena itu residu antibiotik dapat menyebabkan pencemaran air.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yang berdasarkan pada latar belakang di atas adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana karakteristik fisis (gugus fungsi, fasa kristal, ukuran kristalin, dan energi celah pita) dari material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit hasil sintesis dengan variasi temperatur operasional hidrotermal?
- b. Bagaimana aktivitas fotokatalitik TiO<sub>2</sub>-zeolit hasil sintesis dalam mendegradasi amoksisilin?



### 1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini berdasarkan rumusan masalah adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui karakteristik fisis (gugus fungsi, fasa kristal, ukuran kristalin, dan energi celah pita) dari material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit hasil sintesis dengan variasi temperatur operasional hidrotermal.
- b. Mengetahui aktivitas fotokatalitik TiO<sub>2</sub>-zeolit hasil sintesis dalam mendegradasi amoksisilin.

### 1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

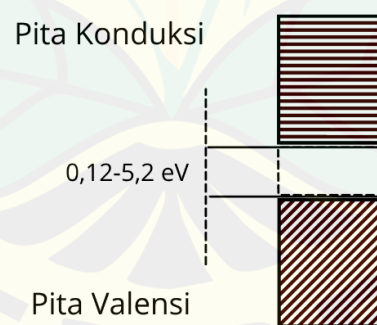
- a. Sebagai kontribusi untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama dalam bidang rekayasa material untuk aplikasi remediasi lingkungan.
- b. Sebagai pengetahuan untuk mengetahui potensi aplikasi material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit dalam pengolahan limbah amoksisilin.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka pada penelitian ini membahas mengenai teori-teori yang digunakan pada penelitian. Pada bab ini terdapat semikonduktor  $\text{TiO}_2$  sebagai fotokatalis, material zeolit sebagai adsorben, sintesis material komposit  $\text{TiO}_2$ -zeolit dengan metode hidrotermal, karakteristik material, dan antibiotik amoksisilin.

### 2.1 Semikonduktor $\text{TiO}_2$ sebagai Fotokatalis

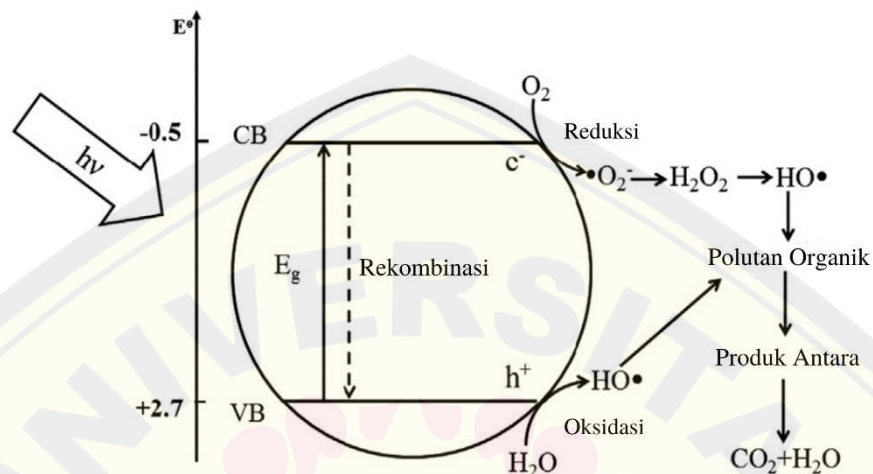
Semikonduktor adalah suatu material dengan konduktivitas yang berada diantara isolator dan konduktor. Bahan semikonduktor memiliki energi celah pita (0,12-5,2) eV dengan dua pita energi, yaitu pita konduksi dan pita valensi. Pita valensi adalah pita yang terbentuk dari orbital molekul yang berikatan (*bonding*), sedangkan pita konduksi adalah pita yang terbentuk dari molekul yang tidak berikatan (*nonbonding*). Pita konduksi dan pita valensi memiliki jarak yang dinamakan celah pita (*band gap*). Celah pita energi merupakan energi yang dibutuhkan oleh suatu elektron agar tereksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi dimana semakin besar jarak celah pita maka elektron akan semakin sulit tereksitasi dan efek fotokatalis yang diberikan akan semakin berkurang (Ningsih, 2012). Gambar 2.1 merupakan ilustrasi pita energi dari semikonduktor.



Gambar 2.1 Pita energi semikonduktor (Sumber: Sutanto, 2015)

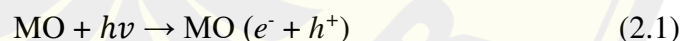
Fotokatalisis merupakan kombinasi antara dua proses yaitu proses fotokimia dan proses katalisis. Fotokatalisis adalah suatu proses fotoreaksi atau transformasi secara kimiawi dengan menggunakan cahaya sebagai pemicu dan material katalis sebagai mempercepat laju reaksi tanpa ikut bereaksi secara keseluruhan. Katalis

memiliki kemampuan untuk mengadakan interaksi dengan minimal satu molekul reaktan untuk menghasilkan senyawa antara yang lebih reaktif, sehingga jumlah katalis pada awal sampai akhir reaksi akan sama. Katalis yang dapat menyerap energi foton disebut sebagai fotokatalisis (Afrozi, 2010).

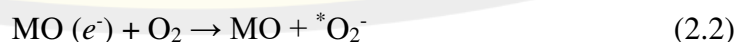


Gambar 2.2 Skema aktivitas fotokatalis (Sumber: Sutanto, 2015)

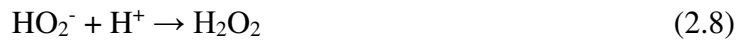
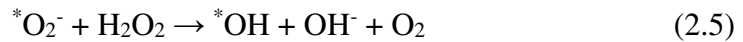
Skema aktivitas fotokatalis secara sederhana diilustrasikan pada gambar 2.2. Fotokatalis umumnya terjadi pada bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor apabila dikenai suatu energi foton maka akan terjadi loncatan elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Loncatan elektron tersebut menyebabkan timbulnya *hole* atau lubang elektron yang dapat berinteraksi dengan pelarut atau air membentuk radikal  $^*\text{OH}$ . Radikal bersifat aktif dan dapat berlanjut untuk menguraikan senyawa organik suatu bahan (Fatimah dan Wijaya, 2005). Menurut Sutanto dan Wibowo (2015), persamaan fundamental dari reaksi fotokatalis adalah sebagai berikut:



dimana MO menyatakan Metal Oksida, elektron yang dihasilkan memicu terjadinya reaksi reduksi sehingga terbentuk anion superoksida ( $^*\text{O}_2^-$ ), molekul hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), radikal hidroksil ( $^*\text{OH}$ ), anion hidrogen dioksida ( $\text{HO}_2^-$ ) dan radikal hidroperoksi ( $^*\text{HO}_2$ ).







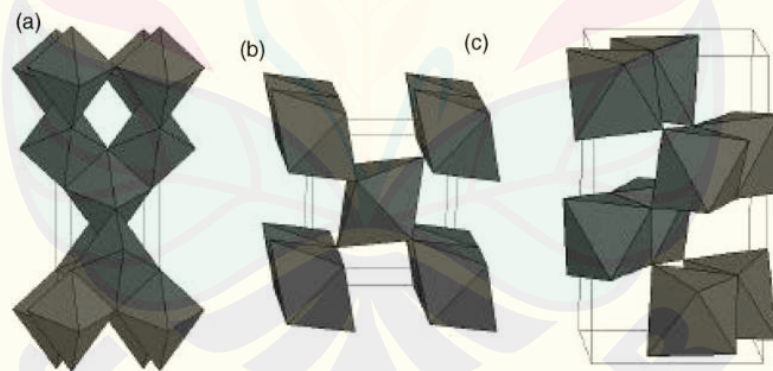
Ketika reaksi oksidasi yang diinisiasi oleh *hole* maka akan terbentuk:



Kedua reaksi oksidasi dan reduksi tersebut akan berujung dengan:



Material fotokatalis yang paling banyak digunakan untuk aplikasi fotokatalis adalah titanium dioksida atau titania ( $TiO_2$ ). Titanium dioksida merupakan bahan semikonduktor yang dapat diaktifkan secara kimia oleh cahaya, dengan energi celah pita 3 – 3,4 eV.  $TiO_2$  memiliki tiga jenis struktur Kristal yang berbeda, yaitu rutil, anatase, dan brookite (Benedix *et al.*, 2000). Struktur Kristal  $TiO_2$  masing-masing ditunjukkan pada Gambar 2.3.



(a) Anatase; (b) Rutile; (c) Brookite

Gambar 2.3 Struktur kristal  $TiO_2$  (Sumber: Carp *et al.*, 2004)

Struktur *rutile*, *anatase* dan *brookite* dijelaskan dalam bentuk  $TiO_2$  oktahedral. Ketiga struktur Kristal tersebut berbeda oleh setiap distorsi oktahedral dan pola perakitan rantai oktahedral. *Anatase* dapat digabung dari oktahedral yang dihubungkan dengan simpulnya. *Rutile* terdapat tepi-tepi yang terhubung,

sedangkan pada *brookite* simpul dan tepi tersambung. Struktur kristal yang cukup stabil keberadaannya yaitu *anatase* dan *rutile* (Carp *et al.*, 2004).

Material  $\text{TiO}_2$  dikenal sebagai material yang baik untuk degradasi polutan lingkungan karena aktivitas fotokatalisnya yang tinggi, tidak beracun dan stabil dalam larutan air serta biaya yang cukup murah (Firdaus *et al.*, 2012). Material  $\text{TiO}_2$  memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan fotokatalis lainnya, antara lain stabilitas yang sangat baik terhadap korosi kimia dan fotonik, serta memiliki luas permukaan dan aktivitas fotokatalitik yang tinggi. Material  $\text{TiO}_2$  yang memiliki luas permukaan tinggi akan tidak stabil secara termal dan mudah kehilangan luas permukaannya (Li *et al.*, 2009), sehingga banyak upaya yang difokuskan pada pelapisan  $\text{TiO}_2$  pada penyangga dengan luas permukaan tinggi seperti silika atau alumina untuk menstabilkan material  $\text{TiO}_2$  (Pang *et al.*, 2012).

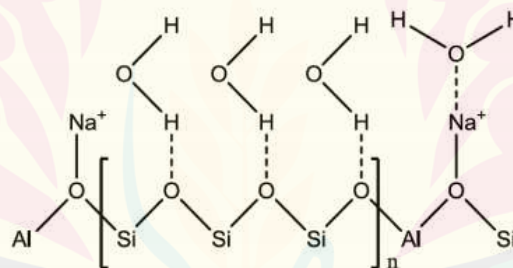
## 2.2 Material Zeolit Sebagai Adsorben

Zeolit merupakan salah satu mineral gabungan dari kristal alumina silikat terhidrasi yang didalamnya terkandung ikatan  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$  tetrahedra yang dihubungkan oleh atom oksigen untuk membentuk kerangka. Zeolit memiliki kerangka dimana pada kerangka tersebut, tiap atom Al bersifat negatif dan akan dinetralkan oleh ikatan dengan kation yang mudah ditukar. Kation yang mudah ditukar yang terdapat pada kerangka zeolit akan berpengaruh dalam proses adsorpsi dan sifat-sifat termal zeolit (Ozkan dan Ulku, 2008).

Zeolit banyak digunakan karena memiliki porositas tinggi, adanya muatan di permukaan, pertukaran kation, serta jumlahnya yang melimpah di alam. Selain zeolit alam, zeolit sintesis juga sudah tersedia secara komersial. Zeolit sintesis lebih banyak digunakan dibandingkan dengan zeolit alam karena keseragaman ukuran, tingkat kemurnian yang tinggi dan struktur zeolit yang dapat dibuat sesuai dengan yang dibutuhkan. Namun ada kekurangan pada zeolit sintesis yaitu ketersediaan sumber silika dan alumina, dan biaya yang diperlukan untuk mencari bahan dasar yang tidak murah (Trisunaryati, 2001).

Zeolit alam banyak terkandung di alam Indonesia. Zeolit yang ada di Indonesia diketahui 60-70 % merupakan jenis mordenit dan sisanya klinoptilolit

(Trisunaryanti, 2001). Zeolit klinoptilolit mempunyai struktur complex 4-4-1 ( $T_{10}O_{20}$ ), dengan dua ukuran saluran  $0,35 \text{ nm} \times 0,79 \text{ nm}$  dan  $0,44 \times 0,30 \text{ nm}$ . Zeolit mordenit mempunyai struktur kompleks 5-1 ( $T_8O_{16}$ ) dengan ukuran saluran  $0,67 \text{ nm} \times 0,70 \text{ nm}$  dan  $0,29 \text{ nm} \times 0,57 \text{ nm}$ . Rasio Si/Al klinoptilolit adalah 4,0-5,1 dan mempunyai kandungan ion  $K > Na > Ca > Mg$ . Mordenit mempunyai rasio Si/Al antara 4,3-5,3 dan mengandung ion  $Na > K > Ca > Mg$  (Hasibuan, 2012). Zeolit mordenit memiliki kemampuan penyerapan dan difusi reaktan dengan rongga dan saluran yang dimiliki. Zeolit mordenit dengan karakteristiknya tersebut mampu digunakan sebagai material sorben, penukar ion dan katalisator (Sutarti dan Rachmawati, 1994). Zeolit mordenit termasuk dalam zeolit yang berpori besar (terbentuk dari cincin oksigen berjumlah 12) dengan stabilitas tinggi terhadap asam dan mampu mempertahankan strukturnya hingga suhu tinggi sampai  $800-900 \text{ }^\circ\text{C}$  (Prasetyo *et al.*, 2012).



Gambar 2.4 Struktur zeolit mordenit (Sumber: Intarapong *et al.*, 2013)

Zeolit alam banyak dijadikan sebagai adsorben karena memiliki daya adsorpsi relatif besar dengan pori-pori yang dimilikinya. Adsorpsi adalah proses pengumpulan zat terlarut atau tersuspensi dalam larutan oleh permukaan zat penyerap sehingga masuk dan mengumpul dalam suatu zat penyerap. Zat penyerap tersebut sering disebut adsorben, sedangkan zat yang diserap disebut adsorbat. Ketika dua zat tersebut tergabung dalam satu proses maka ada yang menyebutnya sorpsi (Giyatmi *et al.*, 2008).

Peningkatan kemampuan adsorpsi zeolit dapat dilakukan dengan proses aktivasi. Proses aktivasi salah satunya dapat dilakukan dengan merendam zeolit dengan asam kuat sehingga zat pengotor dalam pori-pori zeolit dapat terpisah.

Pertukaran kation yang terjadi selama proses aktivasi juga menyebabkan banyaknya

kandungan Si dan Al yang berada pada permukaan zeolit meningkat. Kekuatan zeolit sebagai material sorben salah satunya bergantung pada kandungan Si dan Al pada zeolit (Rini, 2010).

### 2.3 Sintesis Material Komposit TiO<sub>2</sub>-Zeolit dengan Metode Hidrotermal

Material fotokatalis (TiO<sub>2</sub>) disintesis dengan material sorben (zeolit) untuk meningkatkan kemampuan material dalam mendegradasi polutan. TiO<sub>2</sub>-zeolit sering disintesis untuk memaksimalkan fungsinya sebagai katalis di beberapa penelitian, salah satunya untuk mendegradasi limbah. Shankar *et al.* (2006) melaporkan zeolit mampu memperbesar luas permukaan sehingga dapat memperkecil kemungkinan pengumpulan TiO<sub>2</sub> pada permukaannya dan kapasitas adsorpsi fotokatalis semakin besar. Liu *et al.* (2014) juga melaporkan bahwa TiO<sub>2</sub> yang disintesis dengan zeolit mampu digunakan berulang kali, setelah dilakukan sebanyak lima kali tidak terjadi penurunan kemampuan adsorpsi secara signifikan. Aktivitas degradasi dari TiO<sub>2</sub>-zeolit setelah digunakan berkali-kali cenderung tetap. Pengembangan TiO<sub>2</sub> pada zeolit yang berukuran besar juga memudahkan pemisahan fotokatalis dari larutan sampel.

Sintesis TiO<sub>2</sub>-zeolit dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai macam metode, diantaranya metode sol-gel (Alvarez *et al.*, 2018), metode solvotermal (Setthaya *et al.*, 2017), metode *solid state dispersion* (Wang *et al.*, 2017), metode hidrotermal (Pausova *et al.*, 2019), dan lain-lain. Sintesis hidrotermal merupakan metode yang banyak digunakan untuk membuat katalis zeolit dalam industri. Metode ini telah diadaptasi untuk mempertahankan tekanan dalam keadaan tinggi (Liu *et al.*, 2013). Metode hidrotermal merupakan reaksi homogen atau heterogen dengan adanya pelarut atau *mineralizer* berair di bawah kondisi tekanan dan suhu tinggi untuk melarutkan dan mengkristalkan kembali bahan yang relatif tidak larut dalam kondisi biasa (Yoshimura dan Byrappa, 2008).

Metode hidrotermal mampu menumbuhkan kristal menggunakan sebuah alat yang terbuat dari tabung baja yang disebut dengan *autoclave*. Reaktor hidrotermal pada umumnya berbentuk tabung silinder berdinding tebal yang memiliki *hermetic seal* dengan tujuan agar tahan terhadap suhu tinggi dan tekanan

dalam beberapa waktu tertentu. *Autoclave* memiliki sifat yang *inert* terhadap larutan untuk mencegah terjadinya reaksi antara dinding dan bagian yang dimasukkan ke dalamnya. *Autoclave* juga diberi *protective insert* sehingga aman jika zat yang dimasukkan bersifat korosif. Bagian ini dapat terbuat dari tembaga, emas, perak, titanium, kaca, kuarsa, atau Teflon bergantung pada temperatur yang akan digunakan (Akhmad *et al.*, 2004).

Teknik hidrotermal memudahkan fabrikasi bahkan pada material kompleks dengan sifat fisik maupun kimia yang ekstrim. Keuntungan metode ini dibandingkan dengan metode lainnya yaitu menghemat energi, proses yang sederhana, tidak membutuhkan penghilangan *template* melalui kalsinasi, efisiensi biaya, kontrol nukleasi yang lebih baik, bebas polusi (ketika dilakukan dalam sistem tertutup), dispersi yang lebih tinggi, tingkat reaksi yang tinggi, lebih mudah untuk mengontrol bentuk, temperatur operasi yang lebih rendah dan dengan menggunakan pelarut yang tepat berpotensi untuk produksi skala besar (Ferdiansyah, 2011). Selanjutnya material hasil sintesis melalui metode hidrotermal juga lebih homogen karena prosesnya terjadi secara perlahan (Yanagisawa dan Ovenstone, 1999).

## 2.4 Karakterisasi Material

Karakterisasi material bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai sifat-sifat spesifik dari material yang disintesis. Karakterisasi material yang digunakan pada penelitian ini adalah karakterisasi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan spektrofotometer UV-Vis.

### 2.4.1 FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)

Spektroskopi infra merah atau FTIR adalah satu diantara banyak instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsional dari suatu sampel (Sastrohamidjojo, 2001). Sistem yang digunakan oleh FTIR disebut dengan interferometer yang berfungsi untuk mengumpulkan spektrum. Interferometer terdiri dari sumber radiasi, pemisah berkas, cermin dan detektor. Cara kerja FTIR yaitu energi inframerah diemisikan dari sumber bergerak melalui celah sempit



untuk mengontrol jumlah energi yang akan diberikan ke sampel. Berkas laser tersebut kemudian memasuki ruang sampel, selanjutnya berkas diteruskan atau dipantulkan oleh permukaan sampel tergantung dari energinya, yang merupakan karakteristik dari sampel. Berkas akhirnya sampai ke detektor (Giwangkara, 2006).

#### 2.4.2 XRD (*X-Ray Diffraction*)

Difraksi sinar-X atau XRD merupakan alat untuk menyelidiki struktur kristal. XRD juga dapat digunakan untuk analisis kimia, pengukuran tegangan, pengukuran ukuran partikel, penentuan orientasi satu kristal dan ansambel orientasi dalam agregat polikristalin (Cullity, 1978). Komponen dasar dari XRD yaitu sumber sinar-X (*X-Ray source*), tempat objek yang diuji (*specimen*), dan detektor sinar-X (*X-Ray detector*). Prinsip kerja dari XRD yaitu sinar-X diperoleh dari penembakan logam anoda oleh elektron berenergi tinggi yang berasal dari hasil pemanasan filamen dari tabung sinar-X. Sinar-X tersebut menembak sampel padatan kristalin, kemudian sinar didifraksikan ke segala arah dengan memenuhi Hukum Bragg, yang menyatakan bahwa perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-X harus merupakan kelipatan panjang gelombang. Detektor bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel. Bentuk keluaran dari difraktometer merupakan bentuk data analog yang berupa grafik garis-garis yang terekam per menit sinkron, dengan detektor dalam sudut  $2\theta$  per menit, sehingga sumbu-x setara dengan sudut  $2\theta$ . Adapun bentuk keluaran rekaman digital yang menginformasikan intensitas sinar-X terhadap jumlah intensitas cahaya per detik (Jamaluddin, 2010).

#### 2.4.3 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis adalah alat untuk mengukur transmitansi dan absorbansi pada sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrofotometer terdiri dari spektrometer dan fotometer. Spektrometer berfungsi untuk menghasilkan sinar gelombang dengan panjang gelombang tertentu, sedangkan fotometer berfungsi sebagai alat pengukur intensitas cahaya yang diabsorpsi. Penggunaan transmitansi atau absorbansi dalam spektrofotometer UV-Vis dapat

digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif suatu zat kimia (Khopkar, 1990). Senyawa organik dan anorganik dapat dianalisis secara kualitatif maupun kuantitatif dengan menggunakan spektrofotometer ultraviolet yang memiliki panjang gelombang 200-400 nm. Spektrofotometer biasanya beroperasi dari sekitar 200-1000 nm (Day dan Underwood, 2002). Spektrofotometer UV-Vis DRS merupakan pengukuran intensitas cahaya UV-Vis yang direfleksikan oleh sampel. Spektrofotometer UV-Vis DRS dapat digunakan untuk mengukur penyerapan optik, transmitansi, reflektansi, dan menentukan energi celah pita dari material (Madkour, 2019).

Spektrofotometer UV-Vis terdiri dari lima komponen pokok, yaitu sumber radiasi, wadah sampel berupa kuvet dengan ketebalan  $b = 1$  cm, monokromator, detektor dan rekorder. Penerapan spektrofotometer ultraviolet dan sinar tampak (*visible*) pada umumnya didasarkan pada transisi antara tingkat energi elektronik. Molekul baik tunggal maupun berkelompok memiliki elektron yang dapat dieksitasikan ke tingkat energi yang lebih tinggi, oleh karena itu molekul dapat menyerap radiasi pada daerah *UV-Visible*. Pengabsorpsian cahaya ultraviolet atau tampak oleh suatu molekul biasanya menghasilkan eksitasi elektron *bonding*, sehingga panjang gelombang absorpsi maksimum dapat dikorelasikan dengan jenis ikatan yang ada di dalam molekul yang sedang diselidiki (Sutanto dan Wibowo, 2015).

Menurut Fritz dan Schenk (1966), senyawa yang diuji menggunakan spektrofotometer UV-Vis harus memenuhi hukum Lambert-Beer, dimana pengukuran jumlah zat penyerap atau konsentrasi zat sebanding dengan nilai absorbansinya dengan persamaan sebagai berikut:

$$A = \log(P_0 - P) = abc \quad (2.14)$$

dimana:

$P_0$  = intensitas sinar ( $\text{Wm}^{-2}$ )

$P$  = intensitas sinar diteruskan ( $\text{Wm}^{-2}$ )

$a$  = absorptivitas molar ( $\text{L/mol cm}$ )

$b$  = panjang lintasan (cm)

$c$  = konsentrasi (mol/L)

Menurut Ali dan Hassan (2008), proses degradasi sampel dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan menggunakan persamaan berikut:

$$R(\%) = \frac{A_t}{A_0} \times 100 \quad (2.15)$$

dimana :

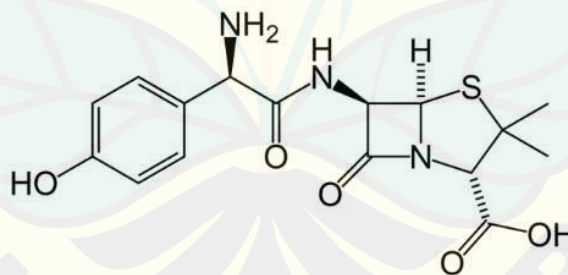
$A_0$  = Absorbansi awal

$A_t$  = Absorbansi pada waktu t.

R% = Presentase zat yang belum terdegradasi

## 2.5 Antibiotik Amoksisilin

Antibiotik merupakan zat kimia kompleks yang dihasilkan oleh mikroorganisme sebagai metabolit sekunder. Kata antibiotik berasal dari kata Yunani “anti” yang berarti melawan dan “bios” yang bermakna hidup. Antibiotik berfungsi untuk menghambat pertumbuhan bakteri (Hassan *et al.*, 2012). Amoksisilin merupakan salah satu antibiotik semisintetik yang digunakan untuk mengobati banyak penyakit infeksi pada anak-anak dan orang dewasa. Penyakit umum yang diobati menggunakan amoksisilin meliputi: radang tenggorokan, infeksi telinga dan sinus, pneumonia bakteri, bronchitis, radang amandel, infeksi saluran kemih, dan penyakit Lyme (Frynkewicz *et al.*, 2013).



Gambar 2.5 Struktur kimia dari amoksisilin (Sumber: Frynkewicz *et al.*, 2013)

Produksi dan pemanfaatan antibiotik saat ini terus meningkat. Antibiotik tidak dapat diserap atau dimetabolisme oleh tubuh. 30-90% antibiotik diekskresikan ke lingkungan melalui feses, sehingga residu antibiotik akan menyebabkan pencemaran air (Hu *et al.*, 2010). Keberadaan limbah antibiotik amoksisilin pada lingkungan dalam jangka yang panjang akan menyebabkan resistensi bakteri.



Resistensi bakteri ini akan membahayakan kesehatan masyarakat sekitar karena penyebarannya berkembang melalui berbagai media di lingkungan seperti tanah, air, udara, makanan, dan makhluk hidup lainnya (Frieri *et al.*, 2017). Menurut Novo (2013), presentase resistensi bakteri heterotrof dan enterobakteri tertinggi ditemukan pada antibiotik amoksisilin yang ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Resistensi antibiotik amoksisilin

Jenis Bakteri	Tipe Air	Nilai rata <sup>2</sup> prevalensi antibiotik ± standart deviasi (%)		
		P1 (n = 6)	P2 (n = 4)	P3 (n = 4)
Heterotrof	Mentah	38,3 ± 8,6	37,4 ± 12,5	39,7 ± 11,5
	Olahan	35,7 ± 12,2	42,0 ± 16,0	20,0 ± 7,7
Enterobakteri	Mentah	35,9 ± 12,4	38,7 ± 19,6	60,9 ± 26,0
	Olahan	49,1 ± 15,6	22,6 ± 4,3	38,3 ± 20,1

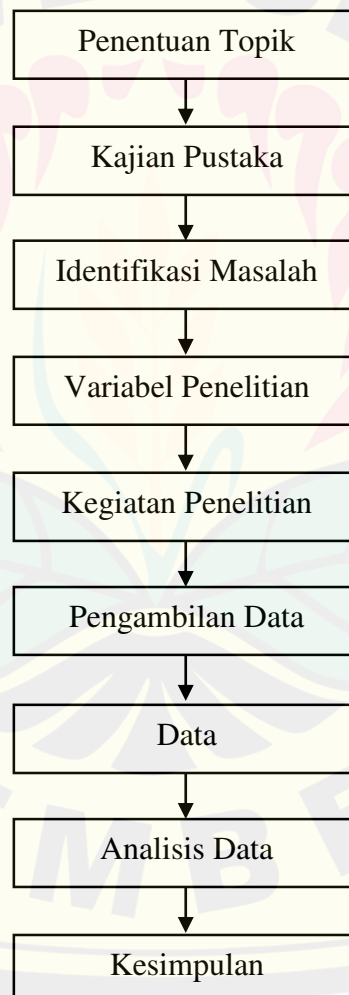
(Sumber: Novo, 2013)

**BAB 3. METODE PENELITIAN**

Metode penelitian membahas mengenai tahapan-tahapan proses penelitian. Pada bab ini terdapat rancangan kegiatan penelitian, jenis dan sumber data, definisi operasional variabel dan skala pengukuran, kerangka pemecahan masalah serta analisis data.

**3.1 Kegiatan Penelitian**

Kegiatan penelitian yang dilakukan ditampilkan dalam bentuk diagram alir berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir kegiatan penelitian

Proses penelitian diawali dengan penentuan topik penelitian. Kajian pustaka dari berbagai sumber literatur dilakukan untuk memperoleh informasi sebagai langkah observasi dalam penelitian. Hasil dari kajian pustaka tersebut diperoleh identifikasi permasalahan yaitu adakah pengaruh metode sintesis material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit terhadap karakteristik dan aktivitasnya. Langkah selanjutnya yaitu menentukan variabel penelitian yang bertujuan untuk membantu proses penelitian sehingga lebih terarah.

Kegiatan penelitian dilakukan dengan memanfaatkan TiO<sub>2</sub> dan zeolit sebagai bahan untuk sintesis material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit yang dilaksanakan dalam 4 tahapan, yaitu aktivasi zeolit alam, sintesis material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit, uji coba material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit, dan karakterisasi material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit. Pelaksanaan kegiatan penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Kegiatan uji spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Fakultas Pertanian Universitas Jember. Kemudian untuk kegiatan karakterisasi FTIR dilakukan di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, sedangkan karakterisasi XRD dan UV-Vis DRS dilakukan di luar instansi. Data karakterisasi yang diperoleh dianalisis melalui proses perbandingan dengan sumber yang diperoleh pada kajian pustaka. Dari hasil analisa tersebut dapat ditarik kesimpulan dari permasalahan penelitian yang telah diajukan.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya *beaker glass*, *magnetic stirrer*, gelas ukur, timbangan analitik, oven, pengaduk, ayakan 150 dan 250 mesh, mortar, pH meter, *syringe*, autoklaf hidrotermal, *furnace*, *sentrifuge*, lampu UV, *UV-chamber*, alat uji FTIR, alat uji XRD, dan spektrofotometer UV-Vis. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain zeolit alam (granular dengan ukuran 2-4 mesh), titanium tetraisopropoksida (TTIP), etanol, air suling, tablet *amoxicillin* 500 mg, dan larutan HCl 6 M.

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab 4 ini membahas mengenai hasil yang diperoleh dari penelitian yaitu hasil sintesis material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit, karakteristik fisis material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit hasil sintesis, dan pembahasan tentang aktivitas fotokatalitik material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit hasil sintesis dalam mendegradasi larutan amoksisilin. Karakteristik fisis material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit hasil sintesis yang dimaksud meliputi gugus fungsi, fasa kristal, ukuran kristal dan energi celah pita.

### 4.1 Hasil Sintesis Material Komposit TiO<sub>2</sub>-Zeolit

Sintesis material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit diawali dengan proses aktivasi zeolit menggunakan larutan HCL 6M. Aktivasi ini bertujuan untuk memperluas permukaan pori-pori zeolit dan menghilangkan pengotor yang terdapat di zeolit. Proses detail mengenai aktivasi zeolit dapat dilihat pada bagian 3.4.1. Tahapan selanjutnya yaitu proses sintesis material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit. TiO<sub>2</sub> pada penelitian ini didapatkan dari larutan TTIP (Ti[OCH(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]<sub>4</sub>) dengan pelarut etanol (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH). TTIP bereaksi dengan H<sub>2</sub>O di dalam pelarut etanol. TTIP mengalami reaksi hidrolisis dengan adanya H<sub>2</sub>O seperti persamaan reaksi 4.1

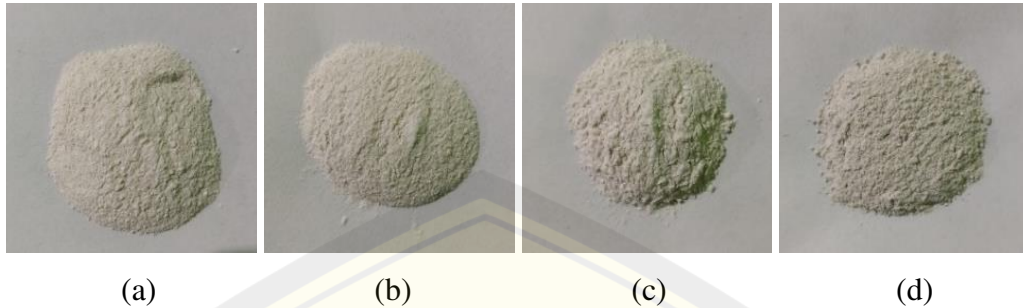


Sintesis material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit dilakukan dengan metode hidrotermal dengan memvariasi temperatur operasional hidrotermal. Metode hidrotermal dilakukan dengan menggunakan alat autoklaf, dimana saat pemanasan di dalam autoklaf, terjadi reaksi kondensasi yaitu pembentukan Ti-O-Ti dari Ti(OH)<sub>4</sub> hasil reaksi hidrolisis dengan persamaan reaksi 4.2



Karena dalam proses sintesis ditambahkan zeolit, maka partikel-partikel TiO<sub>2</sub> yang terbentuk, menempel pada permukaan zeolit dan membentuk komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit. Proses lengkap dari sintesis material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit menggunakan metode hidrotermal dapat dilihat pada bagian 3.4.2. Material komposit hasil sintesis yang didapatkan ada empat, yaitu TiO<sub>2</sub>-zeolit/150, TiO<sub>2</sub>-zeolit/180, TiO<sub>2</sub>-zeolit/200, dan

TiO<sub>2</sub>-zeolit/220. Material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit hasil sintesis hidrotermal ditunjukkan pada Gambar 4.1.



(a) TiO<sub>2</sub>-zeolit/150; (b) TiO<sub>2</sub>-zeolit/180; (c) TiO<sub>2</sub>-zeolit/200; (d) TiO<sub>2</sub>-zeolit/220

Gambar 4.1 Material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit hasil sintesis dengan variasi temperatur

## DAFTAR PUSTAKA

- Afrozi, A. S. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Katalis Non Komposit Berbasis Titania untuk Produksi Hidrogen dari Gliserol dan Air. *Skripsi*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Akhavan, B. J., N. R. Khanna, dan P. Vijhni. 2021. Amoksisilin. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482250/>. [Diakses pada 28 November 2021].
- Akhmad, H. Y., B. Liu, J. M. Xue, J. Wang, H. I. Elim, Wei Ji dan T. J. White. 2004. Controlling the Crystallinity and Nonlinear Optical Properties of Transparent TiO<sub>2</sub>-PMMA nanohybrids. *Journal of Material Chemistry* 14(20): 2978-2987.
- Ali, R. dan H. Hassan. 2008. Degradation Studies on Paraquat and Malathion using TiO<sub>2</sub>/ZnO Based Photocatalyst. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences* 12(1): 77-87.
- Alvarez, K. M., J. Alvarado, B. S. Soto dan M. A. Hernandez. 2018. Synthesis of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles and TiO<sub>2</sub>-Zeolite Composites and Study of Optical Properties and Structural Characterization. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics* 169: 137-146.
- Anggraini, P. D. 2019. Pengolahan Limbah Cair Industri Tekstil Batik dengan Menggunakan Metode Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Karbon Aktif Tempurung Kelapa. *Tugas Akhir*. Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah Jurusan Teknik Permesinan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Augugliaro, V., V. Loddo, M. Pgliaro, G. Palmisano, dan L. Palmisano. 2010. *Clean by Light Irradiation Practical Applications of Supported TiO<sub>2</sub>*. The Royal Society of Chemistry: Cambridge, UK.
- Bagheri, S., Z. Adlan, A. Termeh, dan S. Bee. 2015. Photocatalytic Performance of Activated Carbonsupported Mesoporous Titanium Dioxide. *Nanotechnology and Catalysis Research Centre (NANOCAT)*: 37-41.
- Benedix, R., F. Dehn, J. Quaas, dan M. Orgass. 2000. Application of Titanium Dioxide Photocatalysis to Create Self-Cleaning Building Materials. *LANCER* (5).



- Carp, O., C. L. Huisman, dan A. Reller. 2004. Photoinduced Reactivity of Titanium Dioxide. *Progress in Solid State Chemistry* 32: 33-177.
- Cullity, B. D. 1978. *Elements of X-Ray Diffraction*. Second Edition. Philippines: Addison-Wesley Publishing Company Inc.
- Day, R. A. dan A. L. Underwood. 2002. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Edisi keenam. Jakarta: Erlangga.
- Emelda, L., S. M. Putri, dan S. B. Ginting. 2013. Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi untuk Adsorpsi Logam Cr<sup>3+</sup>. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan* 9(4): 166-172.
- Fajari, A. A. 2006. Pengaruh Waktu Hidrotermal terhadap Ukuran Pori Zeolit Hasil Modifikasi. *Skripsi*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Diponegoro.
- Fatimah, I. dan K. Wijaya. 2005. Sintesis TiO<sub>2</sub>/Zeolit sebagai Fotokatalis pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka secara Adsorpsi-Fotodegradasi. *TEKNOIN* 10(4): 257-267.
- Ferdiansyah, A. 2011. Fabrikasi Nanotubes TiO<sub>2</sub> dengan Tingkat Nanokristalinitas Tinggi untuk Aplikasi Sel Surya Tersensitisasi Zat Pewarna Melalui Teknik Hidrotermal. *Tesis*. Jurusan Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Fernandez, B. A. M. 2013. Studi Penggunaan Antibiotik Tanpa Resep di Kabupaten Manggarai dan Manggarai Barat – NTT. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Universitas Surabaya* 2(2): 1-17.
- Firdaus, C. M., M. S. B. S. Rizam, M. Rusop, dan S. R. Hidayah. 2012. Characterization of ZnO and ZnO: TiO<sub>2</sub> Thin Films Prepared by Sol-Del Spray-Spin Coating Technique. *Procedia Engineering* 41: 1367-1373.
- Frieri, M., K. Kumar, and A. Boutin. 2017. Antibiotic resistance. *Journal of Infection and Public Health*, 10: 369-378.
- Fritz, J. S. dan G. H. Schenk. 1966. *Quantitative Analytical Chemistry*. Toronto: Allyn and Bacon Inc.
- Frynkewicz, H., H. Feezel, dan M. Richardson. 2013. Thermostability Determination of Broad Spectrum Antibiotics at High Temperatures by Liquid Chromatography-Mass Spectrometry. *Proceedings of The National*

*Conference On Undergraduate Research (NCUR)*. 11 April 2013. University of Wisconsin La Crosse, WI.

Giwangkara, S. E. G. 2006. Aplikasi Logika Syarat Fuzzy pada Analisis Sidik Jari Minyak Bumi menggunakan Spektrofotometer Infra Merah Transformasi Fourier (FTIR). *Skripsi*. Sekolah Tinggi Energi dan Mineral.

Giyatmi, Z. Kamal dan D. Melati. 2008. Penurunan Kadar Cu, Cr dan Ag dalam Limbah Cair Industri Perak di Kotagede setelah Diabsorpsi dengan Tanah Liat dari Daerah Godean. *Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta*. 25-26 Agustus 2008. *Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN*: 99-106.

Hassan, M. A., Y. I. E. S. Kamal, R. Aziz, M. R. Sarmidi, A. E. Hesham. 2012. Antibiotics as Microbial Secondary Metabolites: Production and Application. *Jurnal Teknologi* 59(1): 101-111.

Hasibuan, M. 2012. *Manajemen Sumber Daya Manusia*. Jakarta: PT. Bumi Aksara.

Heberer, T. 2002. Occurrence, fate, and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment: a review of recent research data. *Toxicology Letters* 131: 5-17.

Hu, X., Q. Zhou, dan Y. Luo. 2010. Occurrence and Source Analysis of Typical Veterinary Antibiotics in Manure, Soil, Vegetables and Groundwater from Organic Vegetable Bases, Northern China. *Environmental Pollution*. 158: 2992-2998.

Intarapong, P., S. Iangthanasat, P. Phanthong, A. Luengnaruemitchai, dan S. Jai-In. 2013. Activity and Basic Properties of KOH/Mordenite for Transesterification of Palm Oil. *Journal of Energy Chemistry* 22: 690-700.

Ismila, A. 2021. Fotodegradasi Zat Warna Biru Metilen menggunakan Material Komposit TiO<sub>2</sub>-Zeolit Alam. *Skripsi*. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Jamaluddin, K. 2010. X-RD (X-Ray Diffractions). *Makalah Fisika Material*. Jurusan Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Haluoleo.

Jansson, J., S. Suarez, F. J. Garcia-Garcia, B. Sanchez. 2015. Zeolite-TiO<sub>2</sub> hybrid composites for pollutant degradation in gas phase. *Applied Catalysis B: Environmental* 178: 100-107.



- Karim, S., Pardoyo, dan A. Subagiyo. 2016. Sintesis dan Karakterisasi TiO<sub>2</sub> Terdoping Nitrogen (N-Doped TiO<sub>2</sub>) dengan Metode Sol Gel. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* 19(2): 63-67.
- Khopkar, S. M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Kim, J. H., B. H. Noh, G. D. Lee, dan S. S. Hong. 2005. Hydrothermal Synthesis of Titanium Dioxide Using Acidic Peptizing Agents and Their Photocatalytic Activity. *Korean J. Chem. Eng.* 22(3): 370-374.
- Li, Y., M. Zhang, M. Guo, dan X. Wang. 2009. Preparation and Properties of a Nano TiO<sub>2</sub>/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Composite Superparamagnetic Photocatalyst. *Rare Metals* 28(5): 423-427.
- Li, Y., X. Ge, X. Pang, X. Yu, X. Zhen, L. Geng, Y. Wang. 2015. Molecular Assembly and Luminescent Properties of Europium Polymeric Hybrid Material Based on Si-O-Ti Hosts. *Materials Letters*: 1-3.
- Liu, N., X. Chen, J. Zhang, J. W. Schwank. 2013. A review on TiO<sub>2</sub>-based nanotubes synthesized via hydrothermal method: formation mechanism, structure modification, and photocatalytic applications. *Catalysis Today* 255: 34-51.
- Liu, S., M. Lim dan R. Amal. 2014. TiO<sub>2</sub>-Coated Natural Zeolite: Rapid Humic Acid Adsorption and Effective Photocatalytic Regeneration. *Chemical Engineering Science* 105: 46-52.
- Liu, X., Y. Liu, S. Lu, W. Guo, dan B. Xi. 2018. Performance and mechanism into TiO<sub>2</sub>/Zeolite composites for sulfadiazine adsorption and photodegradation. *Chemical Engineering Journal* 350: 131-147.
- López, J.G.P., O.H.G. Pichardo, J.A.P. Escobar, D.A. de Haro del Rio, H.I. Mendez, L.M.G. Rodriguez. 2021. Photocatalytic Degradation of Metoprolol in Aqueous Medium using a TiO<sub>2</sub>/Natural Zeolite Composite. *Fuel* 284: 1-11.
- Madkour, L. H. 2019. *Nanoelectronic Materials Fundamentals and Applications*. New York: Springer.

- Maulana, R. R. 2021. Karakteristik dan Aktivitas Fotokatalitik Material TiO<sub>2</sub> yang Disintesis Menggunakan Metode Hidrotermal dengan Variasi Temperatur. *Skripsi*. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Ningsih, T. S. 2012. Sintesis dan Karakteristik Fotokatalis Ni<sup>2+</sup> - ZnO Berbasis Zeolit Alam. *Skripsi*. Jurusan Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Ozkan, C. F. dan S. Ulku. 2008. Diffusion Mechanism of Water Vapour in a Zeolitic Tuff Rich in Clinoptilolite. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 94(3): 699-702.
- Pang, S. C., S. Y. Kho, dan S. F. Chin. 2012. Fabrication of Magnetite/Silica/Titania Core-Shell Nanoparticles. *Journal of Nanomaterials* 2012: 1-6.
- Parrino, F. dan L. Palmisano. 2020. *Titanium Dioxide (TiO<sub>2</sub>) and Its Applications*. Amsterdam: Elsevier Science.
- Pausova, S., M. Riva, M. Baudys, J. Krysa dan Z. Barbierkova. 2019. Composite Materials Based on Active Carbon/TiO<sub>2</sub> for Photocatalytic Water Purification. *Catalysis Today* 328: 178-182.
- Prameswari, P. S. 2020. Sintesis Komposit TiO<sub>2</sub>-Zeolit Menggunakan Metode Sol-Gel untuk Reduksi Kromium VI (Cr VI). *Skripsi*. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Prasetyo, A., R. Nafsiati, S. N. Kholifah dan A. Botianovi. 2012. Analisis Permukaan Zeolit Alam Malang yang Mengalami Modifikasi Pori dengan Uji SEM-EDS. *SAINTIST* 1(2): 39-46.
- Pujianto, T. H. 2009. Pengaruh Konsentrasi Natrium Hidroksida dan Temperatur 22 Anil terhadap Struktur Nano dan Tingkat Kristalinitas TiO<sub>2</sub> Nanotubes. *Prosiding*. Seminar Material Metalurgi LIPI Serpong.
- Purba, E. dan A. C. Khairunisa. 2012. Kajian Awal Laju Reaksi Fotosintesis untuk Penyerapan Gas CO<sub>2</sub> Menggunakan Mikroalga Tetraselmis Chuii. *Jurnal Rekayasa Proses* 6(1): 7-13.
- Rini, D. K., F. A. Lingga. 2010. Optimasi Aktivasi Zeolit Alam untuk Dehumidifikasi. *Skripsi*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

- Rosanti, A. D., A. R.K. Wardani, dan E. U. Latifah. 2020. Pengaruh Variasi Konsentrasi Urea terhadap Fotoaktivitas Material Fotokatalis N/TiO<sub>2</sub> untuk Penjernihan Limbah Batik Tenun Ikat Kediri. *Jurnal Kimia Riset* 5(1): 55-66.
- Sastrohamidjodo, H. 2001. *Kimia Dasar*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Setiawan, J. 2020. *Karakteristik Lapisan Besi Borida pada Baja Karbon*. Bandung: Media Sains Indonesia.
- Setthaya, N., P. Chindaaprasirt, S. Yin dan K. Pimraksa. 2017. TiO<sub>2</sub>-Zeolite Photocatalysts Made of Metakaolin and Rice Husk Ash for Removal of Methylene Blue Dye. *Powder Technology* 313: 417-426.
- Shankar, M. V., S. Anandan, N. Venkatachalam, B. Arabindoo dan V. Murugesan. 2006. Fine Route for an Efficient Removal of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) by Zeolite-Supported TiO<sub>2</sub>. *Chemosphere* 63: 1014-1021.
- Singh, P., M. C. Vishnu, K. K. Sharma, A. Borthakur, P. Srivastava, D. B. Pal, D. Tiwary dan P. K. Mishra. 2016. Photocatalytic degradation of Acid Red dye stuff in the presence of activated carbon-TiO<sub>2</sub> composite and its kinetic enumeration. *Journal of Water Process Engineering* 12: 20-31.
- Smirnov, K.S. dan B. Van de Graaf. 1996. On the Origin of the Band at 960 cm<sup>-1</sup> in the Vibrational Spectra of Ti-Substituted Zeolites. *Microporous Materials* 7(2): 133-138.
- Supriyanto, E., A. Holikin, dan Suwardiyanto. 2014. Pengaruh Thermal Annealing terhadap Struktur Kristal dan Morfologi Bubuk Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>). *Jurnal ILMU DASAR* 15(1): 37-41.
- Susilowati, P. 2016. Sintesis dan Karakterisasi TiO<sub>2</sub> Terdadah Nitrogen melalui Metode Hidrotermal dengan Variasi Suhu dan Kalsinasi. *Thesis*. Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta.
- Sutanto, H. dan S. Wibowo. 2015. *Semikonduktor Fotokatalis Seng Oksida dan Titania (Sintesis, Deposisi dan Aplikasi)*. Semarang: Penerbit Telescope.
- Sutarti, M. dan M. Rachmawati. 1994. *Zeolit: Tinjauan Literatur*. Jakarta: Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah LIPI.

- Tang, R., T. Chen, Y. Chen, Y. Zhang, G. Wang. 2014. Core-shell TiO<sub>2</sub>@SiO<sub>2</sub> Catalyst for Transesterification of Dimethyl Carbonate and Phenol to Diphenyl Carbonate. *Chinese Journal of Catalysis* 35: 457-461.
- Tian, J., L. Chen, Y. Yin, X. Wang, J. Dai, Z. Zhu, X. Liu, dan P. Wu. 2009. Photocatalyst of TiO<sub>2</sub>/ZnO Nano Composite Film: Preparation, Characterization, and Photodegradation Activity of Methyl Orange. *Surface & Coatings Technology* 204: 205-214.
- Trisunaryanti, W. 2001. Selectivity of an Active Natural Zeolite in Catalytic Conversion Process of Bangkirai, Kruing and Kamper Woods Biofuel to Gasoline Fraction. *Journal Chemical* 1: 35-42.
- Trujillo, M. E., D. Hiraes, M. E. Rincon, J. F. Hinojosa, G. L. Leyva, dan F. F. Castillon. 2013. TiO<sub>2</sub>/Clinoptilolite Composites for Photocatalytic degradation of Anionic and Cationic Contaminants. *J Mater Sci* 48: 6778-6785.
- Venckatesh, R., K. Balachandaran, R. Sivaraj. 2012. Synthesis and Characterization of Nano TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>: PVA Composite – a Novel Route. *International Nano Letters* 2: 1-5.
- Wang, B. dan X. Zhao. 2003. Preparation of Kaolinite/Titania Coated Nanocomposite Particles and their Electrorheological Properties. *J. Mater. Chem.* 13:2248-2253.
- Wang, Y., J. Chen, X. Lei dan Y. Ren. 2017. Preparation of Microporous Zeolites TiO<sub>2</sub>/SSZ-13 Composite Photocatalyst and its Photocatalytic Reactivity. *Microporous and Mesoporous Materials* 250: 9-17.
- Yanagisawa, K. dan J. Overstone. 1999. Crystallization of Anatase from Amorphous Titania using the Hydrothermal Technique: Effect of Starting Material and Temperature. *The Journal of Physical Chemistry B* 103(37): 7781-7787.
- Yoshimura, M. dan K. Byrappa. 2008. Hydrothermal processing of materials: past, present and future. *J Mater Sci* 43: 2085-2103.
- Zhang, G., A. Song, Y. Duan, S. Zheng. 2018. Enhanced Photocatalytic Activity of TiO<sub>2</sub>/Zeolite Composite for Abatement of Pollutans. *Microporous and Mesoporous Materials* 255: 61-68.



LAMPIRAN 1

1.1 Proses sintesis material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit

