



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Unand.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Unand.

**DEGRADASI SENYAWA SIPERMETRIN DALAM INSEKTISIDA  
RIPCORD 5 EC SECARA FOTOLISIS DENGAN PENAMBAHAN  
TiO<sub>2</sub>/ZEOLIT**

**SKRIPSI**



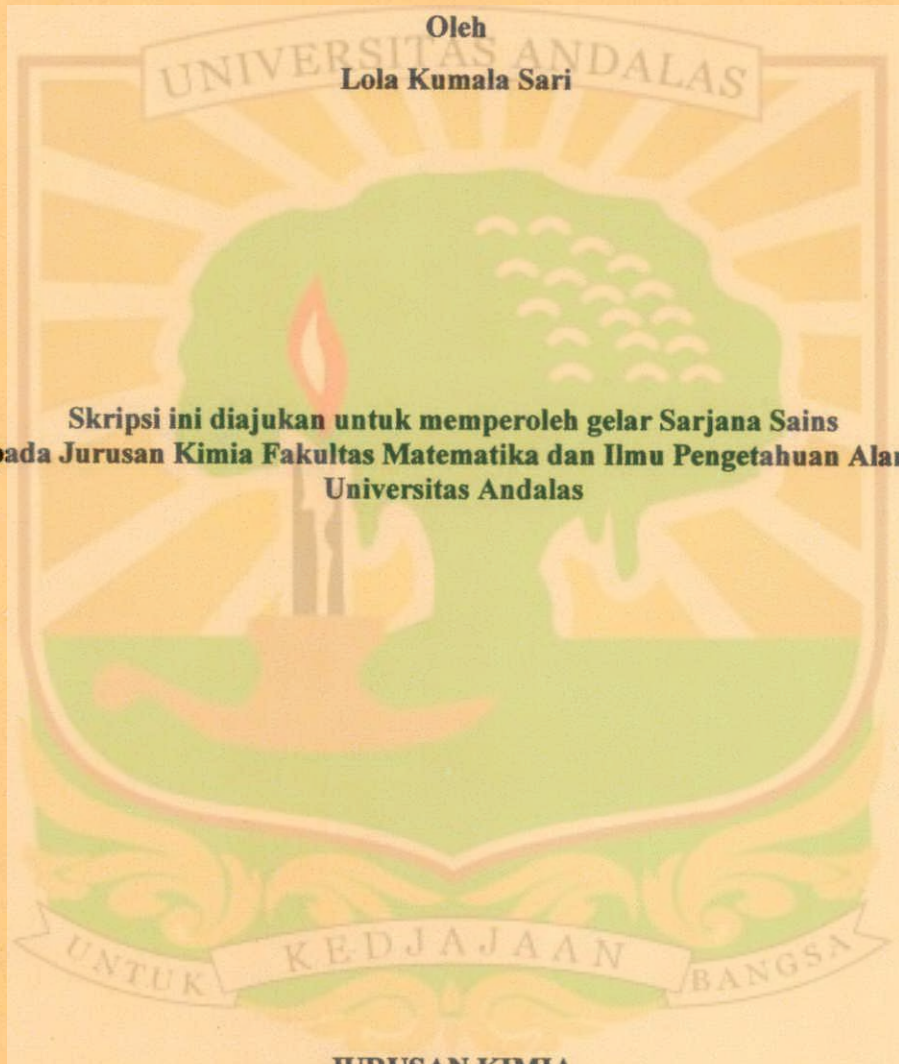
**LOLA KUMALA SARI  
08 104 12 021**

**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG 2012**

**DEGRADASI SENYAWA SIPERMETRIN DALAM  
INSEKTISIDA RIPCORD 5 EC SECARA FOTOLISIS  
DENGAN PENAMBAHAN  $\text{TiO}_2$ -ZEOLIT**

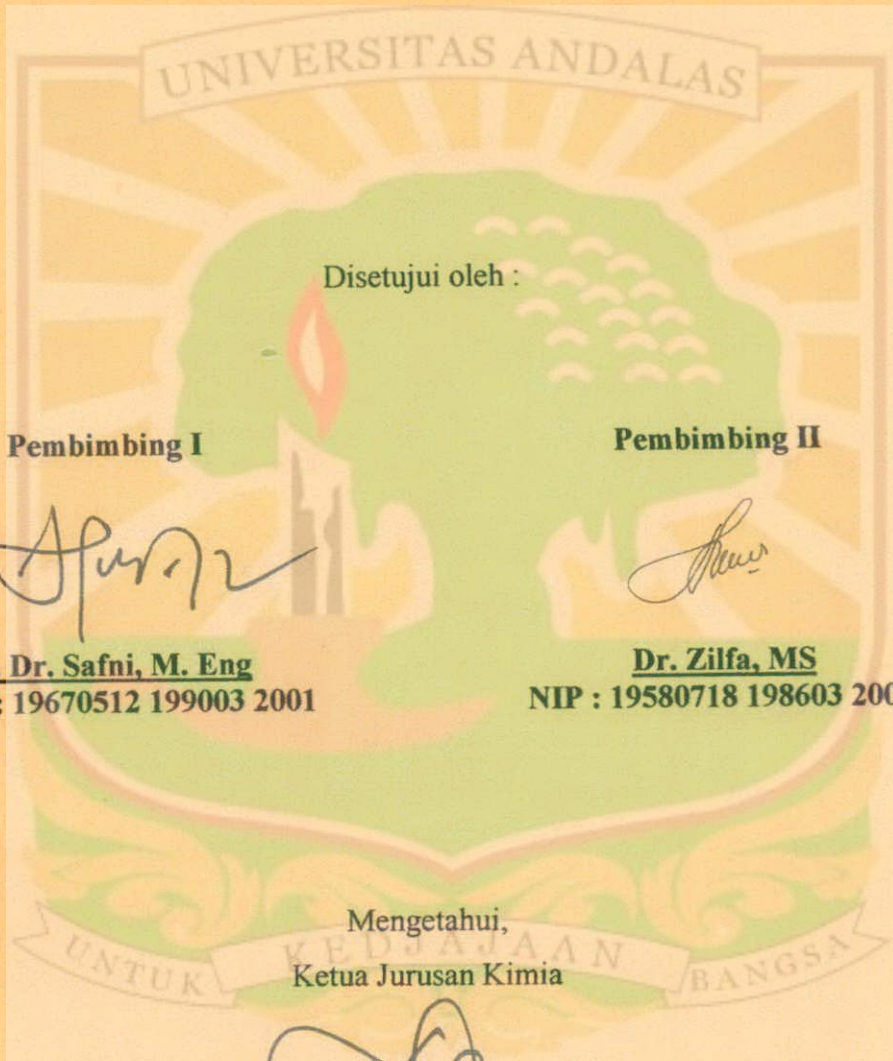
Oleh  
**Lola Kumala Sari**

**Skripsi ini diajukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Andalas**



**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG  
2012**

**Degradasi Senyawa Sipermetrin dalam Insektisida Ripcord 5 EC secara Fotolisis dengan Penambahan  $\text{TiO}_2$ /Zeolit**, skripsi oleh Lola Kumala Sari (0810412021), sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (Strata 1) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas Padang yang telah diuji pada tanggal 31 Oktober 2012.



**Prof. Dr. Safni, M. Eng**  
NIP : 19670512 199003 2001

**Dr. Zilfa, MS**  
NIP : 19580718 198603 2001

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Kimia

**Dr. Adlis Santoni**  
NIP : 196212031988111002

**DEGRADASI SENYAWA SIPERMETRIN DALAM  
INSEKTISIDA RIPCORD 5 EC SECARA FOTOLISIS DENGAN  
PENAMBAHAN TiO<sub>2</sub>/ZEOLIT**

Oleh :

Lola Kumala Sari (0810412021)-

Dibimbing Oleh : Prof. Dr. Safni, M.Eng dan Dr. Zilfa, MS

UNIVERSITAS ANDALAS  
**ABSTRAK**

Penelitian mengenai degradasi senyawa sipermetrin dalam insektisida Ripcord 5EC secara fotolisis telah dilakukan. Metode fotolisis menggunakan lampu UV ( $\lambda$  365 nm) dengan penambahan 20 mg TiO<sub>2</sub>/Zeolit; 0,8 mg TiO<sub>2</sub>-anatase dan 19,2 mg zeolit sebagai katalis. Hasil degradasi dianalisis menggunakan spektrofotometer UV/Vis pada panjang gelombang 265 nm. Hasil pengukuran menunjukkan penurunan spektrum serapan sipermetrin setelah didegradasi. Degradasi sipermetrin 10 mg/L tanpa penambahan katalis secara fotolisis mencapai 10,799% setelah 120 menit. Dengan penambahan katalis zeolit persen degradasi mencapai 19,305%. Akan tetapi dengan penambahan katalis TiO<sub>2</sub>-anatase persen degradasinya bisa mencapai 28,205%. Selanjutnya dengan penambahan katalis TiO<sub>2</sub>-zeolit didapatkan nilai persen degradasi tertinggi yaitu sebesar 64,403% pada waktu yang sama.

Kata kunci: *fotolisis, degradasi, sipermetrin, TiO<sub>2</sub>/zeolit*

**DEGRADATION CYPERMETHRIN CONTAINED IN  
INSECTICIDE RIPCORDER 5 EC BY PHOTOLYSIS WITH  
ADDITION OF TiO<sub>2</sub>/ZEOLIT**

By :

Lola Kumala Sari (0810412021)

Advised by : Prof. Dr. Safni, M.Eng and Dr. Zilfa, MS

**ABSTRACT**

Research on the degradation of Cypermethrin in insecticide Ripcord 5EC by photolysis has been done. Photolysis method used UV light ( $\lambda$  365 nm) with the addition of 20 mg TiO<sub>2</sub>/Zeolit; 0.8 mg TiO<sub>2</sub>-anatase and 19.2 mg zeolites as catalysts. Degradation products were analyzed by using a spectrophotometer UV / Vis at 265 nm wavelength. The results showed a decrease in the absorption spectrum measurement cypermethrin after the degradation. Degradation Sipermetrin 10 mg / L without the addition of catalysts by photolysis reached 10.799% after 120 minutes. With the addition of zeolite catalyst, the result reached 19.305%. However, with the addition of TiO<sub>2</sub>-anatase catalyst, the result only reached 28.205%. Furthermore, with the addition of TiO<sub>2</sub>-zeolite catalyst were obtained the highest value of percent degradation of 64.403% at the same time.

**Keywords:** *photolysis, degradation, cypermethrin, TiO<sub>2</sub>/zeolite*

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum, Wr. Wb.,*

Alhamdulillah, segala puji dan syukur bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi dengan judul **“Degradasi Senyawa Sipermetrin Dalam Insektisida Ripcord 5 EC Secara Fotolisis Dengan Penambahan Katalis  $TiO_2$ /Zeolit”** sebagai syarat untuk menyelesaikan program studi Kimia pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas Padang.

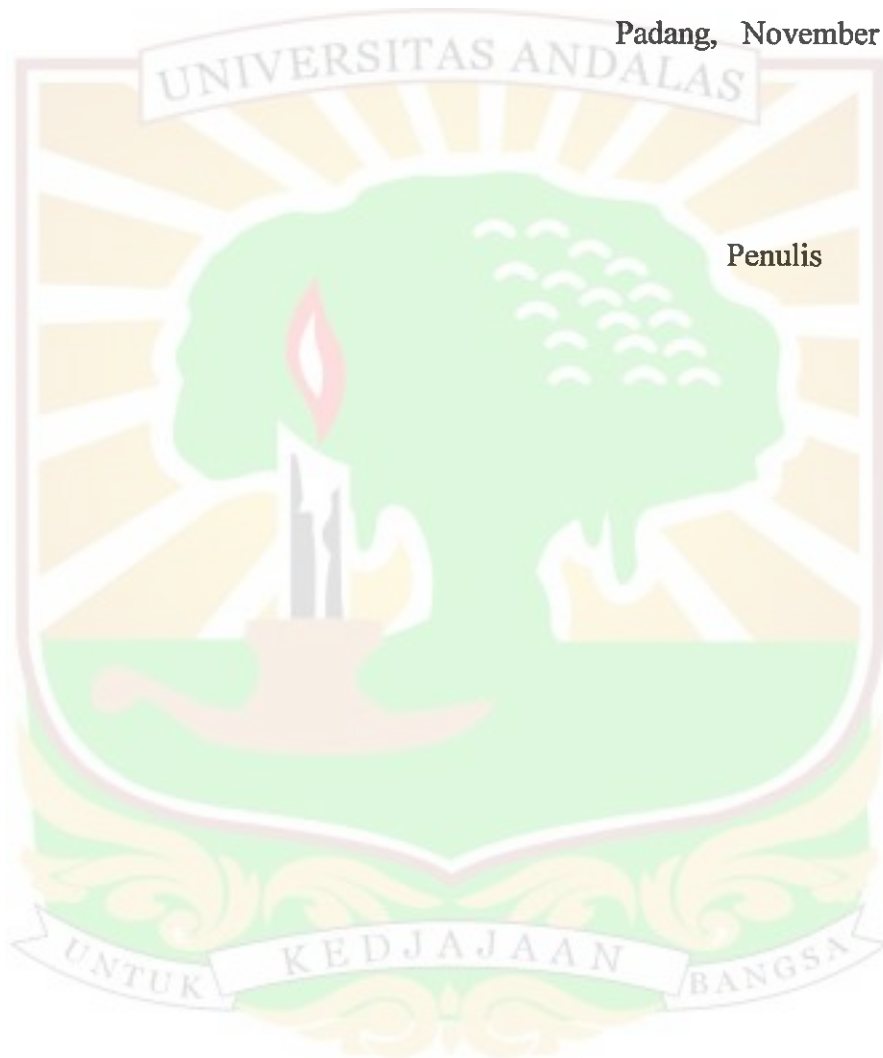
Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Safni, M.Eng selaku pembimbing I dan Ibu Dr. Zilfa, MS selaku pembimbing II.
2. Bapak Dr. Afrizal selaku dosen pembimbing akademik.
3. Bapak Prof. Dr. Hamzar Suyani selaku Kepala Laboratorium Analitik Jurusan Kimia Universitas Andalas.
4. Bapak Dr. Adlis Santoni selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Andalas Padang.
5. Bapak Dr. Mai Efdi sebagai koordinator pendidikan jurusan kimia.
6. Bapak Yeni Stiadi,MS, Bapak Dr. Zulhadjri, M.Eng dan Ibu Umiati Loekman,MSi selaku dosen penguji seminar hasil dan ujian sarjana yang telah memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan penulisan skripsi ini.
7. Staf dosen pengajar Jurusan Kimia FMIPA Universitas Andalas yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
8. Ibu Nofrida selaku analis laboratorium Analisis Terapan Jurusan Kimia.
9. Teman-teman Kimia Angkatan 2008 dan rekan-rekan kerja di Laboratorium Analitik Terapan yang telah membantu dan memberi motivasi kepada penulis selama penelitian.
10. Staf dan Karyawan Jurusan Kimia FMIPA Universitas Andalas yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis.

Akhir kata penulis memohon maaf jika terdapat kesalahan dan kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis mengharapkan skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri khususnya dan bagi semua pembaca pada umumnya.

*Wassalamu'alaikum. Wr. Wb*

Padang, November 2012



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Perumusan masalah.....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Insektisida.....	4
2.2 Sipermetrin.....	6
2.3 Titanium Dioksida.....	7
2.4 Zeolit.....	8
2.4 Fotolisis.....	9
2.6 Spektrofotometer UV-VIS.....	11
2.6 FT-IR ( <i>Fourier Transformation-Infra Red</i> ).....	12
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1. Tempat dan waktu Penelitian.....	14
3.2. Alat dan Bahan.....	14
3.2.1. Alat.....	14
3.2.2. Bahan.....	14
3.3. Prosedur Kerja.....	14
3.3.1 Preparasi Katalis TiO <sub>2</sub> /Zeolit.....	14
3.3.1.1 Preprasi Na-Zeolit.....	14
3.3.1.2 Pilarisasi Zeolit.....	15
3.3.2 Pembuatan Variasi Pelarut Asetonitril : Akuabides.....	15
3.3.3 Pembuatan Larutan Stok Sipermetrin 50 mg/L.....	15
3.3.4 Pengukuran Absorban Variasi Konsentrasi Sipermetrin.....	15
3.3.5 Penentuan Waktu Fotolisis.....	15



3.3.6	Penentuan Optimasi Jumlah Katalis $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ .....	16
3.3.7	Penentuan Waktu Fotolisis dengan Penambahan $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ .....	16
3.3.8	Penentuan Waktu Fotolisis dengan Penambahan $\text{TiO}_2\text{-anatase}$ .....	16
3.3.9	Penentuan Waktu Fotolisis dengan Penambahan Zeolit .....	17
3.3.10	Penentuan Efektifitas $\text{TiO}_2\text{-zeolit}$ , $\text{TiO}_2\text{-anatase}$ dan Zeolit .....	17

#### IV. HASIL DAN DISKUSI

4.1	Karakterisasi Katalis .....	18
4.2	Penentuan Variasi Pelarut Asetonitril : Akuabides .....	19
4.3	Penentuan Spektrum Serapan Sipermetrin .....	20
4.4	Penentuan Waktu Optimum Degradasi Secara Fotolisis .....	21
4.5	Pengaruh Penambahan Jumlah Katalis $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ .....	21
4.6	Pengaruh Waktu Irradiasi dengan Penambahan $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ .....	22
4.7	Pengaruh Waktu Irradiasi dengan Penambahan $\text{TiO}_2\text{-anatase}$ .....	23
4.8	Pengaruh Waktu Irradiasi dengan Penambahan Zeolit .....	24
4.9	Perbandingan katalis $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ , $\text{TiO}_2\text{-anatase}$ dan Zeolit .....	25

#### V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.	Kesimpulan .....	27
5.2.	Saran .....	27

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	28
-----------------------------	----

<b>LAMPIRAN</b> .....	30
-----------------------	----



## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perbandingan Penggunaan Pelarut.....	19
Tabel 2. Data Nilai Absorban Sipermetrin Pada Variasi Konsentrasi .....	33
Tabel 3. Data Nilai Absorban dan Persen Degradasi Sipermetrin dengan Variasi Waktu .....	35
Tabel 4. Data Nilai Absorban dan Persen Degradasi Sipermetrin dengan Variasi Jumlah Katalis TiO <sub>2</sub> /Zeolit.....	36
Tabel 5. Data Nilai Absorban dan Persen Degradasi Sipermetrin dengan Variasi Waktu dan Penambahan Katalis TiO <sub>2</sub> /Zeolit .....	37
Tabel 6. Data Nilai Absorban dan Persen Degradasi Sipermetrin dengan Variasi Waktu dan Penambahan Katalis TiO <sub>2</sub> -anatase.....	38
Tabel 7. Data Nilai Absorban dan Persen Degradasi Sipermetrin dengan Variasi Waktu dan Penambahan Katalis Zeolit.....	39



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur Sipermetrin.....	6
Gambar 2. Struktur Kristal TiO <sub>2</sub> Anatase dan Rutil.....	7
Gambar 3. Struktur Zeolit Dasar dan Tiga Dimensi .....	9
Gambar 4. Proses Fotokatalisis .....	10
Gambar 5. Spektrum FT-IR katalis TiO <sub>2</sub> -anatase, Zeolit, dan TiO <sub>2</sub> /zeolit.....	18
Gambar 6. Kurva Konsentrasi Vs Absorban.....	20
Gambar 7. Kurva Pengaruh Waktu Iradiasi Terhadap Persen Degradasi Sipermetrin Tanpa Penambahan Katalis .....	21
Gambar 8. Kurva Pengaruh Jumlah TiO <sub>2</sub> /Zeolit.....	22
Gambar 9. Kurva Pengaruh Waktu Irradiasi dengan Penambahan TiO <sub>2</sub> /Zeolit .....	22
Gambar 10. Kurva Pengaruh Waktu Irradiasi dengan Penambahan TiO <sub>2</sub> -anatase .....	23
Gambar 11. Kurva Pengaruh Waktu Irradiasi dengan Penambahan Zeolit .....	25
Gambar 12. Spektrum Serapan Sipermetrin dengan Penambahan Katalis TiO <sub>2</sub> /Zeolit TiO <sub>2</sub> -anatase dan Zeolit.....	26
Gambar 13. Spektrum Serapan Sipermetrin.....	31
Gambar 14. Kurva Perbandingan Katalis TiO <sub>2</sub> /zeolit, TiO <sub>2</sub> -anatase dan Zeolit.....	32

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Kerja Preparasi Katalis $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ .....	30
Lampiran 2. Spektrum Serapan Sipermetrin.....	31
Lampiran 3. Kurva Perbandingan Katalis $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ , $\text{TiO}_2\text{-anatase}$ dan Zeolit.....	32
Lampiran 4. Perhitungan Absortivitas Molar ( $\epsilon$ ).....	33
Lampiran 5. Perhitungan Persen Degradasi Sipermetrin Tanpa Katalis .....	35
Lampiran 6. Perhitungan Persen Degradasi Sipermetrin dengan Variasi Jumlah Katalis $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ .....	36
Lampiran 7. Perhitungan Persen Degradasi Sipermetrin dengan Variasi Waktu Iradiasi dan Penambahan Katalis $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ .....	37
Lampiran 8. Perhitungan Persen Degradasi Sipermetrin dengan Variasi Waktu Iradiasi dan Penambahan Katalis $\text{TiO}_2\text{-anatase}$ .....	38
Lampiran 9. Perhitungan Persen Degradasi Sipermetrin dengan Variasi Waktu Iradiasi dan Penambahan Katalis Zeolit.....	39

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Sipermetrin merupakan salah satu jenis insektisida golongan piretroid. Insektisida golongan piretroid yang sangat banyak digunakan pada saat sekarang ini karena dengan konsentrasi yang sangat rendah, insektisida ini sudah memberikan hasil yang sangat efektif. Selain itu karena mulai dihapuskannya pestisida golongan organoklorin dan beberapa produk organofosfat akibat besarnya dampak negatif yang dihasilkannya<sup>1,2</sup>.

Sipermetrin digunakan untuk mengendalikan hama pada kapas dan sayuran. Penggunaan sipermetrin sangat populer karena efektifitas dan harganya yang murah. Sama halnya dengan insektisida golongan organoklorin dan organofosfat, tidak dipungkiri bahwa senyawa ini juga memiliki dampak negatif bagi makhluk hidup dan lingkungan jika penggunaannya tidak bijaksana. Sipermetrin sangat bersifat toksik bagi ikan dan makhluk invertebrata yang hidup di air<sup>3,4</sup>. Senyawa ini juga berbahaya bagi manusia karena merupakan racun yang menyerang sistem saraf, menekan sistem kekebalan tubuh dan menghambat pembentukan antibodi terhadap penyakit yang disebabkan oleh mikroba<sup>5</sup>. Menurut Agen Perlindungan Lingkungan US (EPA), sipermetrin kemungkinan dapat menimbulkan kanker pada manusia, alergi pada kulit dan iritasi mata<sup>6</sup>.

Dampak buruk dari pemakaian insektisida sangat membahayakan bagi lingkungan dan makhluk hidup di sekitarnya, oleh karena itu dibutuhkan suatu metoda yang dapat mengolah limbah dari pemakaian pestisida ini. Pengolahan limbah dengan cara konvensional telah dilakukan dengan proses adsorpsi, namun proses ini tidak dapat mendegradasi polutan menjadi senyawa yang tidak berbahaya, melainkan hanya memindahkan limbah dari cairan ke permukaan adsorben, sehingga adsorben tersebut perlu diregenerasi bila telah jenuh.

Salah satu teknologi yang sedang banyak dikembangkan untuk mendegradasi berbagai limbah industri adalah proses fotokatalitik, suatu metoda degradasi dengan bantuan sinar UV dan penambahan katalis. Metoda ini memiliki beberapa keunggulan

yaitu polutan organik dapat didegradasi menjadi senyawa yang tidak berbahaya seperti  $H_2O$  dan  $CO_2$ , serta lebih hemat pemakaian bahan kimia dan energinya. Salah satu katalis yang paling stabil dan paling sering digunakan dalam proses degradasi adalah  $TiO_2$  karena mempunyai sifat inert, stabil dan tahan terhadap korosi selama reaksi berlangsung. Aktivitas katalitiknya dipengaruhi oleh struktur kristal, luas permukaan, distribusi ukuran partikel, porositas, densitas permukaan group hidroksil, dan sebagainya. Akan tetapi proses fotokatalitik kurang efektif dalam mengolah limbah yang konsentrasinya tinggi karena rendahnya daya adsorpsi fotokatalis tersebut, sehingga menyebabkan rendahnya laju reaksi fotokatalitik. Aktivitas fotokatalis (fotoaktivitas)  $TiO_2$  dapat ditingkatkan melalui pengembanan pada material pendukung. Salah satu yang dapat digunakan untuk kepentingan tersebut adalah zeolit<sup>7,8</sup>.

Zeolit adalah suatu kelompok mineral alumunium silikat terhidrasi dari logam alkali dan alkali tanah (terutama Na dan Ca), dengan rumus umum  $M_{c/n}\{(AlO_2)_c(SiO_2)_d\}bH_2O$ . Katalis ini mempunyai pori-pori sangat kecil yang akan memuat molekul-molekul kecil tetapi mencegah molekul besar masuk. Selektifitas zeolit terhadap suatu reaksi disebabkan ukuran pori zeolit yang hanya dapat dimasuki oleh molekul tertentu yang spesifik, sehingga tidak setiap reaksi transisi dapat berlangsung, reaksi hanya memungkinkan berjalan satu arah. Zeolit mampu menjadi katalis asam dan dapat digunakan sebagai pendukung logam aktif atau sebagai reagen, serta dapat digunakan dalam katalis oksida.

Beberapa keuntungan diharapkan dari pengembanan  $TiO_2$  pada zeolit alam antara lain potensi zeolit alam yang melimpah di Indonesia serta stabilitas yang tinggi pada kondisi asam. Material  $TiO_2$  teremban pada zeolit alam (selanjutnya disebut  $TiO_2$ /zeolit) memiliki fungsi ganda yaitu sebagai adsorben (dari sifat zeolit yang berpori dan memiliki kation yang dapat dipertukarkan) serta sebagai fotokatalis.<sup>8</sup> Maka diharapkan laju reaksi fotokatalik dari  $TiO_2$  akan meningkat.

Berdasarkan hal di atas, maka dilakukan penelitian untuk mendegradasi senyawa sipermetrin yang merupakan kandungan senyawa aktif dalam pestisida

Ripcord 5 EC. Sipermetrin didegradasi secara fotolisis, dimana metoda fotolisis yaitu suatu metoda dengan menggunakan cahaya UV. Fotokatalisis merupakan suatu proses degradasi yang dibantu oleh adanya cahaya (UV) dan material katalis. Dalam hal ini material katalis yang digunakan adalah  $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ . Selanjutnya dilakukan pengukuran sisa degradasi dengan menggunakan spektrofotometer UV/Vis.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan dalam penelitian ini adalah : Bagaimanakah pengaruh pemiliran  $\text{TiO}_2$  dengan zeolit dalam membantu proses degradasi senyawa sipermetrin secara fotolisis?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh  $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$  dalam membantu proses degradasi senyawa sipermetrin secara fotolisis.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam memilih katalis yang akan digunakan untuk diaplikasikan dalam proses degradasi sipermetrin. Serta dapat bermanfaat bagi lembaga-lembaga pemerhati lingkungan dan pihak industri terutama industri penghasil insektisida dan industri lain yang menggunakan senyawa organik berbahaya untuk dapat memanfaatkan hasil penelitian ini sebagai acuan dalam pengolahan limbah industrinya.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Insektisida

Dalam upaya memenuhi kebutuhan hidup yang terus meningkat, produksi pangan sering mengalami kendala serangan hama, maka salah satu cara untuk meningkatkan produksi tanaman pangan adalah dengan menggunakan pestisida. Pestisida adalah zat atau campuran dari zat-zat tertentu baik alami ataupun sintetik, diformulasikan untuk mengendalikan hama pengganggu yang bersaing dengan merusak khasiat makanan dan menyebarkan penyakit untuk manusia. Hama pengganggu ini meliputi serangga, rumput liar, mamalia, dan sebagian lainnya mikroba.<sup>9</sup>

Insektisida merupakan jenis pestisida yang mengandung senyawa kimia beracun untuk mematikan serangga. Kesulitan dalam pengendalian serangga disebabkan sifatnya yang mudah menyesuaikan diri dengan keadaan sekitar. Untuk membunuh serangga, insektisida masuk dalam tubuh serangga melalui lambung, kontak dan pernafasan. Sama halnya dengan pestisida lainnya penggunaan insektisida yang tidak bijaksana jelas akan menimbulkan efek samping bagi kesehatan manusia, sumber daya hayati dan lingkungan pada umumnya. Dimana setiap pemakaian pestisida akan menimbulkan limbah pestisida.<sup>9,10</sup>

Insektisida dapat dibagi menjadi beberapa golongan berdasarkan bahan sintetiknya yaitu : organofosfat, karbamat, organoklorin dan piretroid. Organofosfat merupakan insektisida yang mengandung fosfat dalam susunan kimianya dan merupakan insektisida bersifat toksik terhadap mamalia dan sering menyebabkan keracunan pada manusia. Organofosfat menghambat aksi pseudokholinesterase dalam plasma dan kholinesterase dalam sel darah merah dan pada sinapsisnya. Awal penemuan insektisida ini terjadi pada masa perang dunia II dalam rangka penelitian “gas saraf” untuk kepentingan perang. Contoh insektisida organofosfat : Malathion, Parathion, Metidation, Curacon, Diazinon, Sarin dan lainnya.

Karbamat merupakan insektisida yang memiliki gugus karbamat dalam struktur kimianya. Karbamat berkembang setelah insektisida organofosfat. Insektisida ini daya toksisitasnya rendah terhadap mamalia dibandingkan dengan organofosfat,



tetapi sangat efektif untuk membunuh insekta. Contoh insektisida karbamat : Physostigmine, Carbaryl, Temik, Karbofuran dan lainnya.

Organoklorin disebut "*Chlorinated hydrocarbon*" merupakan insektisida paling toksik di antara jenis insektisida lainnya, selain itu organoklorin memiliki sifat persisten di lingkungan sehingga proses degradasinya berlangsung sangat lama. Insektisida ini terdiri dari beberapa kelompok yang diklasifikasi menurut bentuk kimianya. Yang paling populer dan pertama kali disintesis adalah "*Dichloro-diphenyltrichloroethan*" atau disebut DDT. Contoh insektisida organoklorin : Cyclodienes, Hexachlorocyclohexan, Derivat Chlorinated-ethan, Paraquat, Dicovol dan lainnya.

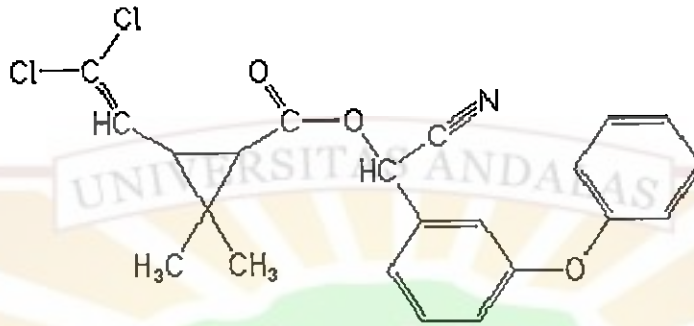
Piretroid merupakan racun saraf yang bekerja dengan cepat dan menimbulkan paralisis yang bersifat sementara. Efek piretroid sama dengan DDT tetapi piretroid memiliki efek tidak persisten. Contoh insektisida piretroid : Alletrin, Flucythrinate, Decametrin, Sipermetrin dan lainnya.

Idealnya teknologi pertanian maju tidak lagi memakai pestisida. Akan tetapi hingga saat ini belum ada teknologi yang dapat menggantikan pestisida. Pestisida masih diperlukan, bahkan pemakaiannya semakin meningkat.<sup>10</sup> Pemakaian pestisida itu efektif hanya berdasarkan sifat-sifat racunnya dan dosis yang tepat dengan batas yang aman antara bahaya racun pada manusia dan di sisi lain membahayakan lingkungan, sehingga dapat dikatakan batas aman pestisida sangatlah sempit.<sup>9</sup>

Masalah yang dapat timbul adalah potensi racun dari bahan kimia yang terkandung dalam insektisida tersebut, walaupun zat kimia dapat hilang atau berkurang daya toksiknya. Hanya saja proses hilang atau berkurangnya daya racun tersebut tidaklah benar-benar dipahami maupun diprediksi. Sampai saat ini insektisida masih saja digunakan mengingat potensi toksisitasnya yang tidak dapat dielakkan. Residu merupakan keberadaan insektisida yang terakumulasi dalam substrat setelah aplikasi, baik secara langsung atau tak langsung. Residu insektisida pada atau dalam substrat (tanah, air, tanaman, dan hewan) merupakan keprihatinan yang mendalam bagi banyak orang, yang dikemudian hari mengancam kesehatan lingkungan dan manusia.<sup>9</sup>

## 2.2 Sipermetrin (C<sub>22</sub>H<sub>19</sub>Cl<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>)

Sipermetrin [(R/S)- $\alpha$  cyano-3-phenoxybenzyl (R/S)-cis, trans-3(2,2-dichlorovinyl)-2,2-dimethylcyclopropane carboxylate] merupakan insektisida sintetik golongan piretroid yang digunakan untuk mengendalikan hama pada kapas dan sayuran seperti kedelai, cabai dan kubis.<sup>6</sup>



Gambar 1: Struktur sipermetrin

Sipermetrin mempunyai bobot molekul 416,3 g mol<sup>-1</sup>, tekanan uap 2.3 x 10<sup>-7</sup> Pa (20 °C), kelarutan dalam air 4 ppb (20 °C), dan mudah larut dalam pelarut organik. Sipermetrin berbentuk cairan emulsi berwarna kuning pucat. Merupakan suatu bahan kimia sintetis menyerupai pyrethrin (racun pembasmi serangga alami yang terdapat pada bunga krisan) dengan daya racun yang tinggi secara biologi dan lebih stabil dibanding racun alaminya. Piretroid termasuk juga sipermetrin dirancang untuk efektif lebih lama dibanding piretrin. Insektisida yang terdaftar dengan bahan aktif yang mengandung sipermetrin antara lain; termiticida, ripcord, ammo, cybush, cynoff, cyperkill, dan demon.<sup>11,12</sup>

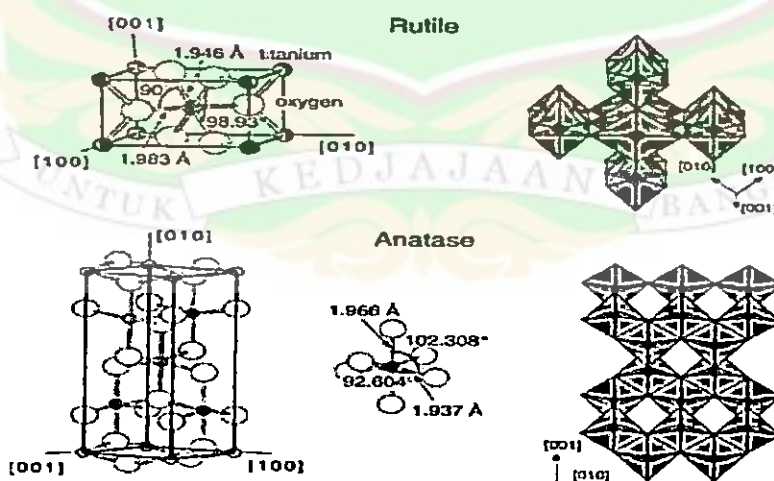
Sipermetrin pada umumnya sangat toksik bagi ikan dan kehidupan air lainnya. Sipermetrin bisa mengakibatkan toksisitas akut dan kronik terhadap biota air ikan dan invertebrata. Pada berbagai jenis ikan pada percobaan toksisitas akut selama 96 jam diperoleh data LC<sub>50</sub> 2,0-2,8 ppb. Hal ini sangat membahayakan ekosistem perairan. Selain pada biota air, sipermetrin juga menunjukkan efek toksik pada beberapa hewan mamalia dan unggas. Pada tikus LD<sub>50</sub> 247 mg/kg, kelinci LD<sub>50</sub> >2460 mg/kg, ayam LD<sub>50</sub> >2000 mg/kg, dan burung puyuh LC<sub>50</sub> >20000 ppm.<sup>13</sup>

Sipermetrin stabil terhadap cahaya, tersedia dalam bentuk *emulsifiable concentrate* (EC). Dibandingkan dengan piretroid lain, sipermetrin relatif stabil, dengan waktu paruh 8-16 hari terhadap cahaya matahari. Dalam tanah, waktu paruh paling lama adalah 8 minggu dan pada air 100 hari, sedangkan pemakaian di rumah, sipermetrin akan bertahan sekitar tiga bulan.<sup>13</sup>

### 2.3 Titanium Dioksida

Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) adalah suatu zat padat berupa serbuk putih, bersifat amfoter dan sulit larut dalam air. Titanium dioksida merupakan material yang sering digunakan sebagai katalis untuk dekomposisi senyawa-senyawa organik toksik, seperti pestisida dan zat warna.  $\text{TiO}_2$  memiliki berat molekul 79,90 g/mol dengan kadar Ti 59,95% dan kadar O 40,05%. Titik leleh dari  $\text{TiO}_2$  adalah 1870 °C.  $\text{TiO}_2$  tidak larut dalam HCl,  $\text{HNO}_3$ , dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  encer, tetapi larut dalam  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat.<sup>8,14</sup>

$\text{TiO}_2$  merupakan katalis yang paling sering digunakan dibandingkan dengan katalis lainnya karena mempunyai sifat inert yang baik secara biologi, maupun secara kimia, stabil dan tahan terhadap korosi kimia selama reaksi berlangsung, serta relatif tidak mahal. Reaksi fotokatalitik terjadi pada permukaan sehingga sifat permukaan  $\text{TiO}_2$  menjadi faktor penting yang menentukan kinetika dan mekanisme reaksi fotokatalitik.<sup>15</sup>



Gambar 2. Struktur Kristal  $\text{TiO}_2$ <sup>16</sup>

Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) digunakan secara luas untuk berbagai aplikasi, termasuk untuk fotokatalis, solar sel, gas sensor, dan pigmen pemutih (dalam produk cat dan kosmetik). Titanium dioksida memiliki tiga struktur kristal : rutil (tetragonal,  $a = b = 4,584 \text{ \AA}$ ,  $c = 2,953 \text{ \AA}$ ), anatase (tetragonal,  $a = b = 3,783 \text{ \AA}$ ,  $c = 9,502 \text{ \AA}$ ), dan brookite (rhombohedral,  $a = 5,436 \text{ \AA}$ ,  $b = 9,166 \text{ \AA}$ ,  $c = 5,135 \text{ \AA}$ ). Struktur anatase dan rutil bias dilihat pada Gambar 2.

Fasa anatase menunjukkan efisiensi fotokatalitik lebih besar dibanding fasa lainnya, sementara brookite tidak memiliki aktivitas fotokatalitik. Perbedaan struktur kristal tersebut juga mengakibatkan perbedaan tingkat energi struktur pita elektroniknya. Tingkat energi hasil hibridisasi yang berasal dari kulit 3d Titanium bertindak sebagai pita konduksi, sedangkan tingkat energi hasil hibridisasi dari kulit 2p oksigen bertindak sebagai pita valensi. Sebagai konsekuensinya posisi tingkat energi pita valensi, pita konduksi, dan besarnya energi gap diantara keduanya akan berbeda bila lingkungan dan/atau penyusunan atom Ti dan O di dalam kristal  $\text{TiO}_2$  berbeda, seperti pada struktur anatase ( $E_g = 3,2 \text{ eV}$ ) dan rutil ( $E_g = 3,0 \text{ eV}$ ).<sup>17,18</sup>

#### 2.4 Zeolit

Zeolit adalah suatu kelompok mineral alumunium silikat terhidrasi dari logam alkali dan alkali tanah (terutama Na dan Ca), dengan rumus  $M_{c/n}\{(\text{AlO}_2)_c(\text{SiO}_2)_d\}b\text{H}_2\text{O}$ . Dimana n adalah valensi logam, a dan b adalah jumlah molekul air, c dan d adalah jumlah tetrahedral alumina dan silika. Zeolit merupakan suatu kelompok mineral yang dihasilkan dari proses hidrotermal pada batuan beku basa. Mineral ini juga merupakan endapan dari aktivitas vulkanik yang banyak mengandung unsur silika.

Zeolit terdapat di Indonesia dalam jumlah besar dengan bentuk hampir murni dan harga murah. Zeolit telah digunakan untuk pengolahan limbah industri dan nuklir. Dilihat dari bentuk strukturnya, zeolit merupakan senyawa yang mempunyai pori teratur, luas permukaan yang besar berbentuk tetrahedral, selektifitas yang tinggi. Oleh karena itu maka zeolit banyak digunakan sebagai penukar ion, penyerap, penyaring molekul dan katalis. Sebagai katalis zeolit telah dapat digunakan untuk degradasi senyawa organik.<sup>19</sup>

Zeolit berbentuk kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung muatan positif dari ion-ion logam alkali dan alkali tanah dalam kerangka kristal tiga dimensi, dengan setiap oksigen membatasi antara dua tetrahedral. Struktur kimia zeolit yakni, silika alumina terhidrat yang mengandung kation dapat dipertukarkan jika kation tersebut digantikan oleh  $Ti^{4+}$ , dilanjutkan dengan oksidasi dan kalsinasi, diharapkan dibentuk oksida Ti terdispersi pada permukaan padatan secara merata sesuai posisi ion tertukar. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3 : (a) struktur dasar zeolit (b) struktur tiga dimensi zeolit.<sup>19</sup>

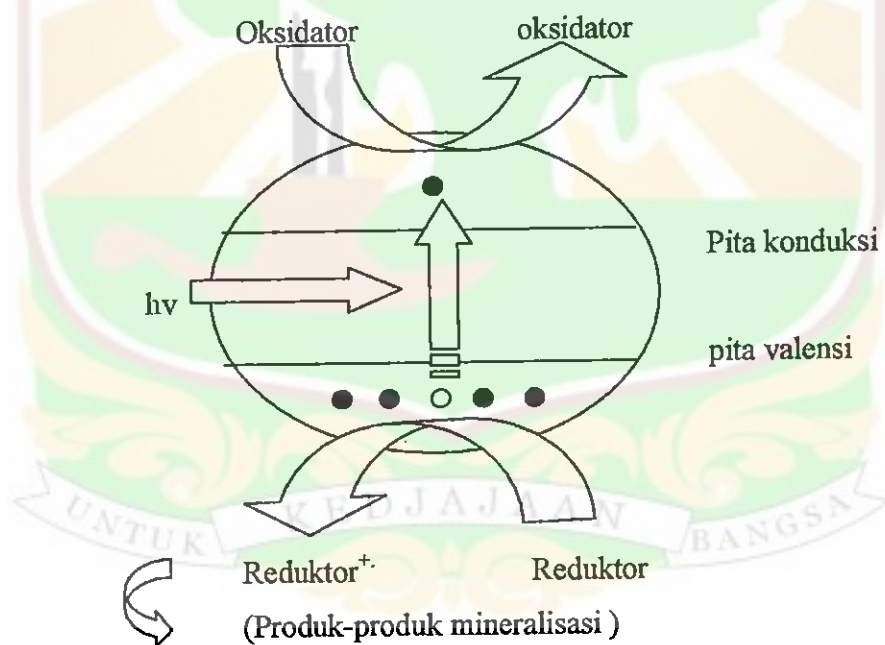
Zeolit sebagai katalis hanya mempengaruhi laju reaksi tanpa mempengaruhi kesetimbangan reaksi karena mampu menaikkan perbedaan lintasan molekuler dari reaksi yang terjadi. Katalis berpori dengan pori-pori yang sangat kecil akan memuat molekul-molekul kecil tetapi mencegah molekul besar masuk. Zeolit mampu menjadi katalis asam dan dapat digunakan sebagai pendukung logam aktif atau sebagai reagen, serta dapat digunakan dalam katalis oksida.

## 2.5 Fotolisis

Fotolisis merupakan suatu proses degradasi senyawa yang dibantu oleh adanya cahaya (UV). Beberapa oksida dan sulfida logam yang bersifat semikonduktor seperti  $TiO_2$ ,  $ZnO$ ,  $SrTiO_3$ ,  $CdS$ , dan  $ZnS$  dapat digunakan sebagai katalis. Dengan pencahayaan Ultraviolet (200 - 400 nm). Salah satu katalis yang paling sering digunakan dalam membantu proses fotolisis adalah  $TiO_2$ . Permukaan  $TiO_2$  mempunyai kemampuan menginisiasi reaksi kimiawi. Dalam media air, kebanyakan

senyawa-senyawa organik seperti sianida dan nitrit yang beracun dapat diubah menjadi senyawa lain yang relatif tidak beracun. Sementara dengan memperhatikan sisi reduksi proses tersebut, karbon dioksida dapat diubah menjadi alkohol, suatu cara produksi zat organik yang berguna dan mirip dengan proses fotosintesis pada tumbuhan.<sup>20,21,22</sup>

Penyinaran permukaan  $\text{TiO}_2$  (bersifat semikonduktor) menghasilkan pasangan elektron dan hole positif pada permukaannya, juga menjadikan permukaan tersebut bersifat polar (hidrofilik), kemudian akan berubah lagi menjadi nonpolar (hidrofobik) setelah beberapa lama tidak mengalami penyinaran lagi. Manfaat dari super hidrofilitas permukaan tadi adalah pengotor yang bersifat polar pada setiap bagian permukaan akan terbawa saat air mengalir diatas permukaan tersebut. Sementara pengotor non polar yang kebanyakan zat organik yang tertinggal di permukaan lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  secara perlahan akan hancur, dipecah menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  akibat proses tersebut.



Gambar 4. Proses fotokatalisis yang merangsang terjadinya reaksi kimia.

Ketika material fotolisis disinari cahaya, material tersebut menyerap energi foton dan menyebabkan berbagai reaksi kimia. Kompleks logam dan katalis. Pada

tahap awal terjadi penyerapan foton berfrekuensi eV dengan energinya yang besar atau sama dengan energi celah antara pita valensi dan pita konduksi, selanjutnya sebuah elektron pada pita valensi tereksitasi ke pita konduksi meninggalkan lubang atau hole yang bermuatan positif. Elektron pada pita konduksi ditangkap dengan senyawa akseptor elektron (oks) sedangkan hole pada pita valensi diisi oleh elektron dari senyawa donor elektron (red).<sup>23</sup> Senyawa terakhir menjadi reaktif dan terdekomposisi ke bentuk mineralisasi. Mekanisme kerja fotokatalisis ditunjukkan pada Gambar 4.

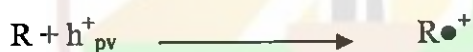
Berikut ini adalah reaksi proses fotokatalisis dengan memakai TiO<sub>2</sub>-anatase. Proses awal degradasi adalah pada saat katalis menyerap sinar UV.



Elektron pada pita konduksi ditangkap oleh oksigen terlarut sebagai spesies oksidator.



hole pada pita valensi dinetralkan muatannya oleh spesies reduktor.<sup>21,22,24</sup>



Selanjutnya R<sup>•+</sup> bereaksi dengan radikal hidroksil (HO<sup>•</sup>) untuk membentuk produk-produk mineralisasi seperti air dan CO<sub>2</sub>. HO<sup>•</sup> Inilah yang berperan dalam mendegradasi senyawa sipermetrin. Dengan semakin banyak radikal OH yang terbentuk, maka sipermetrin yang terdegradasi juga akan semakin banyak.<sup>21,22,23,24</sup>

## 2.6 Spektrofotometer UV-VIS

Spektrofotometer merupakan suatu metoda analisis yang didasarkan pada pengukuran serapan sinar monokromatis suatu lajur larutan dengan menggunakan monokromator sistem prisma atau kisi difraksi dan detektor fotosel. Spektrofotometer adalah alat yang terdiri dari spektrofotometer dan fotometer. Spektrofotometer menghasilkan sinar dari spektrum dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer adalah alat

pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau diadsorpsi. Jadi spektrofotometer digunakan untuk mengukur energi secara relatif jika energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan atau diemisikan sebagai fungsi gelombang.<sup>25</sup>

Radiasi elektromagnetik UV-Vis tersebut mempunyai panjang gelombang berkisar 200-700 nm. Sinar UV mulai dari 200-350 nm dan sinar tampak 350-700 nm. Absorpsi radiasi akan menyebabkan terjadinya eksitasi elektron. Penggunaan spektrofotometer UV-Vis pada senyawa organik adalah berdasarkan transisi  $n - \pi^*$  dan  $\pi - \pi^*$ . Atom atau molekul akan mengabsorpsi pada daerah panjang gelombang yang energinya sesuai dengan beda energi antara keadaan dasar dan keadaan tereksitasi dari atom atau molekul. Panjang gelombang yang diabsorpsi spesifik untuk masing-masing senyawa.<sup>25</sup>

Untuk pengukuran secara kuantitatif, metoda spektrofotometri UV-Vis digunakan untuk menentukan konsentrasi larutan, dimana absorpsi sinar oleh larutan merupakan fungsi konsentrasi. Pada kondisi optimum, dapat dibuat hubungan linier secara langsung antara absorpsi larutan dan konsentrasi larutan tersebut. Persamaan yang menggambarkan hubungan linier tersebut dikenal dengan hukum Lambert-Beer,

yakni :

$$A = a \cdot b \cdot c$$

dimana :

$$A = \text{absorban}$$

$$a = \text{serapan spesifik (cm}^{-1}\text{M}^{-1}\text{)}$$

$$b = \text{lajur larutan (cm)}$$

$$c = \text{konsentrasi (M)}$$

## 2.7 FT-IR (*Fourier Transformation-Infra Red*)

Spektroskopi FT-IR merupakan suatu metoda analisis yang dipakai untuk karakterisasi bahan polimer dan analisa gugus fungsi dengan cara menentukan dan merekam hasil spektra residu dengan serapan energi oleh molekul organik dalam sinar infra merah. Tidak seperti spektroskopi UV, pada spektroskopi IR energi yang diberikan oleh sinar infra merah tidak cukup untuk mengeksitasi elektron dari suatu orbital ke orbital lain. Bila sinar infra merah melewati suatu cuplikan senyawa organik, maka sejumlah frekuensi akan diserap, sedangkan sisanya akan diteruskan.



### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Kimia Analisis Terapan Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas Padang pada bulan Februari - September 2012.

#### 3.2 Alat dan Bahan

##### 3.2.1 Alat

Alat yang digunakan adalah Spektrofotometer UV/Vis (Evolution 201 UV-Visible Spectrophotometer), Lampu UV 10 watt (Germicidal CE G 13 Base 8FC11004,  $\lambda = 365$  nm), neraca analitik, oven, pengayak, sentrifus, magnetik stirer, erlenmeyer, dan peralatan gelas lainnya.

##### 3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sipermetrin dalam insektisida Ripcord 5EC, TiO<sub>2</sub> anatase (Ishihara Sangyo, LTD Japan), zeolit, asetonitril (Merck), natrium klorida (Merck), perak nitrat (Merck), dan akuabides.

#### 3.3 Prosedur Kerja

##### 3.3.1 Preparasi Katalis TiO<sub>2</sub>/Zeolit

###### 3.3.1.1 Preparasi Na-Zeolit

Zeolit alam diayak menggunakan pengayak berukuran 250 mesh. Kemudian dicuci dengan akuabides, disaring, dan dikeringkan dalam oven. Zeolit (25 mg) kemudian dijenuhkan dengan NaCl sambil diaduk selama 24 jam, kemudian dicuci dengan akuabides. Lalu diuji dengan AgNO<sub>3</sub> sampai tidak terbentuk endapan putih.

###### 3.3.1.2 Pilarisasi zeolit

Na-Zeolit ditambahkan akuabides lalu diaduk dengan pengaduk magnet selama 5 jam. Na-Zeolit yang telah terdispersi ke dalam air bebas mineral

ditambahkan sedikit demi sedikit 1 mg  $\text{TiO}_2$ -anatase. Kemudian dipisahkan dengan penyaringan vakum lalu dicuci beberapa kali dengan akuabides. Zeolit alam yang telah terinterkalasi dengan  $\text{TiO}_2$ -anatase dikeringkan dalam oven pada temperatur 110-120°C. Setelah kering, sampel digerus sampai halus kemudian diayak dengan menggunakan pengayak 100 mesh. Hasil ayakan dikalsinasi pada temperatur 350°C selama 12 jam, hasil ini disebut  $\text{TiO}_2$ /zeolit.

### **3.3.2 Pembuatan Variasi Pelarut Asetonitril : Akuabides**

Untuk menentukan perbandingan asetonitril dengan akuabides maka dibuat larutan sipermetrin dilarutkan dengan beberapa variasi campuran asetonitril dengan akuabides yaitu 0:10, 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 8:2, 9:1, dan 10:0 dalam labu ukur 10 mL.

### **3.3.3 Pembuatan Larutan Stok Sipermetrin 50 mg/L**

Larutan stok sipermetrin 50 mg/L dibuat dari larutan sipermetrin 50.000 mg/L dengan cara pengenceran bertingkat menggunakan pelarut asetonitril : akuabides dalam labu ukur 10 mL.

### **3.3.4 Pengukuran Absorban Beberapa Variasi Konsentrasi Dari Sipermetrin**

Sederetan variasi konsentrasi sipermetrin dibuat dengan mengencerkan larutan stok menjadi 5; 7,5; 10; 12,5 dan 15 mg/L dan dilarutkan dengan pelarut asetonitril:akuabides. Pelarut yang dipakai adalah hasil perbandingan pada penentuan pemakaian campuran asetonitril:akuabides pada poin diatas. Selanjutnya masing-masing konsentrasi sipermetrin diukur absorbannya dengan spektrofotometer UV-VIS.

### **3.3.5 Penentuan Waktu Fotolisis**

Larutan sipermetrin 10 mg/L dimasukkan kedalam lima buah petridish dengan volume masing-masing 10 mL. Setelah itu masing-masingnya difotolisis

dengan memakai lampu UV dengan beberapa variasi waktu yaitu 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Selanjutnya larutan yang telah di fotolisis diukur absorbannya dengan spektrofotometer UV-VIS.

### **3.3.6 Penentuan Optimasi Jumlah Katalis TiO<sub>2</sub>/Zeolit**

Larutan sipermetrin 10 mg/L dimasukkan kedalam 5 buah petridish dengan volume masing-masing 10 mL. Setelah itu ke dalam masing-masingnya ditambahkan TiO<sub>2</sub>/zeolit berkisar sebanyak 5, 10, 15, 20, dan 25 mg. Larutan yang telah difotolisis selama waktu optimum disentrifus selama 15 menit untuk memisahkan filtrat dengan katalis. Selanjutnya diukur absorbannya dengan UV-VIS.

### **3.3.7 Penentuan Optimasi Waktu Fotolisis dengan Penambahan Katalis TiO<sub>2</sub>/Zeolit**

Larutan sipermetrin dengan konsentrasi 10 mg/L dimasukkan ke dalam 4 buah petridish dengan volume masing-masing 10 mL. Setelah itu kedalam masing-masingnya ditambahkan 20 mg TiO<sub>2</sub>/zeolit. Selanjutnya difotolisis selama beberapa variasi waktu 30, 60, 90 dan 120 menit. Hasil fotolisis disentrifus selama 15 menit. Lalu diambil filtratnya dan diukur absorbannya dengan spektrofotometer UV-VIS

### **3.3.8 Penentuan Optimasi Waktu Fotolisis dengan Penambahan Katalis TiO<sub>2</sub>-Anatase**

Larutan sipermetrin dengan konsentrasi 10 mg/L dimasukkan ke dalam 4 buah petridish dengan volume masing-masing 10 mL. Setelah itu kedalam masing-masingnya ditambahkan 0,8 mg TiO<sub>2</sub>-anatase. Jumlah ini didapatkan dari jumlah optimum katalis TiO<sub>2</sub>/zeolit yang didapat (20 mg). TiO<sub>2</sub>/zeolit dibuat dari perbandingan TiO<sub>2</sub> : zeolit = 1 : 25, maka :

$$\text{Jumlah TiO}_2\text{-anatase} = \frac{1}{25} \times 20 \text{ mg} = 0,8 \text{ mg}$$

Selanjutnya difotolisis selama beberapa variasi waktu 30, 60, 90 dan 120 menit. Hasil fotolisis disentrifus selama 15 menit. Lalu diambil filtratnya dan diukur absorbannya dengan spektrofotometer UV-VIS

### **3.3.9 Penentuan Optimasi Waktu Fotolisis dengan Penambahan Katalis Zeolit**

Larutan sipermetrin dengan konsentrasi 10 mg/L dimasukkan ke dalam 4 buah petridish dengan volume masing-masing 10 mL. Setelah itu kedalam masing-masingnya ditambahkan 19,2 mg zeolit. Jumlah ini didapatkan dari jumlah optimum katalis  $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$  yang didapat (20 mg).  $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$  dibuat dari perbandingan  $\text{TiO}_2 : \text{zeolit} = 1 : 25$ , maka :

$$\text{Jumlah zeolit} = \frac{25}{26} \times 20 \text{ mg} = 19,2 \text{ mg}$$

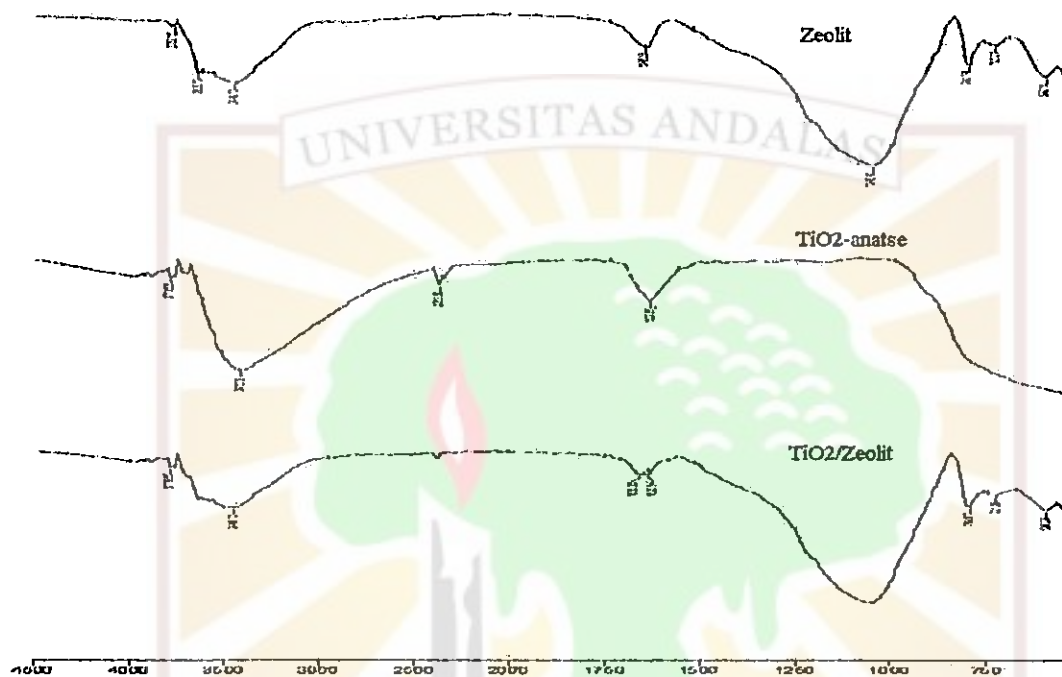
Selanjutnya difotolisis selama beberapa variasi waktu 30, 60, 90 dan 120 menit. Hasil fotolisis disentrifus selama 15 menit. Lalu diambil filtratnya dan diukur absorbannya dengan spektrofotometer UV-VIS

### **3.3.10 Perbandingan Katalis $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ , $\text{TiO}_2\text{-anatase}$ dan Zeolit Pada Waktu Optimum**

Larutan sipermetrin dengan konsentrasi 10 mg/L dimasukkan ke dalam 3 buah petridish dengan volume masing-masing 10 mL. Setelah itu ke dalam masing-masingnya ditambahkan : 20 mg  $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ , 0,8 mg  $\text{TiO}_2\text{-anatase}$  dan 19,2 mg zeolit. Selanjutnya difotolisis selama 120 menit. Hasil fotolisis disentrifus selama 15 menit. Lalu diambil filtratnya dan diukur absorbannya dengan spektrofotometer UV-VIS

## IV. HASIL DAN DISKUSI

### 4.1 Karakterisasi Katalis $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ , $\text{TiO}_2$ -anatase dan Zeolit



Gambar 5. Spektrum FT-IR katalis  $\text{TiO}_2$ -anatase, Zeolit, dan  $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$

Dari hasil analisis FTIR terlihat bahwa terdapat 2 pita antara 4000-1800  $\text{cm}^{-1}$  dan 6 pita pada 1800-400  $\text{cm}^{-1}$ . Mineral clay bisa dibedakan dari senyawa lain berdasarkan bentuk spektrum IR nya. Berdasarkan ada atau tidaknya pita yang mengarah pada grup O-H dan Si-O. Dimana untuk grup O-H muncul pita pada panjang gelombang 3800-3400  $\text{cm}^{-1}$ . Pada gambar dapat dilihat terdapat pita pada panjang gelombang 3777 dan 3443  $\text{cm}^{-1}$  hal ini menandakan adanya gugus O-H dari zeolit. Selanjutnya pada daerah 1300-400  $\text{cm}^{-1}$ , menandakan adanya ikatan Si-O. Sedangkan pada panjang gelombang 1130  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya ikatan Si-O-Si. Hasil FTIR juga menunjukkan bahwa tidak terjadi interaksi kimia antara  $\text{TiO}_2$  dan Zeolit dimana tidak muncul puncak Ti-O-Si, hal ini membuktikan bahwa yang terbentuk adalah  $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ .

#### 4.2 Penentuan Variasi Pelarut Asetonitril : Akuabides

Pembuatan variasi pelarut perlu dilakukan karena senyawa sipermetrin tidak larut dalam akuades dan akuabides. Tetapi larut dalam asetonitril atau dengan perbandingan asetonitril dengan akuabides. Untuk mengefisienkan pemakaian pelarut maka dilakukan perbandingan asetonitril : akuabides. Dari pengamatan didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 1. Perbandingan Penggunaan Pelarut Asetonitril : Akuabides

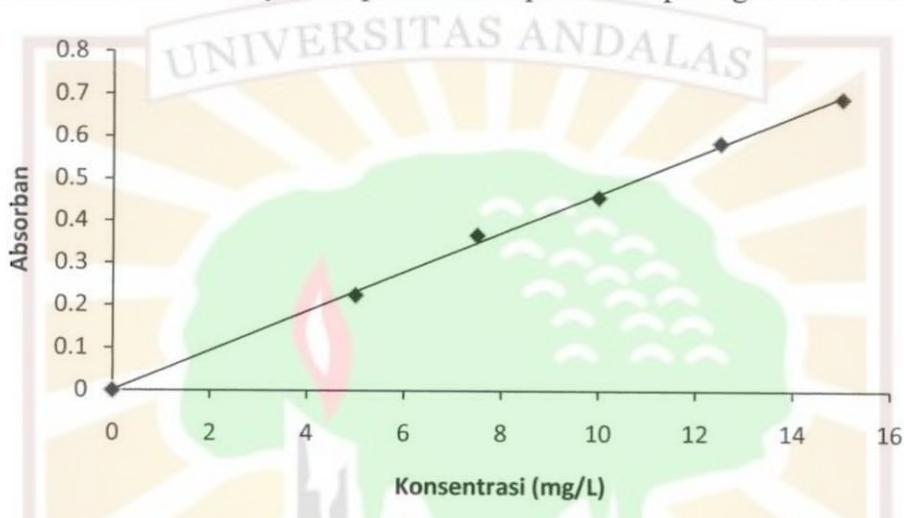
Asetonitril : Akuabides	Larutan
0 : 10	Keruh
1 : 9	Keruh
2 : 8	Keruh
3 : 7	Keruh
4 : 6	Keruh
5 : 5	Bening kekeruhan
6 : 4	Bening
7 : 3	Bening
8 : 2	Bening
9 : 1	Bening
10 : 0	Bening

Tabel 1 memperlihatkan pengaruh pelarut asetonitril : akuabides terhadap kelarutan sipermetrin. Pada variasi perbandingan pelarut asetonitril : akuabides ; 0:10, 1:9, 2:8, 3:7 dan 4:6 kelarutan sipermetrin masih sangat kecil dimana masih terbentuk larutan berwarna keruh, sedangkan pada perbandingan 5:5 sipermetrin sudah mulai bening, namun belum stabil karena mudah keruh lagi. Pada perbandingan seterusnya larutan yang dihasilkan sudah bening dan stabil. Untuk perlakuan selanjutnya digunakan pelarut dengan perbandingan 6:4 demi keefisienan pelarut.

### 4.3 Penentuan Spektrum Serapan Sipermetrin

Pengukuran spektrum serapan sipermetrin dengan variasi konsentrasi 5, 7,5 , 10 , 12,5 dan 15 mg/L dalam pelarut asetonitril : akuabides (6:4) dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis memperlihatkan puncak serapan pada daerah UV (240-340 nm) dan memberikan serapan maksimum pada panjang gelombang 265,83 nm. Spektrum dapat dilihat lampiran 1.

Kurva kalibrasi standar senyawa sipermetrin dapat dilihat pada gambar berikut.



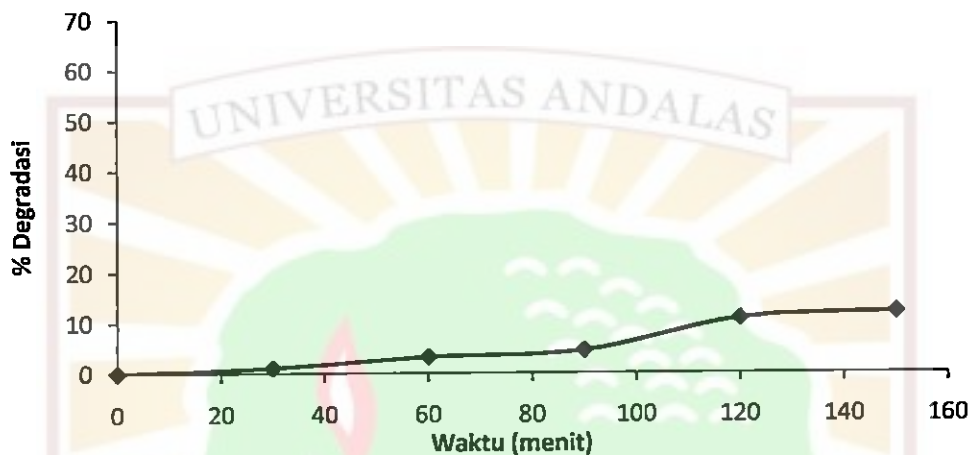
Gambar 6. Kurva Konsentrasi Vs Absorban

Gambar 6 memperlihatkan bahwa nilai absorban dari variasi konsentrasi sipermetrin menghasilkan kurva yang linier. Dari perhitungan persamaan regresi sesuai hukum Lambert-Beer maka didapatkan nilai  $R = 0,996$ . Untuk perlakuan selanjutnya digunakan larutan sipermetrin 10 mg/L dengan absorban 0,455 sebagai larutan yang akan didegradasi secara fotolisis.

### 4.4 Penentuan Waktu Optimum Degradasi Secara Fotolisis

Waktu optimum dari proses degradasi sipermetrin dapat ditentukan dengan cara memvariasikan waktu iradiasinya. Dalam hal ini waktu yang digunakan adalah 30, 60, 90, 120 dan 150 menit. Pengaruh waktu iradiasi terhadap persen degradasi sipermetrin dapat dilihat pada Gambar 7.

Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa persen degradasi berbanding lurus dengan waktu iradiasi. Semakin lama senyawa sipermetrin difotolisis maka semakin besar persen degradasinya. Hal ini disebabkan dengan bertambahnya waktu iradiasi maka semakin banyak jumlah OH radikal yang berperan dalam mendegradasi senyawa sipermetrin. Waktu optimum untuk mendegradasi 10 mL sipermetrin 10 mg/L adalah 120 menit dengan persen degradasi sebanyak 12,058%.<sup>27</sup>



Gambar 7. Pengaruh waktu iradiasi terhadap persen degradasi sipermetrin tanpa penambahan katalis  
Konsentrasi sipermetrin = 10 mg/L

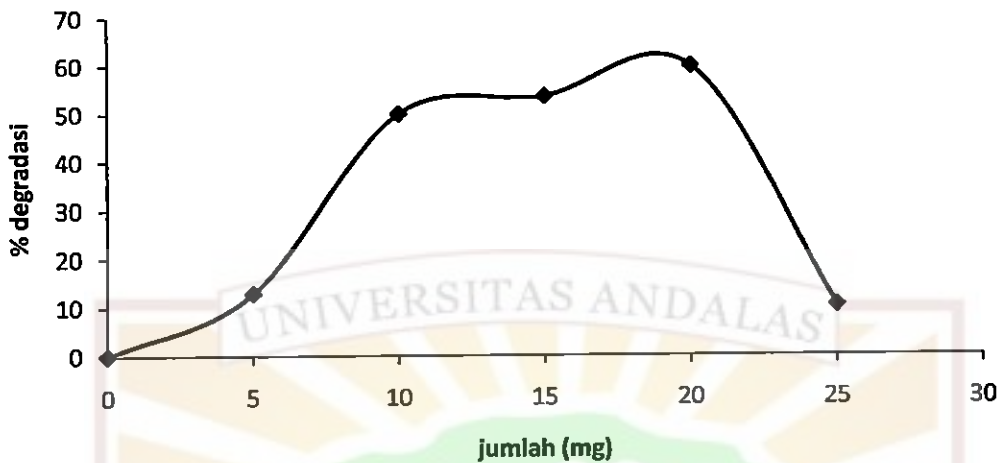
#### 4.5 Pengaruh Penambahan Jumlah Katalis $TiO_2$ /zeolit

Penambahan  $TiO_2$ /zeolit dalam metoda fotolisis untuk mendegradasi senyawa sipermetrin, digunakan beberapa variasi jumlah yaitu : 5, 10, 15, 20, 25 mg dan difotolisis dengan waktu optimum yaitu 120 menit. Pemvariasian jumlah katalis ini bertujuan agar didapatkan jumlah optimum katalis untuk mendegradasi sipermetrin. Pengaruh jumlah katalis  $TiO_2$ /zeolit terhadap persen degradasi sipermetrin dapat dilihat pada Gambar 8.

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa semakin besar jumlah  $TiO_2$ /zeolit maka semakin besar pula persen degradasi sipermetrin. Jumlah optimum  $TiO_2$ /zeolit untuk mendegradasi 10 mL sipermetrin 10 mg/L adalah 20 mg dengan persen degradasi sebanyak 63,419%, karena jika jumlahnya ditambah lagi yaitu sebanyak 25 mg, persen degradasinya justru menurun. Hal ini disebabkan jumlah katalis yang diberikan



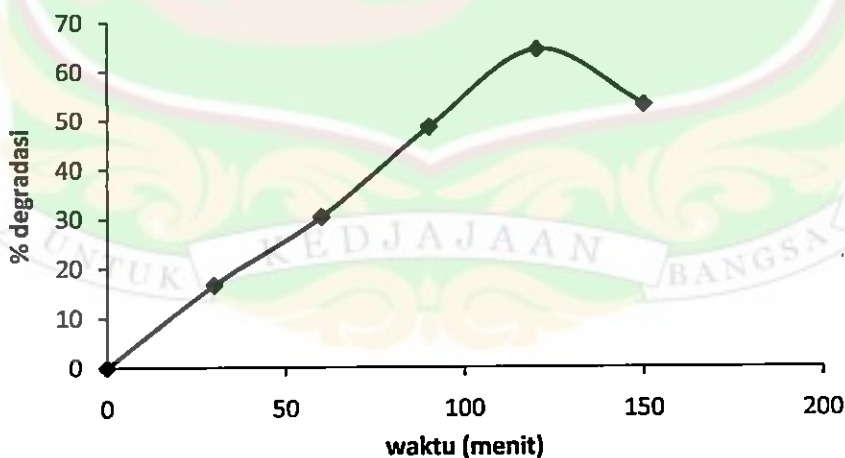
lebih besar dari konsentrasi sipermetrin, sehingga terjadi kejenuhan larutan yang membuat larutan menjadi keruh yang berdampak pada peningkatan absorban.<sup>27</sup>



Gambar 8. Pengaruh jumlah  $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$  terhadap persentase degradasi sipermetrin  
Konsentrasi sipermetrin = 10 mg/L,  $t = 120$  menit

#### 4.6 Pengaruh Waktu Iradiasi dengan Penambahan Katalis $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$

Untuk mengetahui pengaruh waktu iradiasi terhadap persen degradasi sipermetrin dengan penambahan katalis  $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ . Larutan sipermetrin 10 mg/L difotolisis dengan menambahkan 20 mg  $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$  kemudian difotolisis dengan variasi waktu 30, 60, 90 dan 120 menit. Pengaruh waktu iradiasi terhadap persen degradasi sipermetrin dengan penambahan 20 mg  $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$  dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Pengaruh waktu iradiasi terhadap persen degradasi sipermetrin  
Konsentrasi sipermetrin = 10 mg/L, jumlah  $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$  = 20 mg

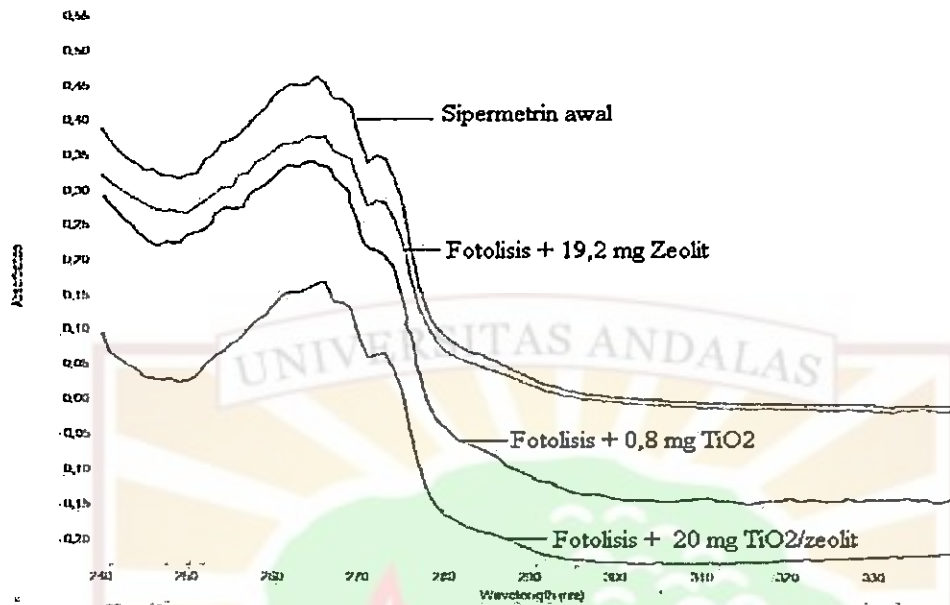
Dari Gambar 10 dapat dilihat bahwa jika dibandingkan dengan katalis  $\text{TiO}_2$  yang telah didukung oleh material zeolit, persen degradasi sipermetrin 10 mg/L dengan penambahan katalis  $\text{TiO}_2$ -anatase jauh lebih rendah. Hal ini disebabkan karena material  $\text{TiO}_2$ /zeolit memiliki fungsi ganda yaitu sebagai adsorben ( dari sifat zeolit yang berpori dan memiliki kation yang dapat dipertukarkan) dan sebagai fotokatalis.<sup>8</sup>

Zeolit disamping berperan sebagai adsorben, material alam ini juga mempunyai kemampuan menginisiasi reaksi kimia bila permukaannya disinari sinar UV. Ketika material difotolisis, material tersebut menyerap energi foton dan menyebabkan penyerapan dan kemudian terjadi oksidasi sehingga terbentuk radikal OH, dimana radikal OH akan menyerang ikatan senyawa-senyawa organik yang berada dalam media air, sehingga senyawa tersebut dapat dirubah menjadi senyawa tidak beracun. Oleh sebab itulah persen degradasi sipermetrin dengan penambahan  $\text{TiO}_2$ /zeolit memiliki nilai yang lebih besar.

#### **4.8 Pengaruh Waktu Iradiasi dengan Penambahan Katalis Zeolit**

Untuk melihat pengaruh waktu iradiasi terhadap persen degradasi sipermetrin dengan penambahan katalis zeolit maka larutan sipermetrin 10 mg/L didegradasi dengan penambahan jumlah zeolit sebanyak 19,2 mg dan variasi waktu 30, 60, 90 dan 120 menit. Hal ini bertujuan untuk membandingkan pengaruh antara katalis zeolit dengan katalis  $\text{TiO}_2$ /zeolit dalam membantu proses degradasi sipermetrin. Pengaruh waktu iradiasi terhadap persen degradasi sipermetrin dengan penambahan katalis zeolit dapat dilihat pada Gambar 11.

Dari Gambar 11 dapat dilihat bahwa persen degradasi sipermetrin berbanding lurus dengan waktu iradiasi. Semakin lama waktu iradiasi maka semakin besar pula persen degradasinya. Hal ini disebabkan zeolit memiliki pori-pori yang dapat menyerap senyawa sipermetrin ke permukaan material ini, sehingga dapat mengurangi konsentrasi senyawa sipermetrin di dalam larutan. Hal ini tentunya akan mengakibatkan berkurangnya nilai absorban dari sipermetrin.



Gambar 12. Spektrum serapan sipermetrin 10 mg/L dengan penambahan katalis t : 120 menit

Dari Gambar dapat dilihat bahwa penurunan spektrum tertinggi pada fotolisis sipermetrin jika dibandingkan dengan spektrum sipermetrin tanpa fotolisis, dicapai dengan penambahan katalis  $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ . Selanjutnya diikuti oleh katalis  $\text{TiO}_2$ -anatase, sedangkan dengan penambahan zeolit, spektrum sipermetrin hanya mengalami sedikit penurunan.

Hal ini membuktikan bahwa katalis  $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$  memiliki efektifitas yang lebih tinggi dalam membantu proses degradasi sipermetrin secara fotolisis dibanding dengan komposisi awalnya yaitu  $\text{TiO}_2$ -anatase dan zeolit dalam jumlah yang sama. Hal ini disebabkan karena katalis  $\text{TiO}_2$  yang telah didukung oleh zeolit memiliki fungsi ganda yaitu sebagai adsorben (dari sifat zeolit yang berpori dan memiliki kation yang dapat dipertukarkan) serta sebagai fotokatalis.<sup>8</sup>

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Degradasi sipermetrin 10 mg/L secara fotolisis dengan menggunakan lampu UV 10 watt ( $\lambda = 365$  nm) pada waktu irradiasi selama 120 menit tanpa penambahan katalis persen degradasi hanya mencapai 10,799%. Dengan penambahan katalis zeolit sebanyak 19,2 mg persen degradasi mencapai 19,305%. Akan tetapi dengan penambahan katalis TiO<sub>2</sub>-anatase sebanyak 0,8 mg persen degradasinya bisa mencapai 28,205%. Selanjutnya dengan penambahan katalis TiO<sub>2</sub>-zeolit sebanyak 20 mg didapatkan nilai persen degradasi tertinggi yaitu sebesar 64,403%. Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa TiO<sub>2</sub> yang telah didukung oleh zeolit terbukti lebih efektif dalam membantu proses degradasi sipermetrin secara fotolisis.

### 5.2 Saran

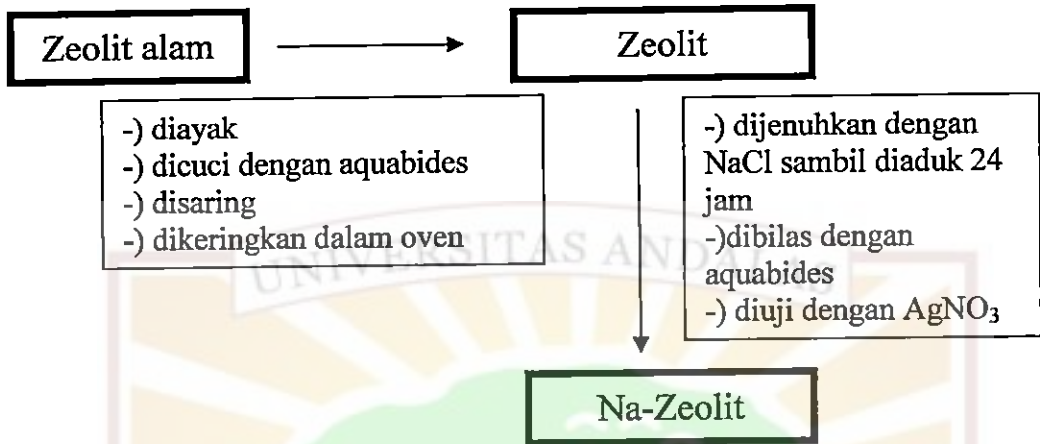
Bagi peneliti selanjutnya disarankan untuk melakukan degradasi senyawa sipermetrin dengan menggunakan metoda lain agar mencapai persentase degradasi yang lebih besar. Untuk mengidentifikasi dan menganalisis senyawa sipermetrin yang telah didegradasi secara lebih akurat, disarankan untuk menggunakan metoda HPLC-MS (*High Performance Liquid Chromatography-Mass Spectroscopy*).

## DAFTAR PUSTAKA

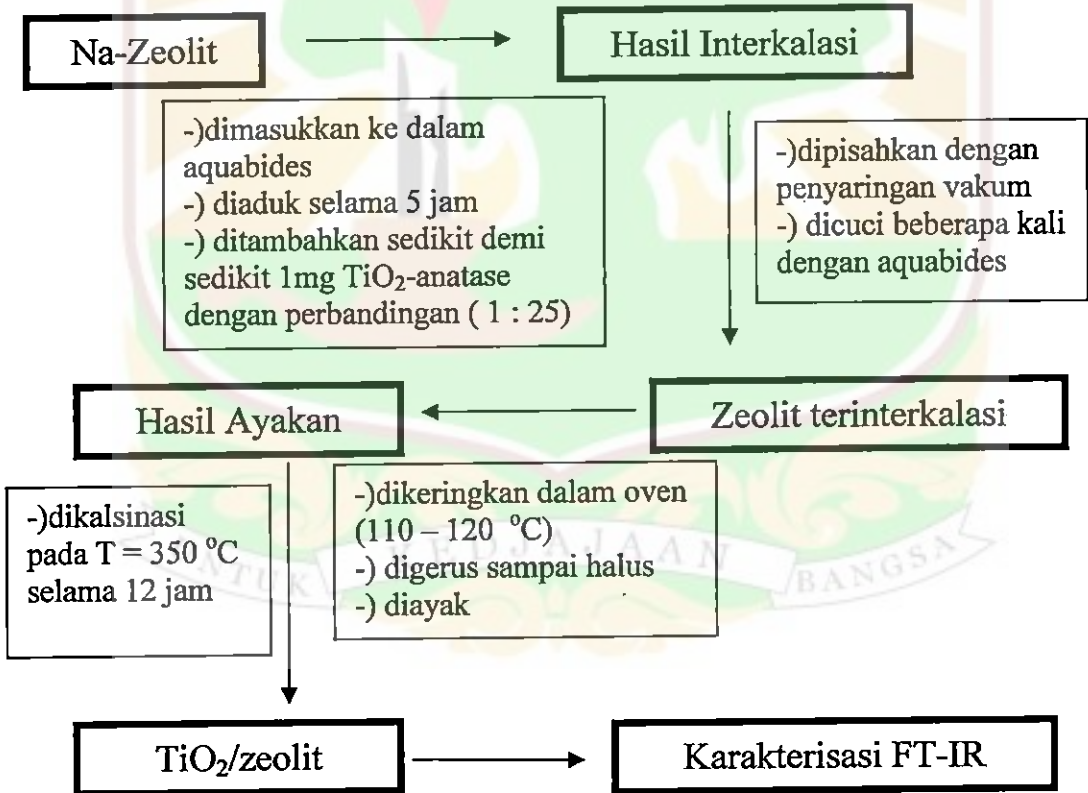
1. A.G Murugesan, T. Jeyasanthi dan S. Maheswari, Isolation and Characterization of Cypermethrin Utilizing Bacteria from Brinjal Cultivated Soil, *J. Microbiologi Research*, 4(1), 010-013, (2010).
2. Tyler, C.R, *Environmental Toxicology and Chemistry* 19, 801-809, 2000.
3. E.D Magallona, *Pesticida Management*, Business Day CorpInc – Philipines, 1980.
4. S.P Bradbury and J.R Coats, Toxicokinetics and Toxicodynamics of Pyrethroid Insecticides in Fish, *J. Environ Toxicol Chem*, 8:373-380, (1989).
5. C. Cox, Insecticide Factsheet Cypermethrin, *J. of Pesticide Reform*, 16(2),1996.
6. P.N Tallur and V.B Magandi, Biodegradation of Cypermethrin by *Micrococcus* sp. Strain CPN 1, 19:77-82, (2008).
7. R. Ali and W. Azelle, Zn/ZnO/TiO<sub>2</sub> and Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> Photocatalysts for the Degradation of Cypermethrin, *J. Modern Applied Science*, 4(1), 2010.
8. I. Fatimah dan K. Wijaya, Sintesis TiO<sub>2</sub>-Zeolit sebagai Fotokatalis pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka secara Adsorpsi-Fotodegradasi, UGM, Yogyakarta, 10(4):257-267, (2005)
9. Riza dan Gayatri, *Ingatlah Bahaya Pestisida, Bunga Rampai Residu Pestisida dan Alternatifnya*, Pesiticide Action Network (PAN), Jakarta, (1994).
10. K. Munawir. Pemantauan Kadar Pestisida Organoklorin di Beberapa Muara Sungai di Perairan Teluk Jakarta. Pusat Penelitian Oseanograf – LIPI 2005.
11. Departemen Pertanian, 2008. *Pestisida Rumah Tangga dan Pengendalian Vektor Penyakit pada Manusia*. Pusat Perizinan dan Investasi Sekjen Departemen Pertanian, Koperasi Pegawai Deptan, Jakarta.
12. Jones DeeAn. Environmental Fate Of Cypermethrin. 95814-3510.
13. U.S. Enviromental Protection Agency, Pesticide Fact Sheet Number 199 : Cypermethrin, Office of Pesticide and Toxic Substances, Washington DC, (1988).
14. A. C. Lee dan R. H. Lin, Preparation And Characterization Of Novel Photocatalyst With Mesoporous Titanium Dioxide (TiO<sub>2</sub>) Via a Sol-gel Method, *Sci. Direct*, pp. 275-280 (2008)
15. Fujishima, A. K., T. N. Rao dan D. A. Tryk, Titanium Dioxide Photocatalys. *J. Photochem. and Photobio. C. Photochem. Rev*, pp. 1-12 (2000).

# Lampiran 1. Skema Kerja Preparasi Katalis TiO<sub>2</sub>/Zeolit<sup>27</sup>

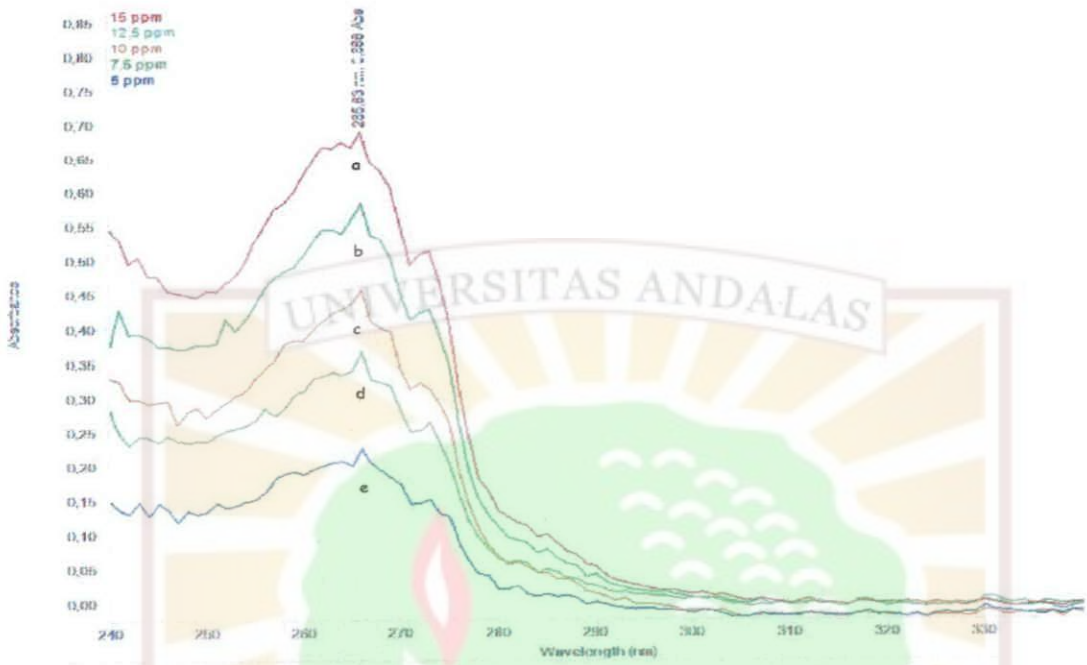
## 1. Preparasi Na-Zeolit



## 2. Pilarisasi Zeolit

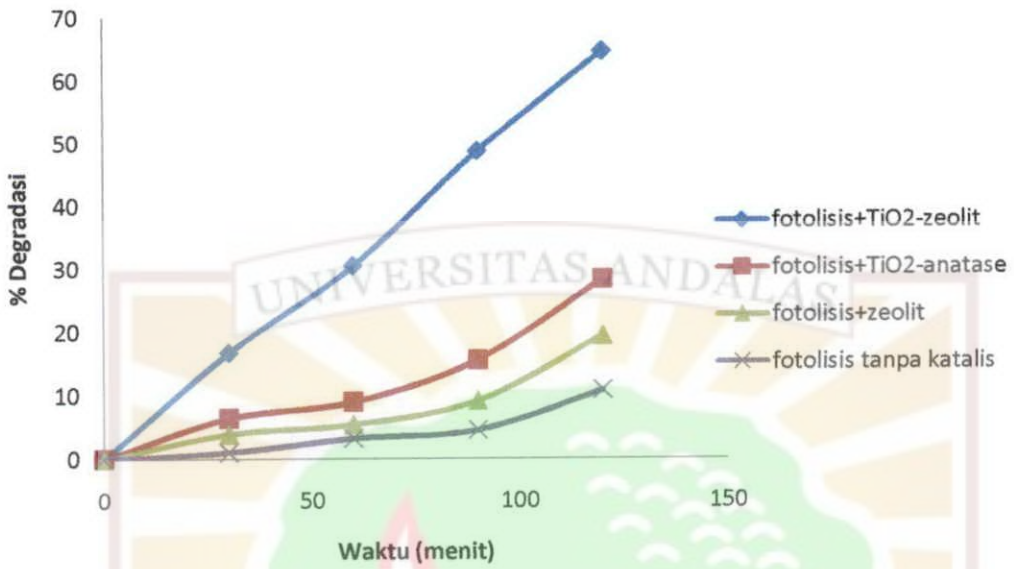


## Lampiran 2. Spektrum Variasi Konsentrasi Sipermetrin



Gambar 13. Spektrum serapan Sipermetrin dengan variasi konsentrasi  
a. 15 mg/L b. 12,5 mg/L c. 10 mg/L d. 7,5 mg/L dan e. 5 mg/L

Lampiran 3. Perbandingan Katalis  $\text{TiO}_2$ /zeolit,  $\text{TiO}_2$ -anatase dan zeolit



Gambar 14. Pengaruh waktu iradiasi terhadap degradasi sipermetrin dengan penambahan berbagai katalis  
Konsentrasi sipermetrin = 10 mg/L



#### Lampiran 4. Perhitungan Absortivitas Molar ( $\epsilon$ )

Tabel 2. Data nilai absorban Sipermetrin pada variasi konsentrasi

Konsentrasi ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Absorban (A)
5	0,223
7,5	0,365
10	0,455
12,5	0,583
15	0,688

Rumus : 
$$\epsilon = \frac{A}{b \times c} \times Mr$$

Dimana :  $\epsilon$  = Absortivitas Molar ( $\text{M}^{-1} \text{cm}^{-1}$ )  
A = Absorban  
b = Lajur larutan (cm)  
c = Konsentrasi ( $\text{g L}^{-1}$ )  
Mr = Massa molekul relatif ( $\text{g mol}^{-1}$ )

1. Untuk konsentrasi larutan Sipermetrin  $5 \text{ mg.L}^{-1}$

$$\epsilon = \frac{0,223}{1 \text{ cm} \times 0,005 \text{ g/L}} \times 416,3 \text{ g.mol}^{-1} = 18566,98 \text{ M.cm}^{-1}$$

2. Untuk konsentrasi larutan Sipermetrin  $7,5 \text{ mg.L}^{-1}$

$$\epsilon = \frac{0,365}{1 \text{ cm} \times 0,0075 \text{ g/L}} \times 416,3 \text{ g.mol}^{-1} = 20259,93 \text{ M.cm}^{-1}$$

3. Untuk konsentrasi larutan Sipermetrin  $10 \text{ mg.L}^{-1}$

$$\epsilon = \frac{0,455}{1 \text{ cm} \times 0,01 \text{ g/L}} \times 416,3 \text{ g.mol}^{-1} = 18941,65 \text{ M.cm}^{-1}$$

4. Untuk konsentrasi larutan Sipermetrin  $12,5 \text{ mg.L}^{-1}$

$$\epsilon = \frac{0,583}{1 \text{ cm} \times 0,0125 \text{ g/L}} \times 416,3 \text{ g.mol}^{-1} = 19416,23 \text{ M.cm}^{-1}$$

5. Untuk konsentrasi larutan Sipermetrin 15 mg.L<sup>-1</sup>

$$\epsilon = \frac{0,688}{1 \text{ cm} \times 0,015 \text{ g/L}} \times 416,3 \text{ g.mol}^{-1} = 19094,29 \text{ M.cm}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \epsilon \text{ rata-rata} &= \frac{18566,98 + 20259,93 + 18941,65 + 19416,23 + 19094,29 \text{ M/cm}}{5} = \\ &= 19094,29 \text{ M.cm}^{-1} \end{aligned}$$



**Lampiran 5. Perhitungan persentase degradasi Sipermetrin 10 mg/L secara fotolisis tanpa penambahan katalis**

**Tabel 3. Data nilai absorban dan persentase degradasi Sipermetrin 10 mg/L secara fotolisis dengan variasi waktu**

Waktu (menit)	Absorban awal	Absorban akhir	% degradasi
0	0,463	0,463	0
30	0,463	0,458	1,079
60	0,463	0,448	3,239
90	0,463	0,442	4,535
120	0,463	0,413	10,799
150	0,463	0,407	12,058

Rumus : % Degradasi =  $\frac{A_{awal}-A_{akhir}}{A_{awal}} \times 100\%$

1. Untuk waktu irradiasi 30 menit

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,463-0,458}{0,463} \times 100\% = 1,079\%$$

2. Untuk waktu irradiasi 60 menit

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,463-0,448}{0,463} \times 100\% = 3,239\%$$

3. Untuk waktu irradiasi 90 menit

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,463-0,442}{0,463} \times 100\% = 4,535\%$$

4. Untuk waktu irradiasi 120 menit

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,463-0,413}{0,463} \times 100\% = 10,799\%$$

5. Untuk waktu irradiasi 150 menit

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,463-0,407}{0,463} \times 100\% = 12,058\%$$

**Lampiran 6.** Perhitungan persentase degradasi Sipermetrin 10 mg/L secara fotolisis dengan variasi jumlah TiO<sub>2</sub>/zeolit selama 120 menit

Tabel 4. Data nilai absorban dan persentase degradasi Sipermetrin 10 mg/L secara fotolisis dengan variasi jumlah TiO<sub>2</sub>/zeolit selama 120 menit

Berat TiO <sub>2</sub> /zeolit (mg)	Absorban awal	Absorban akhir	% degradasi
0	0,419	0,419	0
5	0,419	0,365	12,887
10	0,419	0,210	49,881
15	0,419	0,195	53,461
20	0,419	0,169	59,665
25	0,419	0,376	10,263

Rumus : % Degradasi =  $\frac{A_{awal} - A_{akhir}}{A_{awal}} \times 100\%$

1. Untuk jumlah TiO<sub>2</sub>/zeolit 5 mg

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,419 - 0,365}{0,419} \times 100\% = 12,887\%$$

2. Untuk jumlah TiO<sub>2</sub>/zeolit 10 mg

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,419 - 0,210}{0,419} \times 100\% = 49,881\%$$

3. Untuk jumlah TiO<sub>2</sub>/zeolit 15 mg

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,419 - 0,195}{0,419} \times 100\% = 53,461\%$$

4. Untuk jumlah TiO<sub>2</sub>/zeolit 20 mg

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,419 - 0,169}{0,419} \times 100\% = 59,665\%$$

5. Untuk jumlah TiO<sub>2</sub>/zeolit 25 mg

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,419 - 0,376}{0,419} \times 100\% = 10,263\%$$

**Lampiran 7.** Perhitungan persentase degradasi Sipermetrin 10 mg/L secara fotolisis dengan penambahan katalis TiO<sub>2</sub>/zeolit serta variasi waktu

Tabel 5. Data nilai absorban dan persentase degradasi Sipermetrin 10 mg/L secara fotolisis dengan penambahan katalis TiO<sub>2</sub>/zeolit serta variasi waktu

Waktu (menit)	Absorban awal	Absorban akhir	% degradasi
0	0,467	0,467	0
30	0,467	0,389	16,702
60	0,467	0,325	30,406
90	0,467	0,240	48,608
120	0,467	0,168	64,403
150	0,467	0,219	53,105

Rumus : % Degradasi =  $\frac{A_{awal}-A_{akhir}}{A_{awal}} \times 100\%$

1. Untuk waktu irradiasi 30 menit

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,467-0,389}{0,467} \times 100\% = 16,702\%$$

2. Untuk waktu irradiasi 60 menit

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,467-0,325}{0,467} \times 100\% = 30,406\%$$

3. Untuk waktu irradiasi 90 menit

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,467-0,240}{0,467} \times 100\% = 48,608\%$$

4. Untuk waktu irradiasi 120 menit

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,467-0,168}{0,467} \times 100\% = 64,403\%$$

5. Untuk waktu irradiasi 150 menit

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,467-0,219}{0,467} \times 100\% = 53,105\%$$

**Lampiran 8.** Perhitungan persentase degradasi Sipermetrin 10 mg/L secara fotolisis dengan penambahan katalis TiO<sub>2</sub>-anatase serta variasi waktu

Tabel 6. Data nilai absorban dan persentase degradasi Sipermetrin 10 mg/L secara fotolisis dengan penambahan katalis TiO<sub>2</sub>-anatase serta variasi waktu

Waktu (menit)	Absorban awal	Absorban akhir	% degradasi
0	0,468	0,468	0
30	0,468	0,438	6,410
60	0,468	0,426	8,974
90	0,468	0,395	15,598
120	0,468	0,336	28,205
150	0,468	0,356	23,932

Rumus : % Degradasi =  $\frac{A_{awal} - A_{akhir}}{A_{awal}} \times 100\%$

1. Untuk waktu irradiasi 30 menit

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,468 - 0,438}{0,468} \times 100\% = 6,410\%$$

2. Untuk waktu irradiasi 60 menit

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,468 - 0,426}{0,468} \times 100\% = 8,974\%$$

3. Untuk waktu irradiasi 90 menit

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,468 - 0,395}{0,468} \times 100\% = 15,598\%$$

4. Untuk waktu irradiasi 120 menit

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,468 - 0,336}{0,468} \times 100\% = 28,205\%$$

5. Untuk waktu irradiasi 150 menit

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,468 - 0,356}{0,468} \times 100\% = 23,932\%$$

**Lampiran 9.** Perhitungan persentase degradasi Sipermetrin 10 mg/L secara fotolisis dengan penambahan katalis zeolit serta variasi waktu

**Tabel 7.** Data nilai absorban dan persentase degradasi Sipermetrin 10 mg/L secara fotolisis dengan penambahan katalis zeolit serta variasi waktu

Waktu (menit)	Absorban awal	Absorban akhir	% degradasi
0	0,461	0,461	0
30	0,461	0,443	3,904
60	0,461	0,436	5,422
90	0,461	0,419	9,110
120	0,461	0,372	19,305
150	0,461	0,389	15,618

$$\text{Rumus : \% Degradasi} = \frac{A_{\text{awal}} - A_{\text{akhir}}}{A_{\text{awal}}} \times 100\%$$

1. Untuk waktu irradiasi 30 menit

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,461 - 0,443}{0,461} \times 100\% = 3,904\%$$

2. Untuk waktu irradiasi 60 menit

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,461 - 0,436}{0,461} \times 100\% = 5,422\%$$

3. Untuk waktu irradiasi 90 menit

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,461 - 0,419}{0,461} \times 100\% = 9,110\%$$

4. Untuk waktu irradiasi 120 menit

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,461 - 0,372}{0,461} \times 100\% = 19,305\%$$

5. Untuk waktu irradiasi 150 menit

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{0,461 - 0,389}{0,461} \times 100\% = 15,618\%$$