

**DEGRADASI RESIDU PESTISIDA CHERIZEB DAN EMACEL PADA
AIR CUCIAN CABAI MENGGUNAKAN KATALIS ZnO /ZEOLIT
SECARA FOTOLISIS**

SKRIPSI SARJANA KIMIA

UNIVERSITAS ANDALAS

Oleh:

BENNY DAMAS PUTRA

NIM : 2110413004

Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Zilfa, MS.

Dosen Pembimbing II : Prof. Dr. Safni, M.Eng.



PROGRAM SARJANA

DEPARTEMEN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS ANDALAS

PADANG

2025

**DEGRADASI RESIDU PESTISIDA CHERIZEB DAN EMACEL PADA
AIR CUCIAN CABAI MENGGUNAKAN KATALIS ZnO /ZEOLIT
SECARA FOTOLISIS**

SKRIPSI SARJANA KIMIA

Oleh :

BENNY DAMAS PUTRA

NIM : 2110413004



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

**PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

Degradasi Residu Pestisida Cherizeb dan Emacel Pada Air Cucian Cabai Menggunakan Katalis ZnO /Zeolit secara fotolisis merupakan skripsi oleh Benny Damas Putra (NIM : 2110413004) sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (Strata-1/S1) pada Program Sarjana Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, dan telah diuji pada tanggal 1 september 2025.

Disetujui Oleh:

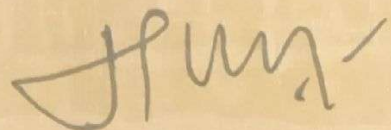
Pembimbing 1



Prof. Dr. Zilfa, MS.

NIP: 195807181986032001

Pembimbing 2

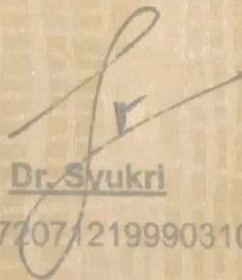


Prof. Dr. Safni, M.Eng.

NIP: 196705121990032013

Mengetahui:

Ketua Departemen Kimia



Dr. Syukri

NIP. 197207121999031002

LEMBARAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa Skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Padang, 22 September 2025



Benny Damas Putra

HALAMAN PERSEMBAHAN

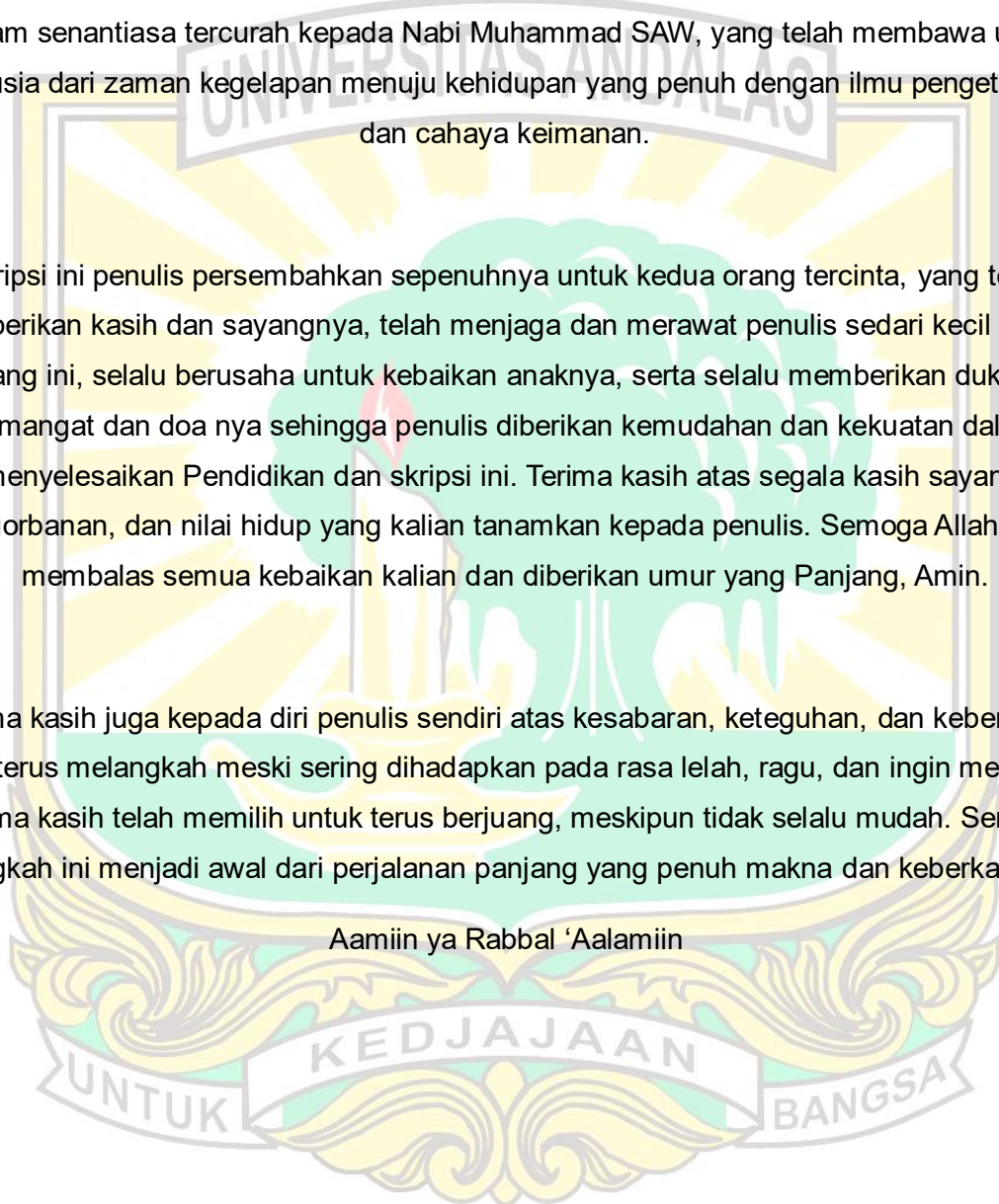


Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat, hidayah, dan kekuatan yang diberikan hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Tanpa pertolongan-Nya, segala upaya dan perjuangan ini takkan mungkin tercapai. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa umat manusia dari zaman kegelapan menuju kehidupan yang penuh dengan ilmu pengetahuan dan cahaya keimanan.

Skripsi ini penulis persembahkan sepenuhnya untuk kedua orang tercinta, yang telah memberikan kasih dan sayangnya, telah menjaga dan merawat penulis sedari kecil hingga sekarang ini, selalu berusaha untuk kebaikan anaknya, serta selalu memberikan dukungan, semangat dan doa nya sehingga penulis diberikan kemudahan dan kekuatan dalam menyelesaikan Pendidikan dan skripsi ini. Terima kasih atas segala kasih sayang, pengorbanan, dan nilai hidup yang kalian tanamkan kepada penulis. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan kalian dan diberikan umur yang Panjang, Amin.

Terima kasih juga kepada diri penulis sendiri atas kesabaran, keteguhan, dan keberanian untuk terus melangkah meski sering dihadapkan pada rasa lelah, ragu, dan ingin menyerah. Terima kasih telah memilih untuk terus berjuang, meskipun tidak selalu mudah. Semoga langkah ini menjadi awal dari perjalanan panjang yang penuh makna dan keberkahan.

Aamiin ya Rabbal 'Aalamiin



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Degradasi Residu Pestisida Cherizeb dan Emacel Pada Air Cucian Cabai Menggunakan Katalis ZnO/Zeolit secara fotolisis”** sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S1) pada Program Sarjana Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak dukungan, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Syukri selaku Ketua Departemen yang telah mempermudah proses dan urusan akademik di Departemen Kimia, Universitas Andalas.
2. Ibu Dr. Imelda, M.Si. selaku Sekretaris Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas.
3. Ibu Dr. rer. nat. Syafrizayanti, M.Si. selaku Ketua Program Studi S1 Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas.
4. Ibu Prof. Dr. Zilfa, MS sebagai Dosen Pembimbing I dan Ibu Prof. Dr. Safni, M. Eng sebagai Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan ilmu, bimbingan, saran serta dukungan selama melakukan penelitian hingga dapat menyelesaikan penulisan tesis ini.
5. Ibu Prof. Dr. Armaini, MS. sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan, saran, dan dukungan kepada penulis selama menjalankan perkuliahan di Departemen Kimia.
6. Ibu Prof. Dr. Deswati, M.S, Bapak Dr. Eng Matlal Fajri Alif, Bapak Prof. Dr. Afrizal, MS. sebagai Dosen Penguji yang telah banyak memberikan saran dan masukan dalam menyempurnakan tesis ini.
7. Bapak / Ibu staf dosen Departemen Kimia Universitas Andalas yang telah memberikan banyak ilmu yang bermanfaat selama menyelesaikan studi.
8. Seluruh Analis Laboratorium dan Tenaga Kependidikan Departemen Kimia telah membantu penulis dalam proses perkuliahan dan penelitian.
9. Keluarga tercinta penulis sampaikan kepada orang tua tersayang, bapak Antoni dan ibu Dewi Andriani serta adik Deto Ibrahim, Emir Arshavin, Amira Ramadani yang senantiasa memberikan doa, semangat, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.
10. Teman-teman satu kontrakan (M. Fajrul Rahman, Hanif Haidar, Ahmad Zaki Habibullah, Bagas Sandy Nugroho, Fadhil Ahmad Zaky, Muhammad Hamdi dan Hans

Farhan Hernanda) yang telah kebersamai penulis dalam keadaan apapun, memberikan dukungan, dan selalu bersama berjuang hingga akhir perkuliahan ini.

11. Teman-teman angkatan 2021 (A21RUM) yang telah memberikan warna untuk kehidupan penulis selama perkuliahan di Departemen Kimia.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dan mendukung penulis secara langsung maupun tidak langsung.
13. Diri sendiri, atas kesabaran, keteguhan, dan keberanian diri untuk terus melangkah dan terus berjuang hingga tahap ini tercapai.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi perbaikan di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi pembaca.

Padang, 22 September 2025



Benny Damas Putra



INTISARI

DEGRADASI RESIDU PESTISIDA CHERIZEB DAN EMACEL PADA AIR CUCIAN CABAI MENGUNAKAN KATALIS ZnO/ZEOLIT SECARA FOTOLISIS

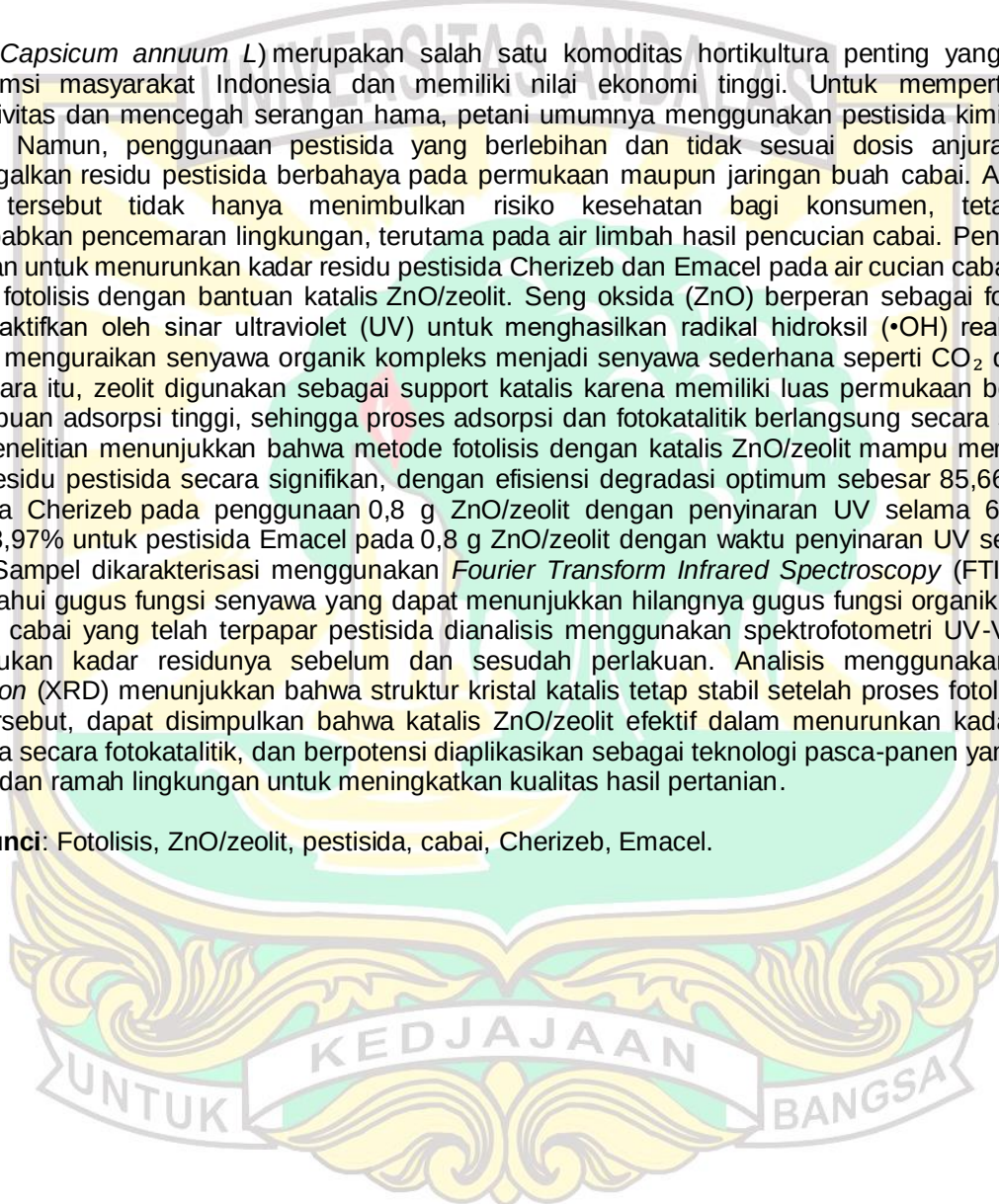
oleh:

Benny Damas Putra (NIM:2110413004)
Prof. Dr. Zilfa, M.S*, Prof. Dr. Safni, M.Eng*

***Pembimbing**

Cabai (*Capsicum annuum L*) merupakan salah satu komoditas hortikultura penting yang banyak dikonsumsi masyarakat Indonesia dan memiliki nilai ekonomi tinggi. Untuk mempertahankan produktivitas dan mencegah serangan hama, petani umumnya menggunakan pestisida kimia secara intensif. Namun, penggunaan pestisida yang berlebihan dan tidak sesuai dosis anjuran dapat meninggalkan residu pestisida berbahaya pada permukaan maupun jaringan buah cabai. Akumulasi residu tersebut tidak hanya menimbulkan risiko kesehatan bagi konsumen, tetapi juga menyebabkan pencemaran lingkungan, terutama pada air limbah hasil pencucian cabai. Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan kadar residu pestisida Cherizeb dan Emacel pada air cucian cabai melalui metode fotolisis dengan bantuan katalis ZnO/zeolit. Seng oksida (ZnO) berperan sebagai fotokatalis yang diaktifkan oleh sinar ultraviolet (UV) untuk menghasilkan radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$) reaktif yang mampu menguraikan senyawa organik kompleks menjadi senyawa sederhana seperti CO_2 dan H_2O . Sementara itu, zeolit digunakan sebagai support katalis karena memiliki luas permukaan besar dan kemampuan adsorpsi tinggi, sehingga proses adsorpsi dan fotokatalitik berlangsung secara simultan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode fotolisis dengan katalis ZnO/zeolit mampu menurunkan kadar residu pestisida secara signifikan, dengan efisiensi degradasi optimum sebesar 85,66% untuk pestisida Cherizeb pada penggunaan 0,8 g ZnO/zeolit dengan penyinaran UV selama 60 menit, serta 83,97% untuk pestisida Emacel pada 0,8 g ZnO/zeolit dengan waktu penyinaran UV selama 75 menit. Sampel dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi senyawa yang dapat menunjukkan hilangnya gugus fungsi organik tertentu. Sampel cabai yang telah terpapar pestisida dianalisis menggunakan spektrofotometri UV-Vis untuk menentukan kadar residunya sebelum dan sesudah perlakuan. Analisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa struktur kristal katalis tetap stabil setelah proses fotolisis. Dari data tersebut, dapat disimpulkan bahwa katalis ZnO/zeolit efektif dalam menurunkan kadar residu pestisida secara fotokatalitik, dan berpotensi diaplikasikan sebagai teknologi pasca-panen yang aman, efisien, dan ramah lingkungan untuk meningkatkan kualitas hasil pertanian.

Kata kunci: Fotolisis, ZnO/zeolit, pestisida, cabai, Cherizeb, Emacel.



ABSTRACT

DEGRADATION OF PESTICIDE RESIDUES CHERIZEB AND EMACEL IN CHILI WASHING WATER USING ZnO/ZEOLITE CATALYST THROUGH PHOTOLYSIS

by:

Benny Damas Putra (NIM:2110413004)
Prof. Dr. Zilfa, M.S*, Prof. Dr. Safni, M.Eng*

***Supervisors**

Chili (*Capsicum annuum L*)) is one of the most important horticultural commodities widely consumed in Indonesia and has high economic value. To maintain productivity and prevent pest attacks, farmers commonly apply chemical pesticides intensively. However, excessive and improper pesticide application can leave harmful residues on the surface and within the tissues of chili fruits. The accumulation of these residues not only poses health risks to consumers but also contributes to environmental pollution, particularly in wastewater generated from chili washing activities. This study aims to reduce pesticide residues of Cherizeb and Emacel in chili washing water using the photolysis method assisted by a ZnO/zeolite catalyst. Zinc oxide (ZnO) acts as a photocatalyst activated by ultraviolet (UV) light to produce reactive hydroxyl radicals ($\cdot\text{OH}$) capable of decomposing complex organic compounds into simpler compounds such as CO_2 and H_2O . Meanwhile, zeolite is used as a catalyst support due to its large surface area and high adsorption capacity, allowing adsorption and photocatalytic processes to occur simultaneously. The results showed that the photolysis method using the ZnO/zeolite catalyst significantly reduced pesticide residues, with optimum degradation efficiencies of 85.66% for Cherizeb using 0.8 g ZnO/zeolite under UV irradiation for 60 minutes, and 83.97% for Emacel using 0.8 g ZnO/zeolite under UV irradiation for 75 minutes. The samples were characterized using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) to identify functional groups, indicating the disappearance of specific organic functional groups. Pesticide residues on chili samples were analyzed using UV-Vis spectrophotometry to determine concentrations before and after treatment. X-Ray Diffraction (XRD) analysis confirmed that the crystalline structure of the catalyst remained stable after the photolysis process. Based on these findings, the ZnO/zeolite catalyst is proven to be effective in reducing pesticide residues through photocatalytic degradation and has the potential to be applied as a safe, efficient, and environmentally friendly post-harvest technology to improve the quality of agricultural products.

Keywords: Photolysis, ZnO/zeolite, Pesticide, chili peppers, Cherizeb, Emacel.



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
INTISARI.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG.....	x
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Cabai.....	4
2.2 Pestisida.....	4
2.3 Fotolisis.....	6
2.4 Katalis.....	7
2.5 Zeolit.....	7
2.6 ZnO.....	8
2.7 X-Ray Diffraction (XRD).....	8
2.8 Spektrofotometri UV-Vis.....	9
2.9 Fourier Transform Infrared (FTIR).....	9
BAB III. METODE PENELITIAN.....	11
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitan.....	11
3.2 Peralatan dan Bahan.....	11
3.2.1 Peralatan.....	11
3.2.2 Bahan.....	11
3.3 Prosedur Kerja.....	11
3.3.1 Pembuatan Reagen.....	11
3.3.2 Sintesis katalis ZnO/Zeolit.....	12
3.3.3 Penentuan Serapan Maksimum Pestisida Cherizeb dan Emacel.....	12
3.3.4 Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar Pestisida Cherizeb dan Emacel.....	13
3.3.4.1 Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar Pestisida Cherizeb.....	13
3.3.4.2 Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar Pestisida Emacel.....	13
3.3.5 Preparasi Sampel.....	13
3.3.6 Perlakuan Sampe dan Penentuan Kadar Residu Pestisida Dalam Sampel.....	13
3.3.7 Penentuan Kondisi Optimum Degradasi.....	13
3.3.8 Analisis hasil degradasi sampel dengan FTIR.....	15
3.3.9 Karakterisasi Katalis Menggunakan FTIR dan XRD.....	15
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	16
4.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Pestisida Cherizeb Dan Emacel.....	16
4.2 Kurva Kalibrasi Larutan Standar Pestisida Cherizeb dan Emacel.....	16
4.3 Penentuan Kadar Residu Pestisida Pestisida Cherizeb dan Emacel.....	17
4.4 Penentuan Kondisi Optimum.....	18
4.4.1 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Degradasi Tanpa Katalis.....	18
4.4.2 Pengaruh Jumlah ZnO/Zeolit terhadap Degradasi.....	19
4.4.3 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Persen Degradasi dengan massa optimum.....	20
4.4.4 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Persen Degradasi Pestisida Menggunakan ZnO.....	20
4.4.5 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Persen Degradasi Pestisida Menggunakan Zeolit.....	21
4.4.6 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Persen Degradasi pestisida Menggunakan ZnO/Zeolit tanpa dan dengan UV.....	23
4.4.7 Gabungan Pengaruh Waktu Terhadap Degradasi Cherizeb dan Emacel dengan	

Berbagai Perlakuan	24
4.5 Analisis pestisida Cherizeb dan Emacel menggunakan FTIR	25
4.6 Karakterisasi Katalis ZnO/Zeolit Sebelum dan Setelah fotolisis menggunakan FTIR	25
4.7 Karakterisasi Katalis ZnO/Zeolit Sebelum dan Setelah Degradasi dengan UV Menggunakan XRD.....	27
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	28
5.1 Kesimpulan	28
5.2 Saran.....	28
DAFTAR PUSTAKA.....	28
LAMPIRAN.....	31



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Cabai Merah	4
Gambar 2.2 Struktur Mancozeb	5
Gambar 2.3 Struktur Emamectin Benzoat.....	6
Gambar 2.4 Mekanisme Reaksi Fotolisis.....	7
Gambar 2.5 Difraksi Sinar-X.....	8
Gambar 4.1 (a) Panjang gelombang maksimum Cherizeb, (b) Panjang gelombang maksimum Emacel.....	16
Gambar 4.2 (a) kurva kalibrasi larutan standar Cherizeb, (b) kurva kalibrasi larutan standar Emacel.....	17
Gambar 4.3 Penentuan waktu optimum degradasi pestisida Cherizeb dan Emacel tanpa katalis dengan penyinaran UV	18
Gambar 4.4 Penentuan massa optimum katalis ZnO/Zeolit untuk degradasi pestisida Cherizeb selama 60 menit dan Emacel selama 75 menit dengan penyinaran UV	19
Gambar 4.5 Persentase degradasi pestisida Cherizeb dan Emacel terhadap peningkatan waktu fotolisis pada massa ZnO/zeolit 0,8 gram	20
Gambar 4.6 Persen degradasi pestisida Cherizeb dan Emacel terhadap peningkatan waktu fotolisis dengan penambahan Zeolit.....	21
Gambar 4.7 Persen degradasi pestisida Cherizeb dan Emacel terhadap peningkatan waktu fotolisis dengan penambahan ZnO	22
Gambar 4.8 (a) Perbandingan persen degradasi pestisida Cherizeb menggunakan katalis ZnO/zeolit pada kondisi dengan dan tanpa penyinaran UV, (b) Perbandingan persen degradasi pestisida Emacel menggunakan katalis ZnO/zeolit pada kondisi dengan dan tanpa penyinaran UV.....	23
Gambar 4.9 (a) Perbandingan persen degradasi pestisida Cherizeb pada berbagai perlakuan katalis dengan penyinaran UV (b) Perbandingan persen degradasi pestisida Emacel pada berbagai perlakuan katalis dengan penyinaran UV	24
Gambar 4.10 (a) Spektrum FTIR pestisida Cherizeb sebelum dan setelah degradasi, (b) Spektrum FTIR pestisida Emacel sebelum dan setelah degradasi.....	25
Gambar 4.11 Spektrum FTIR katalis ZnO/zeolit sebelum dan setelah degradasi	26
Gambar 4.12 Pola XRD katalis ZnO/zeolit sebelum dan setelah degradasi	27



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil penentuan kadar residu pestisida Cherizeb dan Emacel	17
---	----



DAFTAR LAMPIRAN

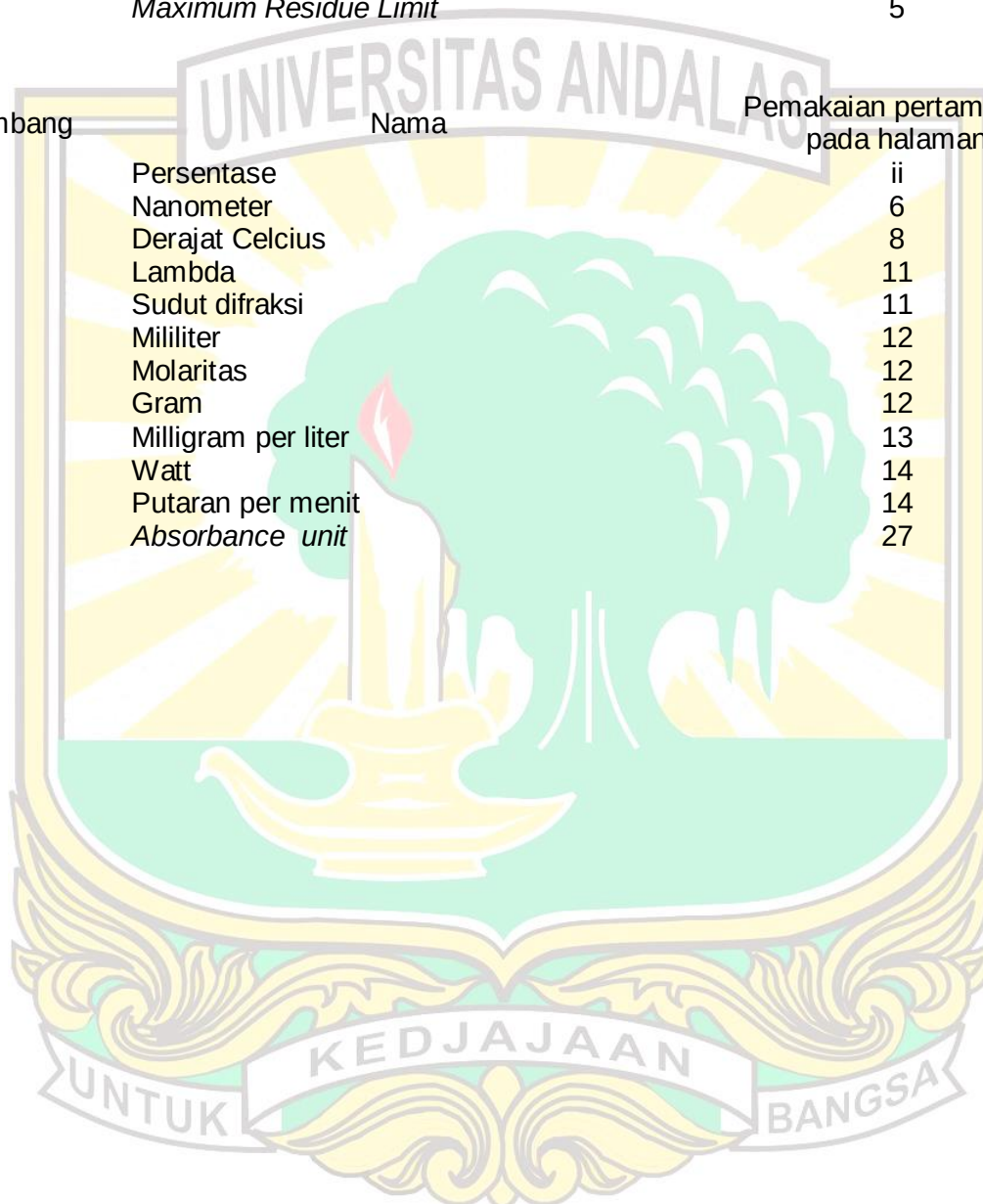
Lampiran 1. Pengambilan Sampel	31
Lampiran 2. Skema Kerja	32
Lampiran 3. Batas maksimum bahan aktif pestisida Berdasarkan Permentan Nomor 53 Tahun 2018	42
Lampiran 4. Perhitungan	43
Lampiran 5. Data Hasil Pengukuran.....	48



DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
XRD	X-Ray Diffraction	vi
UV-Vis	Ultraviolet-Visible	vi
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy	vi
AOP	Advanced Oxidation Process	2
ICSD	Inorganic Crystal Structure Database	2
ppm	Part per million	5
MRL	<i>Maximum Residue Limit</i>	5

Lambang	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
%	Persentase	ii
nm	Nanometer	6
°C	Derajat Celcius	8
λ	Lambda	11
2θ	Sudut difraksi	11
mL	Milliliter	12
M	Molaritas	12
g	Gram	12
mg/L	Milligram per liter	13
W	Watt	14
rpm	Putaran per menit	14
a.u	<i>Absorbance unit</i>	27



BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jumlah penduduk yang semakin bertambah menuntut akan tersedianya bahan pangan yang lebih banyak dapat memenuhi kebutuhan penduduk untuk kelangsungan hidupnya. Sayuran dan buah-buahan merupakan salah satu bahan pangan yang banyak diminati oleh masyarakat karena memiliki kandungan gizi yang bermanfaat bagi kesehatan. Salah satu komoditas sayuran yang sangat dibutuhkan oleh hampir semua orang adalah cabai, sehingga tidak mengherankan bila peredaran cabai di pasaran dibutuhkan dalam skala besar¹. Untuk pembudidayaan cabai, dibutuhkan pestisida untuk menyerang hama dan serangga sehingga dihasilkan cabai yang berkualitas dan memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Namun, penggunaan pestisida yang berlebihan dapat menimbulkan resiko bagi manusia, biota, lingkungan, dan tanah. Penggunaan pestisida secara berlebihan dengan cara mencampurkan 2 atau lebih pestisida merupakan tindakan yang tidak mematuhi aturan.

Cabai (*Capsicum annuum* L) merupakan salah satu jenis tanaman yang banyak dibudidayakan. Cabai memiliki kandungan gizi yang cukup lengkap dan juga memiliki nilai ekonomis tinggi yang banyak digunakan baik untuk konsumsi rumah tangga maupun untuk keperluan industri makanan². Hal ini menyebabkan banyak petani berusaha untuk meningkatkan hasil panen cabai mereka agar dapat bersaing di pasar nasional dan internasional. Akan tetapi hal ini membuat petani cabai sering kali menggunakan insektisida dalam jumlah berlebihan untuk melindungi cabai mereka dari serangan hama dan penyakit. Untuk meningkatkan produksi cabai, para petani seringkali menggunakan pestisida sintetik secara intensif dengan dosis yang tinggi, dan juga petani mencampurkan beberapa jenis pestisida lalu menyemprotkannya secara teratur selama satu musim tanam. Akibat dari pemakaian pestisida yang berlebih menyebabkan munculnya residu pestisida yang dapat ditemukan pada semua bagian tanaman, seperti pada batang, daun, buah, dan akar, yang sulit dihilangkan meskipun tanaman tersebut sudah dicuci dengan baik³. Penggunaan pestisida yang tidak sesuai dengan syarat yang berlaku dapat merugikan kesehatan masyarakat akibat dari paparan pestisida tersebut.

Pestisida merupakan salah satu bahan kimia dan material lain (mikroorganisme, virus, dll.) yang tujuan penggunaannya untuk mengontrol atau membunuh hama dan penyakit yang menyerang tanaman, bagian tanaman, dan produk pertanian, membasmi rumput/gulma, mengatur, dan menstimulasi pertumbuhan tanaman atau bagian tanaman, namun bukan sebagai penyubur. Terdapat 3 kelompok utama pestisida konvensional antara lain (1) *chlorinated hydrocarbon* (organoklorin), umumnya terurai sangat lambat dan memerlukan waktu yang relatif lama (dieldrin, chlordan, aldrin, DDT, dan heptaklor), (2) *organophosphate* (organofosfat), sangat toksik pada manusia, tetapi umumnya tidak lama terurai (diazinon, malation, dimetoat dan klorpirifos), dan (3) *carbamate*, sedikit toksik pada manusia, namun berpotensi mempengaruhi kekebalan dan sistem saraf pusat (karbaril, karbofuran, dan

metomil). Paparan residu pestisida dalam tubuh manusia secara singkat dapat menyebabkan beberapa dampak yang berpotensi merugikan Kesehatan seperti Iritasi atau Alergi, Gangguan Sistem Saraf, Gangguan Saluran Pencernaan, Gangguan Hormonal⁴. Jenis pestisida yang sering digunakan dalam sayuran maupun buah-buahan adalah pestisida organofosfat seperti diazinon, dimetoat dan klorpirifos⁵. Salah satu cara untuk mencegah terjadinya paparan dari pestisida yaitu dengan cara mengurangi kadar pestisida yang terdapat pada tanaman, buah-buahan, dan sayuran tersebut.

Untuk mengurangi kadar pestisida dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti adsorpsi dan metode *Advanced Oxidation Processes* (AOP). Beberapa Metoda AOP yang sering digunakan yaitu fotolisis, sonolisis, ozonolisis. Di antara beberapa metode tersebut, Metode fotolisis merupakan salah satu metode yang memanfaatkan radiasi cahaya, khususnya sinar UV, untuk menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) yang sangat reaktif dalam mendegradasi senyawa organik termasuk pestisida menjadi senyawa tidak berbahaya seperti karbon dioksida dan air. Pada metode fotolisis dapat digunakan beberapa katalis seperti TiO_2 , ZnO dan CuO ⁶. Katalis merupakan zat yang ditambahkan dalam sistem reaksi untuk mempercepat reaksi. ZnO adalah salah satu katalis dari suatu oksida logam yang bersifat semikonduktor, inert, dan stabil. Kinerja dari katalis dalam proses mendegradasi dapat disupport dengan zeolit alam.

Zeolit merupakan kristal alumina silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah berbentuk kerangka tiga dimensi, bersifat asam dan mempunyai pori yang berukuran molekul. Zeolit terdiri dari tiga komponen yaitu kation yang dapat dipertukarkan, kerangka alumina silikat dan kandungan air⁷. zeolit dapat dimanfaatkan sebagai katalis, absorben, dan mineral penukar ion dalam industri, pertanian, peternakan, dan lingkungan hidup⁸. Pada penelitian ini katalis ZnO disupport dengan zeolit alam untuk memperluas permukaan dan memperbanyak pori dari ZnO . Dimana Zeolit alam digunakan sebagai pendukung fotokatalis karena stabilitas kimianya yang tinggi, permukaan berpori, serta volume partikel yang besar. Kemudian keberadaannya di alam juga berlimpah⁹.

Penelitian ini dilakukan degradasi residu pestisida Cherizeb dan Emacel pada air cucian cabai dengan menggunakan katalis ZnO /Zeolit melalui proses fotolisis. Analisis hasil degradasi dilakukan dengan spektrofotometer UV-Vis dan FTIR, sedangkan karakterisasi katalis dilakukan menggunakan XRD.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa kadar pestisida yang terdapat pada air cucian cabai?
2. Bagaimana pengaruh sinar uv terhadap degradasi sisa pestisida pada air cucian cabai?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan katalis ZnO /Zeolit terhadap degradasi sisa pestisida pada air cucian cabai?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan berapakah kadar pestisida yang terdapat pada air cucian cabai
2. Menentukan pengaruh sinar uv terhadap degradasi sisa pestisida pada air cucian cabai.
3. Menentukan pengaruh penggunaan katalis ZnO /Zeolit pada degradasi sisa pestisida pada air cucian cabai

1.4 Manfaat Penelitian

Dapat menentukan kadar pestisida yang terdapat pada air cucian cabai dan dapat menentukan kemampuan ZnO /Zeolit dengan metode fotolisis untuk mendegradasi sisa pestisida agar dapat mengurangi pencemaran lingkungan akibat residu pestisida untuk meningkatkan nilai mutu dan kualitas cabai di provinsi Sumatera Barat.



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Cabai

Cabai (*Capsicum annum* L.) merupakan salah satu jenis buah yang sering di manfaatkan sebagai sayur karena mempunyai nilai ekonomi yang tinggi. Cabai (*Capsicum annum* L.) dikonsumsi dalam bentuk segar maupun olahan. Pada awalnya, cabai dikonsumsi untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga yaitu sebagai bahan pelengkap makanan atau sering dikenal dengan rempah atau bumbu dapur. Seiring dengan kebutuhan manusia dan teknologi yang berkembang saat ini, cabai juga digunakan sebagai bahan baku industri untuk obat-obatan, kosmetik, zat warna, dan penggunaan lainnya¹⁰.

Cabai merupakan salah satu komoditas yang berkontribusi besar pada inflasi di Indonesia di setiap periode, hal ini disebabkan karena tingkat konsumsi masyarakat terhadap komoditas tersebut relatif tinggi. Disamping itu dalam produksi cabai sering mengalami Serangan hama dan penyakit yang merupakan salah satu penyebab utama kegagalan panen yang dapat mencapai kerugian sebesar 40-50 %. Di Indonesia sendiri tingkat kerusakan tanaman cabai yang disebabkan oleh hama dan penyakit dapat mencapai 35 %. Penyakit yang ditemukan pada cabai adalah bercak daun, busuk buah, virus kuning dan virus keriting daun. Kebanyakan petani mengambil jalan singkat, untuk menangani masalah tersebut dengan menggunakan pestisida tanpa mempertimbangkan bahaya yang akan ditimbulkan. Penggunaan pestisida kimia oleh petani di Indonesia mencapai 95,29%¹¹.



Gambar 2.1 Cabai Merah

2.2 Pestisida

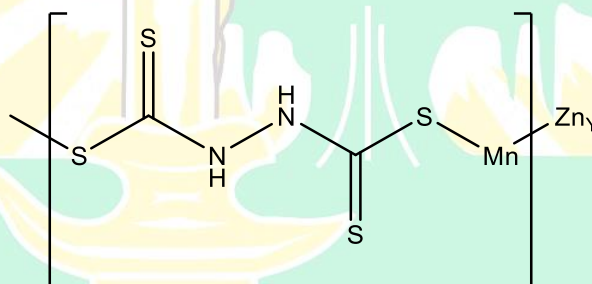
2.2.1 Definisi dan klasifikasi pestisida

Pestisida merupakan bahan yang digunakan secara luas pada berbagai sektor, terutama di sektor pertanian/perkebunan, kehutanan, perikanan, dan pertanian pangan. Penggunaan pestisida pada sektor pertanian bertujuan untuk menghilangkan tanaman pengganggu, jamur, serangga, binatang pengerat, dan organisme lainnya sehingga berdampak pada naiknya produksi pertanian¹². Jenis pestisida yang umum digunakan di Indonesia adalah golongan organoklor, organofosfor, dan karbamat. Pestisida organoklorin memiliki toksisitas dan persistensi tinggi secara kimia, tetapi kurang efektif dan stabilitasnya dalam lingkungan ditandai dengan efek residu yang lama¹³. Pestisida yang banyak dipakai seperti organoklorin, karbamat, organofosfat, triazin, piretroid, kloroseatmid, triazol, triazin, asam fenoksikarboksilat,

dan klorosetamid. Kebanyakan dari pestisida yang dilepaskan ke lingkungan mempunyai cakupan yang luas sebagai zat toksik dan bersifat tidak selektif¹⁴. Senyawa organofosfat bersifat menghambat enzim cholinesterase, yaitu enzim yang berperan dalam penerusan rangsangan syaraf. Peracunan dapat terjadi karena gangguan dalam fungsi susunan syaraf yang akan menyebabkan kematian atau dapat pulih Kembali¹⁵. Profenofos adalah jenis pestisida organofosfat yang banyak digunakan sebagai pengendalian hama di Indonesia. Residu profenofos pada tanah atau produk pertanian juga banyak disampaikan oleh peneliti¹⁶.

2.2.2 Pestisida Cherizeb

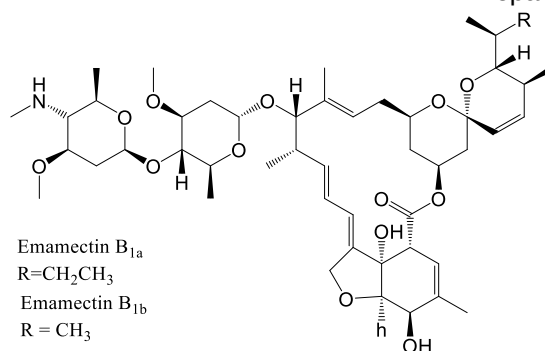
Cherizeb merupakan fungisida yang mengandung bahan aktif Mancozeb sebesar 80%, Mankozeb merupakan fungisida golongan ditiokarbamat yang digunakan secara luas untuk mengendalikan penyakit tanaman akibat cendawan. Fungisida ini termasuk dalam kelompok fungisida protektif yang bekerja di permukaan tanaman dengan mekanisme multi-site action, yaitu menghambat banyak enzim pada sel jamur dengan cara berinteraksi dengan gugus sulfhidril (-SH) protein. Hal ini menyebabkan terganggunya proses metabolisme sel jamur sehingga pertumbuhan hifa dan pembentukan spora terhambat. Secara kimia, mankozeb merupakan kompleks koordinasi antara etilenbisditiokarbamat (EBDC) dengan ion logam mangan (Mn^{2+}) dan seng (Zn^{2+}). Rumus molekul mankozeb sering dituliskan sebagai: $[C_4H_6MnN_2S_4]_x [C_4H_6N_2S_4Zn]_y$.



Gambar 2.2 Struktur Mancozeb

2.2.3 Pestisida Emacel

Emacel adalah insektisida yang menggunakan bahan aktif Emamektin benzoat 30 EC (30 g/L), yaitu turunan semi-sintetik dari insektisida golongan avermektin yang dimodifikasi dengan penambahan gugus benzoat. Insektisida ini termasuk ke dalam golongan insektisida saraf kelas 6, dengan mekanisme kerja mengaktifasi saluran ion klorida yang dikendalikan oleh glutamat. Aktivitas tersebut mengganggu sistem saraf serangga target, sehingga aplikasinya dapat menimbulkan kelumpuhan dan akhirnya menyebabkan kematian hama dalam waktu sekitar 2–4 hari. Berikut merupakan gambar struktur gugus aktif pestisida Emacel dengan rumus kimia $C_{49}H_{75}NO_{13}$.



Gambar 2.3 Struktur Emamectin Benzoat

2.2.4 Dampak residu pestisida

Dampak negatif dari penggunaan pestisida yang terus menerus dan berlebihan akan berpotensi tertinggalnya pestisida di lingkungan dan produk pertanian atau yang lebih dikenal dengan residu pestisida. Residu pestisida ditemukan di areal tanaman pangan dan hortikultura¹⁷. Untuk melindungi dari bahaya keracunan pestisida, WHO/FAO telah menetapkan batas maksimum residu (*MRL/Maximum Residue Limit*), yang boleh dikandung dalam makanan atau komoditas pertanian adalah sebesar 0,5 ppm.

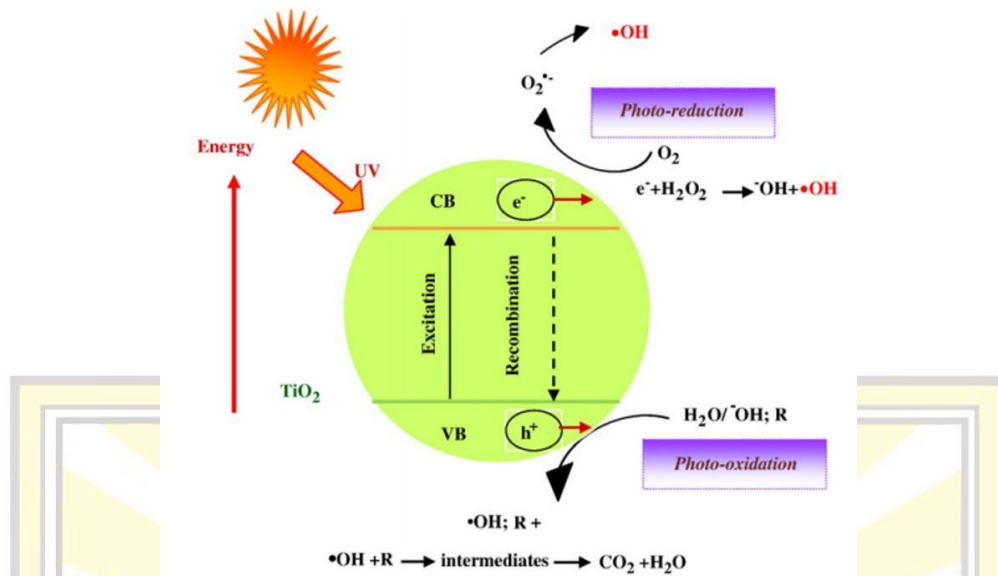
Dampak pada keanekaragaman hayati juga menjadi perhatian serius. Pestisida tidak hanya membunuh hama sasaran, tetapi juga organisme bermanfaat seperti serangga penyerbuk, burung, dan hewan liar lainnya. Hal ini dapat menyebabkan penurunan populasi spesies penting dan mengganggu rantai makanan. Selain itu, penggunaan pestisida secara berlebihan dapat menyebabkan hama menjadi resisten, sehingga memerlukan dosis yang lebih tinggi atau pengembangan pestisida baru yang pada akhirnya meningkatkan tekanan terhadap lingkungan.

Untuk meminimalkan dampak negatif tersebut, diperlukan pendekatan pengelolaan hama terpadu yang mengutamakan penggunaan metode alami dan biologis, serta membatasi penggunaan pestisida kimia hanya ketika benar-benar diperlukan. Edukasi kepada petani mengenai penggunaan pestisida yang bijaksana dan ramah lingkungan juga penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan kesehatan lingkungan secara keseluruhan²⁶.

2.3 Fotolisis

Fotolisis adalah suatu proses degradasi zat yang dibantu oleh adanya cahaya dan material katalis. Ketika material fotolisis disinari cahaya, material tersebut menyerap energi foton dan menyebabkan berbagai reaksi kimia. Kompleks logam dan katalis. Penyerapan sinar matahari (UV) oleh partikel fotokatalis akan membentuk 2 pasang elektron dan *hole*¹⁸. Reaksi fotolisis biasanya digunakan untuk reaksi degradasi polutan dalam media cair maupun gas karena menghasilkan produk berupa ion atau radikal¹⁹. Kelebihan dari metode ini termasuk biaya yang terjangkau serta kemudahan penerapannya di Indonesia. Selain itu, metode ini dianggap lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan endapan berbahaya. Fotolisis juga dapat mempercepat reaksi kimia tanpa mengonsumsi atau mengubah bahan reaktan, serta

meningkatkan energi aktivasi dan laju reaksi²⁰.



Gambar 2.4 Mekanisme Reaksi Fotolisis

2.4 Katalis

Katalis merupakan zat yang ditambahkan dalam sistem reaksi untuk mempercepat reaksi. Katalis dapat menyediakan situs aktif yang berfungsi untuk mempertemukan reaktan dan menyumbangkan energi dalam bentuk panas sehingga molekul pereaktan mampu melewati energi aktivasi secara lebih mudah. Karena fungsinya yang sangat penting, maka penggunaan katalis menjadi kebutuhan yang sangat penting dalam berbagai industri. Kebutuhan akan katalis dalam berbagai proses industri cenderung mengalami peningkatan. Hal ini terjadi karena proses kimia yang menggunakan katalis cenderung lebih ekonomis. Dalam mempercepat laju reaksi, katalis bersifat spesifik. Artinya suatu katalis dapat mempercepat pada reaksi tertentu saja tidak pada semua reaksi kimia. Contohnya, suatu katalis A mampu mempercepat laju reaksi pada reaksi hidrogenasi namun kurang baik jika digunakan pada reaksi oksidasi. Hal tersebut terikat erat dengan sifat fisika dan sifat kimia katalis. Dalam reaksi yang sama terdapat beberapa kemungkinan jenis material yang dapat digunakan dalam proses reaksi tersebut. Misalnya dalam reaksi hidrogenasi dapat digunakan katalis Fe, Co, Ni. Berdasarkan fasenya, Katalis dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu Katalis homogen dan Katalis heterogen. Katalis homogen memiliki fase yang sama dengan bahan pereaksinya, sedangkan Katalis heterogen memiliki fase yang berbeda dengan fase pereaksinya. Katalis heterogen memiliki kelebihan pada proses pemisahan dan recycle yang lebih mudah dan murah daripada Katalis homogen²¹.

2.5 Zeolit

Zeolit adalah mineral dengan struktur kristal alumino silikat yang berbentuk rangka (*framework*) tiga dimensi, mempunyai rongga dan saluran, serta mengandung ion Na, K, Mg, Ca dan Fe serta molekul air. Semenjak tahun 1984 tersebut, zeolit telah diklasifikasi sebagai

suatu jenis mineral tersendiri, yang sebelumnya sering dimasukkan jenis batuan lempung (*clay materials*) atau jenis mineral silikat. Walaupun batuan lempung merupakan mineral alumino silikat tetapi mempunyai struktur lapisan (*layer*) dan sifat pertukaran ionnya terutama disebabkan gugusan hidroksil dimana ion H dapat digantikan dengan ion lain. Zeolit merupakan material yang memiliki banyak kegunaan. Zeolit telah banyak diaplikasikan sebagai adsorben, penukar ion, dan sebagai katalis. Zeolit adalah mineral kristal alumina silika tetrahidrat berpori yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi, terbentuk oleh tetrahedral $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dan $[\text{AlO}_4]^{5-}$ yang saling terhubung oleh atom-atom oksigen sedemikian rupa, sehingga membentuk kerangka tiga dimensi terbuka yang mengandung kanal-kanal dan rongga-rongga, yang didalamnya terisi oleh ion-ion logam, biasanya adalah logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas^{22,23}.

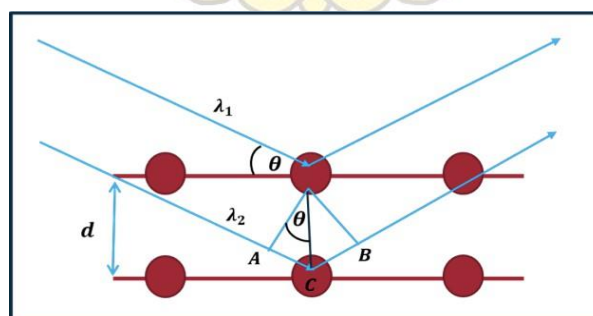
2.6 ZnO

ZnO (Seng Oksida) merupakan material yang unik karena memiliki energi gap sebesar 3,37 eV dan energi ikat eksitasi 60 meV. Salah satu ciri khas dari ZnO adalah senyawa kimianya yang dapat berpadu dengan senyawa lain. ZnO adalah kristal yang banyak dipakai dalam berbagai keperluan, sebagai katalis atau pendukung katalis, atau sebagai semikonduktor. Fotokatalis ZnO merupakan bahan oksidasi yang baik digunakan sebagai fotokatalis karena memiliki aktivitas katalitik yang jauh lebih baik dibandingkan bahan lainnya. Karakteristik kristal ZnO tergantung pada ukuran dan metode preparasinya²⁴.

2.7 X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) umumnya digunakan untuk menentukan jenis padat, fase kristal, dan struktur atom-atom dari suatu material. Teknik XRD bersifat non-destruktif, artinya sampel masih dapat digunakan untuk analisis lain. Penghamburan sinar-X oleh unit-unit kristal akan menghasilkan pola difraksi yang digunakan untuk menentukan susunan partikel pada kisi padatan²⁵.

Difraksi sinar-X terjadi ketika sinar-X monokromatik mengenai sebuah kristal dan menyebabkan atom-atom kristal terhambur ke segala arah. Berkas difraksi didefinisikan sebagai berkas yang tersusun dari berkas-berkas yang dihamburkan yang dapat saling menguatkan satu sama lain²⁶.



Gambar 2 5 Difraksi Sinar-X

XRD menghasilkan data berupa sudut 2θ , intensitas puncak difraksi, serta nilai konstanta kisi. Analisis kualitatif dapat dilakukan untuk mengidentifikasi jenis fasa dan struktur kristal, sementara analisis kuantitatif dapat memberikan informasi tentang komposisi fasa, proporsi relatif antar fasa, dan ukuran butir kristalit.

2.8 Spektrofotometri UV-Vis

Spektroskopi UV-Vis salah satu bentuk spektroskopi absorpsi. Pada metode ini cahaya atau gelombang elektromagnetik, dalam hal ini sinar UV-Vis, berinteraksi dengan zat kemudian diamati oleh absorpsi sinar. Sesuai dengan ukuran aatu besarnya energi yang dimiliki oleh sinar UV-Vis interaksi hanya terjadi dengan kulit luar zat dan dari ini berasal nama “Spektroskopi Elektronik” kedalam cara ini termasuk antara alin Kalometri, Fotometri, Spektrofotometri.

Spektrofotometri UV-Vis adalah anggota teknik analisis spektroskopik yang memakai sumber REM (radiasi elektromagnetik) ultraviolet dekat (190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm) dengan memakai instrumen spektrofotometer. Spektrofotometri UV-Vis melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis, sehingga spektrofotometri UV-Vis lebih banyak dipakai untuk analisa kuantitatif dibandingkan untuk analisa kualitatif.

Spektrofotometri sesuai dengan namanya adalah alat yang terdiri dari spectrometer dan fotometer. Spektrofotometer menghasilkan sinar dari spectrum dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer adalah alat pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau diabsorpsi. Jadi spektrofotometer digunakan untuk mengukur energy relatif jika energy tersebut ditransmisikan, direfleksikan atau diemisikan sebagai fungsi panjang gelombang. Kelebihan spektrofotometer dengan fotometer adalah panjang gelombang dari sinar putih dapat lebih di deteksi dan cara ini diperoleh dengan alat pengurai seperti prisma, grating atau celah optis. Pada fotometer filter dari berbagai warna yang mempunyai spesifikasi melewatkan trayek pada panjang gelombang tertentu²⁷.

2.9 Fourier Transform Infrared (FTIR)

Fourier Transformed Infrared (FTIR) merupakan salah satu alat atau instrumen yang dapat digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi, mengidentifikasi senyawa dan menganalisis campuran dari sampel yang dianalisis tanpa merusak sampel. Daerah inframerah pada spektrum gelombang elektromagnetik dimulai dari panjang gelombang 14000 cm^{-1} hingga 10-1. Berdasarkan panjang gelombang tersebut daerah inframerah dibagi menjadi tiga daerah, yaitu IR dekat (14000-4000 cm^{-1}) yang peka terhadap vibrasi *overtone*, IR sedang (4000-400 cm^{-1}) berkaitan dengan transisi energi vibrasi dari molekul yang memberikan informasi mengenai gugus-gugus fungsi dalam molekul tersebut, dan IR jauh (400-10 cm^{-1}) untuk menganalisis molekul yang mengandung atom-atom berat seperti senyawa anorganik tapi butuh teknik khusus. Biasanya analisis senyawa dilakukan pada daerah IR sedang²⁸.

Prinsip kerja FTIR adalah interaksi antara energi dan materi. *Infrared* yang melewati celah ke sampel, dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah energi yang disampaikan

kepada sampel. Kemudian beberapa *infrared* diserap oleh sampel dan yang lainnya di transmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar *infrared* lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim ke komputer dan direkam dalam bentuk puncak-puncak²⁹.

Spektrum FTIR yang dihasilkan berupa nilai transmitansi atau absorbansi terhadap bilangan gelombang (cm^{-1}). Setiap gugus fungsi memiliki daerah serapan khas, sehingga FTIR banyak digunakan untuk identifikasi senyawa organik maupun anorganik. Misalnya, gugus O–H biasanya muncul pada bilangan gelombang sekitar $3200\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$, gugus C=O pada $1650\text{--}1750\text{ cm}^{-1}$, dan gugus C–H pada $2800\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$. Dengan demikian, analisis FTIR memberikan informasi penting mengenai keberadaan dan perubahan gugus fungsi dalam suatu molekul, yang dapat digunakan untuk mendukung identifikasi senyawa serta mempelajari interaksi kimia yang terjadi.



BAB III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan mulai dari bulan Oktober 2024 hingga April 2025 bertempat di Laboratorium Analisis Terapan, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang. Zeolit alam diambil dari Lubuak Salasiah, Kabupaten Solok. Sampel cabai diambil dari Padang Luar, Kecamatan Banuhampu, Kabupaten Agam, Sumatera Barat. Pengukuran Spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Biokimia Universitas Andalas. karakterisasi FTIR dan XRD dilakukan di Laboratorium Instrumen Kimia, Universitas Negeri Padang.

3.2 Peralatan dan Bahan

3.2.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah peralatan gelas (gelas piala, labu ukur, elenmeyer, corong, *petridish*, batang pengaduk, pipet takar, pipet gondok), neraca analitik (KERN AJ 220-4M), ayakan (*Fritsch, Germany*), *magnetic stirrer*, sentrifus (*Thermo Scientific*), oven, *furnace*, Spektrofotometer UV-Vis (SHIMADZU UV-1280), kotak iradiasi yang dilengkapi lampu UV (Luster BLB 10W-TB), FTIR (*Perkin Elmer Frontier C90704*), XRD (*XPert PRO PAN alitycal*).

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Zeolit alam yang diambil dari Lubuak Salasiah, Kabupaten Solok. Bahan kimia yang digunakan adalah ZnO (Merck), HCl (Merck), NaCl (Merck), AgNO₃ (Merck), Akuades, pestisida Cherizeb dan Emacel serta sampel cabai yang diambil dari Padang Luar, Kabupaten Agam, Sumatera Barat.

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Pembuatan Reagen

3.3.1.1 Pembuatan 500 mL larutan HCl 0,2 M

HCl 37% dipipet sebanyak 8,3 mL lalu dilarutkan dalam gelas piala 500 mL dengan akuades.

3.3.1.2 Pembuatan 500 mL larutan NaCl 0,01 M

NaCl ditimbang sebanyak 0,29 gram lalu dilarutkan dalam gelas piala 500 mL dengan akuades.

3.3.1.3 Pembuatan 50 mL larutan AgNO₃ 0,05 M

AgNO₃ ditimbang sebanyak 0,42 gram lalu dilarutkan dalam gelas piala 50 mL dengan akuades

3.3.1.4 Pembuatan Larutan Pestisida Cherizeb 1000 mg/L

Cherizeb ditimbang sebanyak 0,125 gram lalu dilarutkan dalam labu ukur 100 mL dengan H₂O sehingga diperoleh larutan induk pestisida Cherizeb 1000 mg/L.

3.3.1.5 Pembuatan Larutan Pestisida Cherizeb 100 mg/L

Larutan pestisida Cherizeb 1000 mg/L dipipet sebanyak 10 mL lalu dilarutkan dalam labu ukur 100 mL dengan H₂O.

3.3.1.6 Pembuatan Larutan Pestisida Emacel 1000 mg/L

Emacel dipipet sebanyak 3,33 mL lalu dilarutkan dalam labu ukur 100 mL dengan H₂O sehingga diperoleh larutan induk pestisida Emacel 1000 mg/L.

3.3.1.7 Pembuatan Larutan Pestisida Emacel 100 mg/L

Larutan pestisida Emacel 1000 mg/L dipipet sebanyak 10 mL lalu dilarutkan dalam labu ukur 100 mL dengan H₂O.

3.3.2 Sintesis katalis ZnO/Zeolit

3.3.2.1. Aktivasi Zeolit

Zeolit digerinda halus dan diayak dengan ayakan 320 mesh. Selanjutnya 300 gram zeolit dimasukkan kedalam gelas piala, Zeolit diaktivasi dengan HCl 0,2 M Kemudian diaduk menggunakan *stirrer* selama 45 menit lalu diukur pH. Kemudian dibilas dengan air destilasi hingga pH netral. Setelah pH netral, zeolit disaring dan dimasukkan kedalam oven selama 2 jam dengan suhu 100°C.

3.3.2.2. Penjenuhan Zeolit

Zeolit yang telah diaktivasi dijenuhkan dengan penambahan NaCl 0.01 M lalu diaduk selama 1 jam. Kemudian zeolit dipisahkan dari filtrat dengan proses penyaringan, filtrat dari zeolit diuji dengan AgNO₃ apabila masih terbentuk endapan putih maka zeolit dicuci dengan air destilasi hingga tidak terbentuk lagi endapan putih.

3.3.2.3. Preparasi Katalis ZnO/Zeolit

Sebanyak 75 gram zeolit yang telah dijenuhkan dimasukkan ke dalam 100 mL air destilasi dan diaduk selama 6 jam, kemudian ditambahkan 3 gram ZnO secara perlahan dan bertahap sambil diaduk. Kemudian dipisahkan dengan penyaringan vakum lalu dikeringkan dengan oven pada temperatur 100°C, lalu digerus sampai halus lalu diayak menggunakan pengayak 150 mesh. Setelah itu, hasil ayakan dikalsinasi pada temperatur 400°C selama 10 jam³⁰.

3.3.3 Penentuan Serapan Maksimum Pestisida Cherizeb dan Emacel

Larutan pestisida Cherizeb 100 mg/L diencerkan menjadi 30 mg/L dengan cara memipet masing-masing sebanyak 7,5 mL ke dalam labu ukur 25 mL lalu ditambahkan akuades sampai tanda batas. Kemudian larutan pestisida Emacel 100 mg/L diencerkan menjadi 3 mg/L dengan cara memipet sebanyak 0,75 mL ke dalam labu ukur 25 mL lalu ditambahkan akuades sampai tanda batas. Masing- masing larutan diukur absorbannya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 200-400 nm. Data absorban diambil pada panjang gelombang yang memberikan serapan maksimum.

3.3.4 Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar Pestisida Cherizeb dan Emacel

3.3.4.1 Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar Pestisida Cherizeb

Larutan standar pestisida Cherizeb 100 mg/L dibuat dengan variasi konsentrasi 10; 20; 30; 40; 50 mg/L dengan cara memipet masing-masing sebanyak 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 mL ke dalam labu ukur 25 mL, lalu ditambahkan akuades sampai tanda batas. Masing-masing larutan diukur absorbannya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 204,8 nm.

3.3.4.2 Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar Pestisida Emacel

Larutan standar pestisida Emacel dibuat dengan variasi konsentrasi 1; 2; 3; 4; 5 mg/L dengan cara memipet masing-masing sebanyak 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25 mL ke dalam labu ukur 25 mL, lalu ditambahkan akuades sampai tanda batas. Masing-masing larutan diukur absorbannya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 220,4 nm.

3.3.5 Preparasi Sampel

Sampel diambil dari Kabupaten Agam, bagian tanaman yang diambil yaitu buah tanaman cabai yang berasal dari 6 titik tumbuhan cabai yang berbeda. Setelah itu, sampel yang diambil diaduk dan dihomogenkan, kemudian sampel dibungkus dengan aluminium foil lalu dimasukkan ke dalam container box.

3.3.6 Perlakuan Sampel dan Penentuan Kadar Residu Pestisida Dalam Sampel

Sampel cabai ditimbang 15 gram dimasukkan ke dalam gelas piala, kemudian dilakukan pencucian dengan penambahan 50 mL akuades lalu diaduk selama 1 menit, setelah itu disaring dan air cucian ditandai sebagai air cucian pertama. Sampel cabai tersebut dicuci kembali dengan perlakuan yang sama hingga diperoleh air cucian kedua, dan ketiga, kemudian dilakukan pencampuran dari ketiga air cucian, setelah itu diukur absorbansi dari air cucian campuran menggunakan spektrofotometer uv-vis pada panjang 204,8 nm untuk Cherizeb dan 220,4 nm untuk Emacel, lalu ditentukan konsentrasi residu pestisida yang terdapat pada larutan sampel.

3.3.7 Penentuan Kondisi Optimum Degradasi

3.3.7.1 Pengaruh Waktu Fotolisis terhadap Persen Degradasi Pestisida Tanpa Katalis

Sebanyak 100 mL air cucian cabai dimasukkan masing-masing sebanyak 20 mL kedalam 5 petridish. Larutan difotolisis menggunakan sinar UV 10 watt ($\lambda=365$ nm) pada variasi waktu 15, 30, 45, 60, 75, 90 menit. Kemudian diukur absorbannya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 204,8 untuk Cherizeb nm dan 220,4 nm untuk Emacel, lalu dihitung persen degradasinya³¹.

3.3.7.2 Pengaruh Penambahan Jumlah ZnO/Zeolit terhadap Persen Degradasi Pestisida

Sebanyak 20 mL larutan sampel dimasukkan masing-masingnya kedalam 5 petridish. Setelah itu, ke masing-masing petridish ditambahkan ZnO/zeolit dengan variasi massa yaitu 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 gram. Setelah itu disiapkan juga blanko dengan cara dipipet sebanyak 20 mL

akuades lalu dimasukkan ke dalam 5 petridish, Kemudian pada masing-masing petridish ditambahkan ZnO/zeolit dengan variasi massa yaitu 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 gram. Diaduk masing-masing larutan menggunakan stirrer selama 1 menit. Lalu larutan blanko dan sampel difotolisis menggunakan sinar UV 10 watt ($\lambda = 365$ nm) selama 60 menit untuk Cherizeb dan 75 menit untuk Emacel. Kemudian disentrifus selama 30 menit dengan kecepatan 3000 rpm dan diambil filtratnya. Absorban masing-masing larutan sampel dan blanko diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 204,8 untuk Cherizeb dan 220,4 untuk Emacel dan dihitung persen degradasinya.

3.3.7.3 Pengaruh Waktu Fotolisis terhadap Persen Degradasi Pestisida dengan Massa Optimum

sebanyak 20 mL larutan sampel dimasukkan masing-masingnya kedalam 5 petridish kemudian ditambahkan ZnO/Zeolit sebanyak 0,8 gram. Setelah itu disiapkan blanko dengan cara dipipet sebanyak 20 mL akuades lalu dimasukkan ke dalam 5 petridish, Kemudian pada masing-masing petridish ditambahkan ZnO/zeolit sebanyak 0,8 gram. Masing-masing larutan diaduk menggunakan stirrer selama 1 menit. Lalu larutan blanko dan sampel difotolisis menggunakan sinar uv 10 watt ($\lambda = 365$ nm) dengan variasi waktu 15, 30, 45, 60, 75, 90 menit. kemudian disentrifus selama 30 menit dengan kecepatan 3000 rpm dan diambil filtratnya. absorban masing-masing larutan diukur menggunakan spektrofotometer Uv-Vis pada panjang gelombang 204,8 nm untuk Cherizeb dan 220,4 nm untuk Emacel. Lalu dihitung persen degradasinya.

3.3.7.4 Pengaruh Waktu Fotolisis terhadap Persen Degradasi Pestisida menggunakan Zeolit

Sebanyak 20 mL larutan sampel dimasukkan masing-masing kedalam 5 petridish lalu ditambahkan zeolit sebanyak 25/26 dari 0,8 gram. Setelah itu disiapkan juga blanko dengan cara dipipet sebanyak 20 mL akuades lalu dimasukkan ke dalam 5 petridish lalu ditambahkan zeolit sebanyak 25/26 dari 0,8 gram. Kemudian larutan tersebut difotolisis menggunakan sinar UV 10 watt ($\lambda = 365$ nm) pada variasi waktu 15, 30, 45, 60, 75, 90 menit. Masing-masing larutan diaduk menggunakan stirrer selama 1 menit. Setelah itu disentrifus selama 30 menit dengan kecepatan 3000 rpm dan diambil filtratnya. Kemudian diukur absorbannya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 204,8 nm untuk Cherizeb dan 220,4 nm untuk Emacel. Lalu dihitung persen degradasinya.

3.3.7.5 Pengaruh Waktu Fotolisis terhadap Persen Degradasi Pestisida menggunakan ZnO

Sebanyak 20 mL larutan sampel dimasukkan masing-masing kedalam 5 petridish lalu ditambahkan ZnO sebanyak 1/26 dari 0,8 gram. Setelah itu disiapkan juga blanko dengan cara dipipet sebanyak 20 mL akuades lalu dimasukkan ke dalam 5 petridish lalu ditambahkan ZnO sebanyak 1/26 dari 0,8 gram. Kemudian larutan tersebut difotolisis menggunakan sinar UV 10

watt ($\lambda=365$ nm) pada variasi waktu 15, 30, 45, 60, 75, 90 menit. Masing-masing larutan diaduk menggunakan stirrer selama 1 menit. Setelah itu disentrifus selama 30 menit dengan kecepatan 3000 rpm dan diambil filtratnya. Kemudian diukur absorbannya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 204,8 nm untuk Cherizeb dan 220,4 nm untuk Emacel. Kemudian dihitung persen degradasinya.

3.3.7.6 Pengaruh Waktu Fotolisis terhadap Persen Degradasi Pestisida Menggunakan ZnO/Zeolit dengan dan tanpa Disinari UV

Sebanyak 20 mL larutan sampel dimasukkan masing-masing kedalam 10 petridish lalu ditambahkan ZnO/zeolit sebanyak 0,8 gram. Kemudian 5 petridish diletakkan didalam kotak UV dengan menggunakan sinar UV 10 watt ($\lambda=365$ nm. Kemudian 5 petridish lainnya diletakkan di dalam kotak UV tanpa menggunakan sinar UV. Setelah itu dilakukan hal yang sama untuk larutan blanko dengan cara dipipet akuades sebanyak 20 mL lalu dimasukkan masing-masing kedalam 5 petridish setelah itu ditambahkan ZnO/zeolit sebanyak 0,8 gram. Kemudian 5 petridish diletakkan didalam kotak UV dengan menggunakan sinar UV 10 watt ($\lambda=365$) nm. Kemudian 5 petridish lainnya diletakkan di dalam kotak UV tanpa menggunakan sinar UV. Kemudian masing masing larutan tadi stirrer selama 1 menit. Setelah itu dilakukan fotolisis dengan dan tanpa disinari UV dengan variasi waktu 5, 15, 30, 45, 60, 75 dan 90 menit. Kemudian masing-masing larutan disentrifus selama 30 menit dengan kecepatan 3000 rpm dan diambil filtratnya. Absorban masing-masing larutan diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 204,8 nm untuk Cherizeb dan 220,4 nm untuk Emacel dan dihitung persen degradasinya.

3.3.8 Analisis hasil degradasi sampel dengan FTIR

Sampel air cucian cabai disiapkan sebelum dan setelah dilakukan degradasi. Kemudian larutan sampel dianalisis menggunakan FTIR untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi dari larutan sampel.

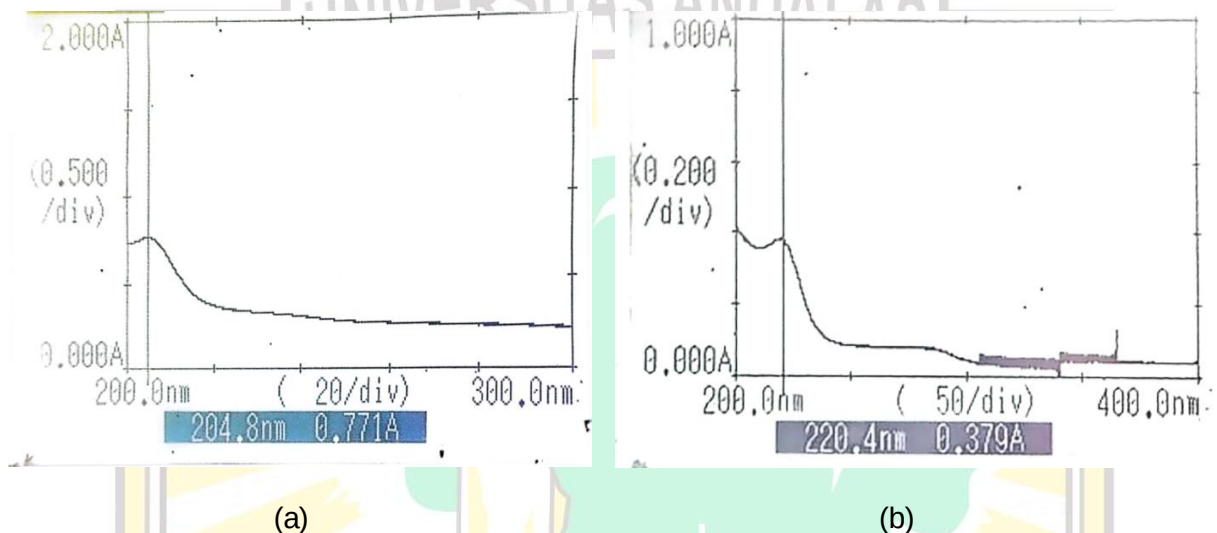
3.3.9 Karakterisasi Katalis Menggunakan FTIR dan XRD

Disiapkan ZnO/zeolit sebelum dan sesudah degradasi dalam keadaan kering. Selanjutnya dikarakterisasi dengan menggunakan peralatan FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsinya. Karakterisasi dengan menggunakan XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristalnya.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Pestisida Cherizeb Dan Emacel

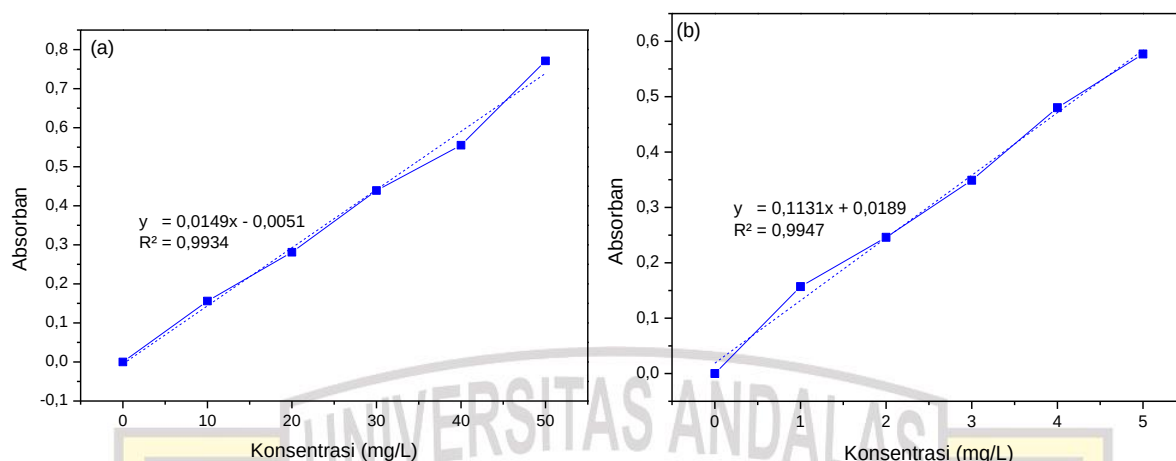
Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang 200-400 nm³². Daerah panjang gelombang tersebut didasarkan pada sifat larutan yang tidak berwarna, sehingga termasuk ke dalam wilayah serapan sinar ultraviolet (UV). Konsentrasi larutan yang digunakan dalam pengukuran adalah 30 mg/L untuk Cherizeb dan 3 mg/L untuk Emacel. Hasil spektrum menunjukkan bahwa panjang gelombang maksimum Cherizeb tercatat pada 204,8 nm, sedangkan Emacel pada 220,4 nm.



Gambar 4.1 (a) Panjang gelombang maksimum Cherizeb, (b) Panjang gelombang maksimum Emacel

4.2 Kurva Kalibrasi Larutan Standar Pestisida Cherizeb dan Emacel

Pembuatan kurva kalibrasi larutan standar bertujuan untuk memastikan adanya hubungan linear yang valid antara konsentrasi analit dan respon detektor, sehingga data kuantitatif yang dihasilkan dapat diandalkan, serta untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi dan nilai serapannya³³. Linearitas ditentukan melalui pembuatan kurva kalibrasi yang diperoleh dari pengukuran absorbansi serangkaian larutan standar pestisida menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Validasi linearitas ini merupakan tahap krusial dalam menjamin akurasi dan presisi hasil analisis. Pengukuran serapan pada larutan standar pestisida Cherizeb dan Emacel dilakukan pada panjang gelombang 204,8 nm (Cherizeb) dan 220,4 nm (Emacel) yang merupakan panjang gelombang maksimum (λ maks) dari pestisida dalam pelarut akuades. berdasarkan hasil analisis spektrum UV-Vis pada rentang 200-400 nm. Hasil pengukuran absorbansi terhadap variasi konsentrasi larutan standar menunjukkan adanya hubungan linear antara konsentrasi dan nilai absorbansi. Kurva kalibrasi yang diperoleh ditampilkan pada **Gambar 4.2**. (a) dan (b)



Gambar 4.2 (a) kurva kalibrasi larutan standar Cherizeb, (b) kurva kalibrasi larutan standar Emacel

Grafik menunjukkan regresi absorban larutan standar Cherizeb dengan variasi konsentrasi 10; 20; 30; 40; 50 mg/L dengan persamaan regresi yang dihasilkan $y = 0,0149x - 0,0051$ dengan nilai $R^2 = 0,9934$. Dan larutan standar Emacel dengan variasi konsentrasi 1; 2; 3; 4; 5 mg/L dengan persamaan regresi yaitu $y = 0,1131x + 0,0189$ dengan nilai $R^2 = 0,9947$. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan bahwa kurva tersebut linear. Hal ini sesuai dengan Hukum Lambert Beer, dimana semakin besar konsentrasi larutan maka nilai absorban juga semakin besar³³. Pembuatan kurva kalibrasi ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi residu pestisida pada cabai melalui persamaan regresi yang dihasilkan.

4.3 Penentuan Kadar Residu Pestisida Cherizeb dan Emacel

Penentuan kadar residu pestisida pada air cucian cabai dilakukan melalui proses pencucian bertahap untuk mengetahui jumlah pestisida yang terlepas pada setiap tahap. Konsentrasi larutan dianalisis dengan mengukur nilai absorban sampel menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 204,8 untuk Cherizeb dan 220,4 untuk Emacel. Nilai absorban yang diperoleh kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan regresi dari kurva kalibrasi standar, sehingga konsentrasi pestisida Cherizeb dan Emacel dapat ditentukan secara kuantitatif. Hasil analisis kadar residu Cherizeb dan Emacel dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Hasil penentuan kadar residu pestisida Cherizeb dan Emacel

Parameter	Air Cucian 1 (mg/L)	Air Cucian 2 (mg/L)	Air Cucian 3 (mg/L)	Campuran (mg/L)
Cherizeb	39,81	29,13	28,06	50,80
Emacel	3,78	2,49	1,75	4,81

Berdasarkan **Tabel 4.1** diketahui bahwa kadar residu pestisida Cherizeb jauh lebih tinggi dibandingkan Emacel. Hal ini mengindikasikan bahwa Cherizeb cenderung mudah larut dibandingkan Emacel. Pada pencucian kedua dan ketiga, konsentrasi kedua pestisida mengalami penurunan bertahap, yang menunjukkan bahwa jumlah residu pada cabai semakin

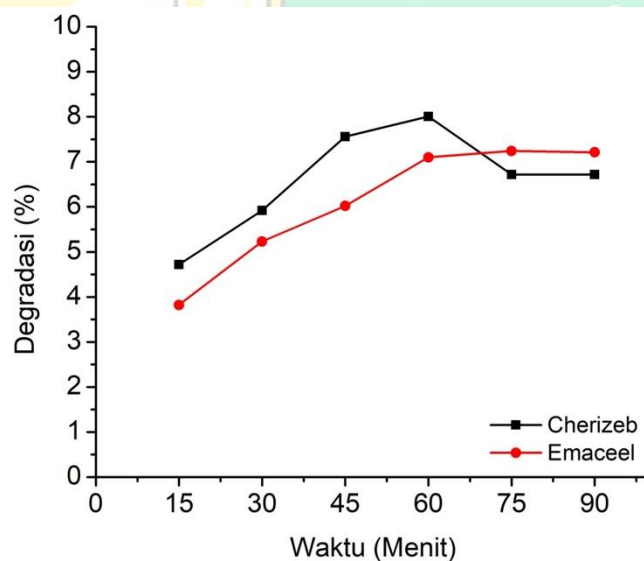
berkurang seiring dengan pencucian berulang. Namun, pada sampel pencucian campuran yaitu gabungan dari air cucian pertama hingga ketiga kadar residu tercatat lebih tinggi dibandingkan pencucian tunggal, yaitu 50,80 mg/L untuk Cherizeb dan 4,81 mg/L untuk Emacel. Hal ini disebabkan oleh akumulasi residu yang terlarut pada setiap tahap pencucian, nilai tersebut menunjukkan total pestisida yang terlepas dari cabai selama keseluruhan proses pencucian. Nilai ini yang kemudian akan digunakan sebagai konsentrasi awal dalam perhitungan efisiensi degradasi pada tahap berikutnya.

4.4 Penentuan Kondisi Optimum

Penentuan kondisi optimum dalam proses degradasi pestisida Emacel dan Cherizeb dilakukan untuk mengetahui parameter paling efektif dalam meningkatkan efisiensi fotodegradasi menggunakan katalis ZnO/zeolit. Parameter yang dikaji meliputi waktu fotolisis, jumlah katalis, serta keberadaan sinar UV dan fotokatalis.

4.4.1 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Degradasi Tanpa Katalis

Penentuan waktu optimum dilakukan untuk mengetahui lama waktu penyinaran UV yang menghasilkan efisiensi degradasi tertinggi terhadap senyawa pestisida Emacel dan Cherizeb tanpa bantuan katalis. Sampel dipaparkan sinar UV pada panjang gelombang 204,8 dan 220,4 nm dengan variasi waktu yaitu 15, 30, 45, 60, dan 75 dan 90 menit. Persentase degradasi yang dihasilkan pada masing-masing interval waktu disajikan dalam **Gambar 4.3**



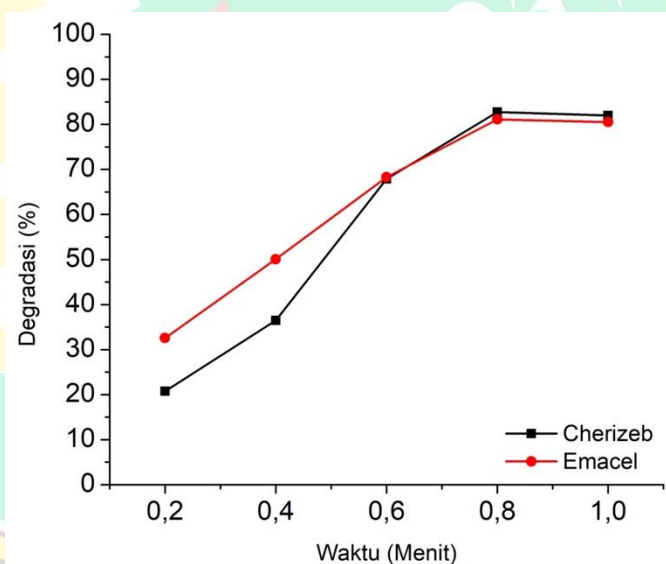
Gambar 4.3 Penentuan waktu optimum degradasi pestisida Cherizeb dan Emacel tanpa katalis dengan penyinaran UV

Berdasarkan **Gambar 4.3** hasil fotolisis tanpa katalis memperlihatkan bahwa persentase degradasi pestisida meningkat seiring dengan bertambahnya waktu penyinaran. Radiasi UV berperan penting dalam menghasilkan radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$) dari molekul H_2O , yang memiliki reaktivitas tinggi dan mampu menyerang ikatan kimia dalam molekul pestisida. Pada tahap awal penyinaran, peningkatan waktu degradasi mendorong terbentuknya lebih banyak radikal hidroksil sehingga proses degradasi berlangsung lebih efektif dan persen degradasi

cenderung naik. Namun, setelah mencapai titik optimum, laju degradasi tidak lagi meningkat secara signifikan bahkan cenderung menurun. Hal ini mengindikasikan bahwa pembentukan radikal $\bullet\text{OH}$ telah mencapai titik jenuh, sehingga jumlah radikal $\bullet\text{OH}$ yang dihasilkan terbatas sementara radikal yang tersedia sebelumnya telah bereaksi dengan senyawa pestisida. Dengan demikian, efektivitas proses fotolisis menurun pada waktu penyinaran tertentu. Berdasarkan hasil penelitian, kondisi optimum degradasi tercatat pada menit ke-60 untuk pestisida Cherizeb dengan nilai 8,01% dan pada menit ke-75 untuk pestisida Emacel dengan nilai 7,69%³⁴. Waktu ini akan dijadikan sebagai acuan dalam proses penentuan jumlah ZnO/zeolit optimum terhadap degradasi pada tahap selanjutnya.

4.4.2 Pengaruh Jumlah ZnO/Zeolit terhadap Degradasi

Pengaruh variasi massa katalis terhadap efisiensi degradasi senyawa pestisida dipelajari dengan memvariasikan massa katalis sebesar 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1,0 gram. Proses degradasi dilakukan dengan UV selama 60 menit untuk pestisida Cherizeb dan 75 menit untuk pestisida Emacel. Hasil degradasi ditampilkan pada **Gambar 4.4**



Gambar 4.4 Penentuan massa optimum katalis ZnO/Zeolit untuk degradasi pestisida Cherizeb selama 60 menit dan Emacel selama 75 menit dengan penyinaran UV

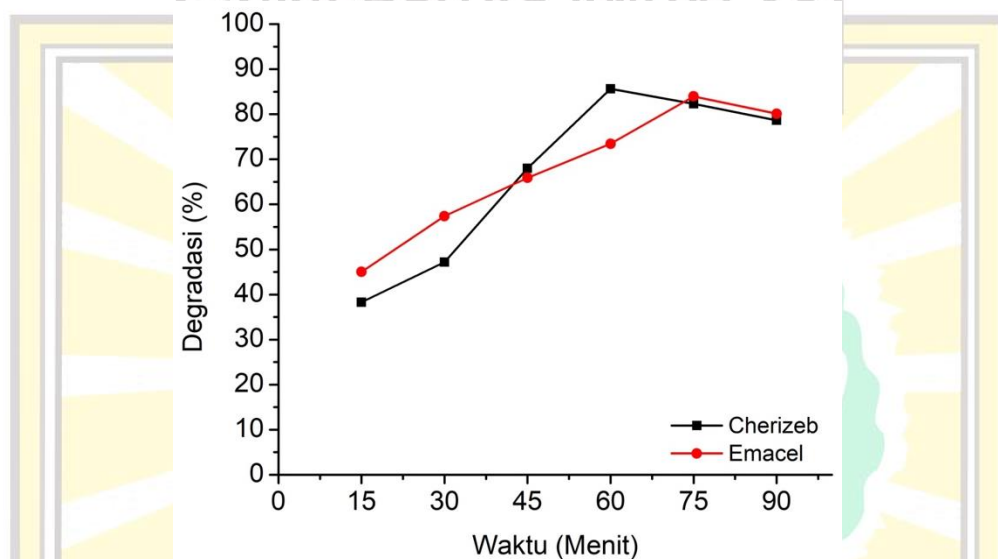
Grafik pada **Gambar 4.4** menunjukkan bahwa peningkatan massa katalis memberikan pengaruh signifikan terhadap efisiensi degradasi pestisida. Penambahan katalis mampu meningkatkan jumlah situs aktif serta luas permukaan yang mampu menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$), sehingga reaksi fotokatalitik berlangsung lebih efektif. Akan tetapi, pada jumlah katalis yang berlebihan, cahaya UV tidak dapat menembus larutan secara merata akibat partikel katalis yang terlalu rapat yang menghalangi penetrasi cahaya UV ke dalam larutan yang dikenal sebagai fenomena *light screening effect*. Kondisi ini menyebabkan sebagian permukaan katalis tidak teraktivasi cahaya sehingga luas permukaan efektif berkurang dan proses degradasi menjadi kurang optimal. Dengan demikian, massa optimum katalis ZnO/zeolit dalam proses degradasi pestisida secara fotolisis dicapai pada 0,8 g dengan

efisiensi degradasi sebesar 82,75% untuk Cherizeb dan 81,12% untuk Emacel³⁵.

4.4.3 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Persen Degradasi dengan massa optimum

Proses degradasi dilakukan dengan penambahan ZnO/zeolit sebanyak 0,8 g dengan bantuan sinar UV pada variasi waktu 15, 30, 45, 60, 75, dan 90 menit. Aktivitas ini diharapkan mampu mempercepat laju degradasi pestisida dan meningkatkan persentase degradasi. Dimana, secara simultan sifat fotokatalitik ZnO *disupport* oleh zeolit memperluas luas permukaan ZnO, sehingga kinerja fotodegradasi menjadi lebih efisien. Hasil degradasi dapat dilihat pada

Gambar 4.5



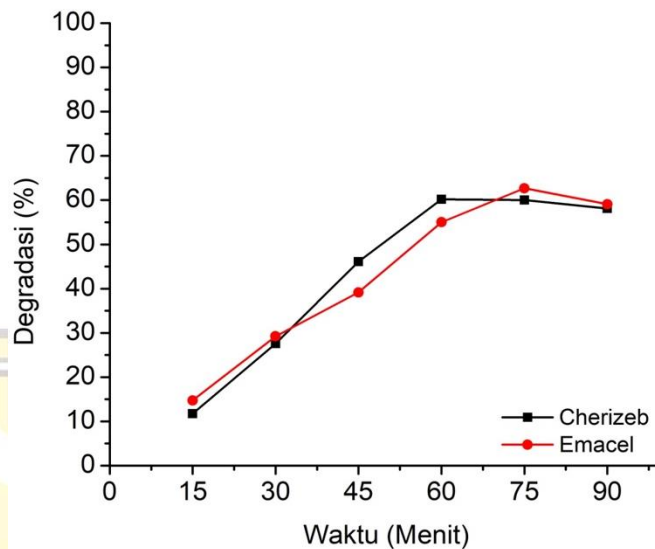
Gambar 4.5 Persentase degradasi pestisida Cherizeb dan Emacel terhadap peningkatan waktu fotolisis pada massa ZnO/zeolit 0,8 gram

Hasil percobaan menunjukkan bahwa peningkatan waktu penyinaran berpengaruh terhadap laju degradasi pestisida. Semakin lama proses fotolisis berlangsung, semakin banyak radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) yang terbentuk akibat aktivasi ZnO oleh sinar UV. Radikal ini bersifat sangat reaktif sehingga mampu memutus ikatan kimia pada molekul pestisida dan mempercepat proses degradasi. Namun, setelah melewati titik optimum, efisiensi degradasi cenderung menurun karena ketersediaan radikal aktif yang terbatas dan mulai mengalami kejenuhan³⁶. Zeolit berperan sebagai *support* yang mampu memperbesar luas permukaan katalis, sehingga meningkatkan efisiensi interaksi antara pestisida dan situs aktif fotokatalis³⁷. Kondisi optimum diperoleh pada menit ke-60 untuk pestisida Cherizeb dengan nilai degradasi 85,66% dan pada menit ke-75 untuk pestisida Emacel dengan nilai degradasi 83,97%.

4.4.4 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Persen Degradasi Pestisida Menggunakan Zeolit

Pengaruh waktu proses fotolisis terhadap penurunan konsentrasi Cherizeb dan Emacel menggunakan zeolit dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan zeolit sebagai katalis tunggal dalam menurunkan konsentrasi pestisida. Penambahan zeolit sebanyak 25/26 dari massa katalis ZnO/zeolit 0,8 g yang diperoleh pada percobaan sebelumnya yaitu 0,7693 gram.

Kemudian disinari dengan lampu UV pada variasi waktu 15, 30, 45, 60, 75, dan 90 menit. Hasil degradasi dapat dilihat pada **Gambar 4.6**

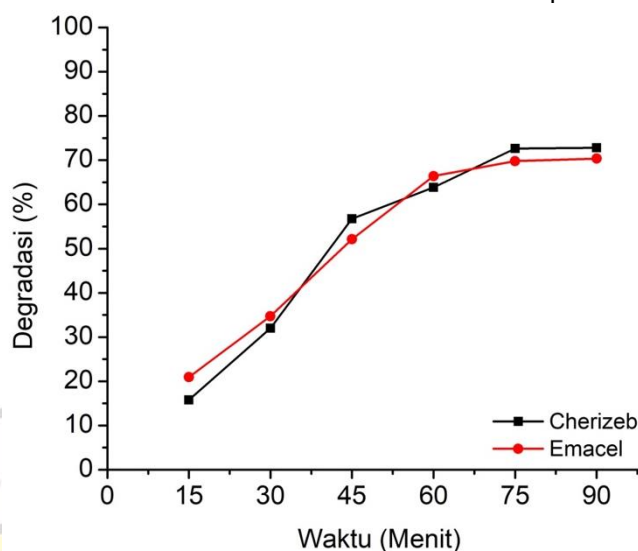


Gambar 4.6 Persen degradasi pestisida Cherizeb dan Emacel terhadap peningkatan waktu fotolisis dengan penambahan Zeolit

Berdasarkan **Gambar 4.6** degradasi pestisida dengan zeolit menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya waktu penyinaran, namun laju peningkatannya terbatas. Mekanisme utama yang berlangsung adalah adsorpsi, yaitu penempelan molekul pestisida pada permukaan dan pori-pori zeolit. Seiring berjalannya waktu, semakin banyak situs aktif zeolit yang terisi oleh molekul pestisida, sehingga persentase degradasi meningkat. Namun setelah sebagian besar situs aktif terisi, kapasitas adsorpsi zeolit mencapai titik jenuh. Pada kondisi ini, penambahan waktu tidak lagi memberikan peningkatan signifikan karena jumlah molekul pestisida yang dapat diikat menjadi terbatas. Oleh karena itu, proses degradasi cenderung stagnan setelah mencapai jenuh. Kondisi optimum adsorpsi dicapai pada menit ke-60 untuk pestisida Cherizeb dengan persentase degradasi 60,18% dan pada menit ke-75 untuk pestisida Emacel dengan persentase degradasi 62,70%³⁸.

4.4.5 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Persen Degradasi Pestisida Menggunakan ZnO

Proses degradasi selanjutnya dilakukan pengujian pengaruh waktu fotolisis terhadap persen degradasi pestisida menggunakan ZnO sebagai fotokatalis. Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengetahui waktu optimum penyinaran UV yang memberikan efisiensi degradasi tertinggi, sehingga dapat mendukung efektivitas aktivasi fotokatalitik melalui pembentukan radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$) yang reaktif. Penambahan ZnO sebanyak 1/26 dari massa katalis ZnO/zeolit sebesar 0,8 g yaitu sebesar 0,0307 gram.

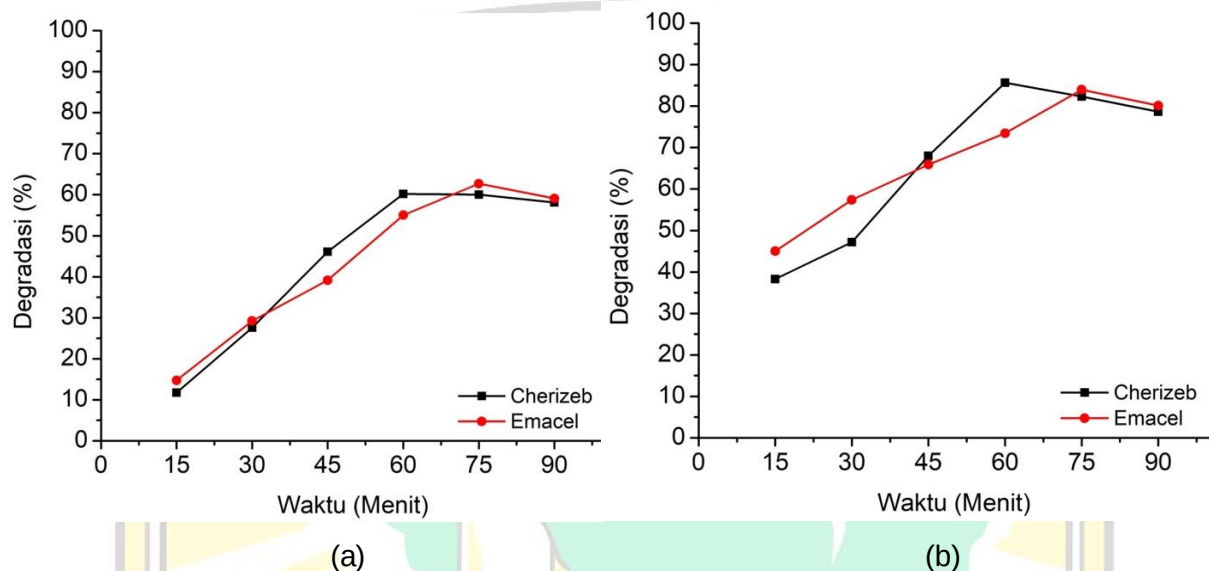


Gambar 4.7 Persen degradasi pestisida Cherizeb dan Emacel terhadap peningkatan waktu fotolisis dengan penambahan ZnO

Gambar 4.7 Hasil percobaan menunjukkan bahwa penggunaan katalis ZnO dengan bantuan sinar UV meningkatkan degradasi pestisida Cherizeb dan Emacel seiring bertambahnya waktu penyinaran. Peningkatan ini terjadi karena paparan sinar UV mengeksitasi elektron pada pita valensi ZnO ke pita konduksi, sehingga terbentuk pasangan elektron-hole (e^-/h^+). Elektron-hole ini kemudian memicu reaksi redoks dengan air dan oksigen terlarut, menghasilkan radikal hidroksil ($\cdot OH$) dan radikal superoksida ($\cdot O_2^-$) yang sangat reaktif. Kedua radikal tersebut berperan sebagai oksidator kuat yang mampu memutus ikatan kimia pestisida. Luas permukaan ZnO yang luas memperbesar peluang kontak antara pestisida dengan radikal oksidatif yang terbentuk. Sehingga proses degradasi berjalan lebih efektif. Namun, setelah waktu tertentu proses degradasi cenderung melambat bahkan menurun, yang menunjukkan degradasi telah mencapai titik jenuh dan kapasitas fotokatalisis mencapai batas maksimalnya. Kondisi optimum degradasi diperoleh pada menit ke-75 dengan persentase 72,63% untuk Cherizeb dan 69,79% untuk Emacel³⁹.

4.4.6 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Persen Degradasi pestisida Menggunakan ZnO/Zeolit tanpa dan dengan UV

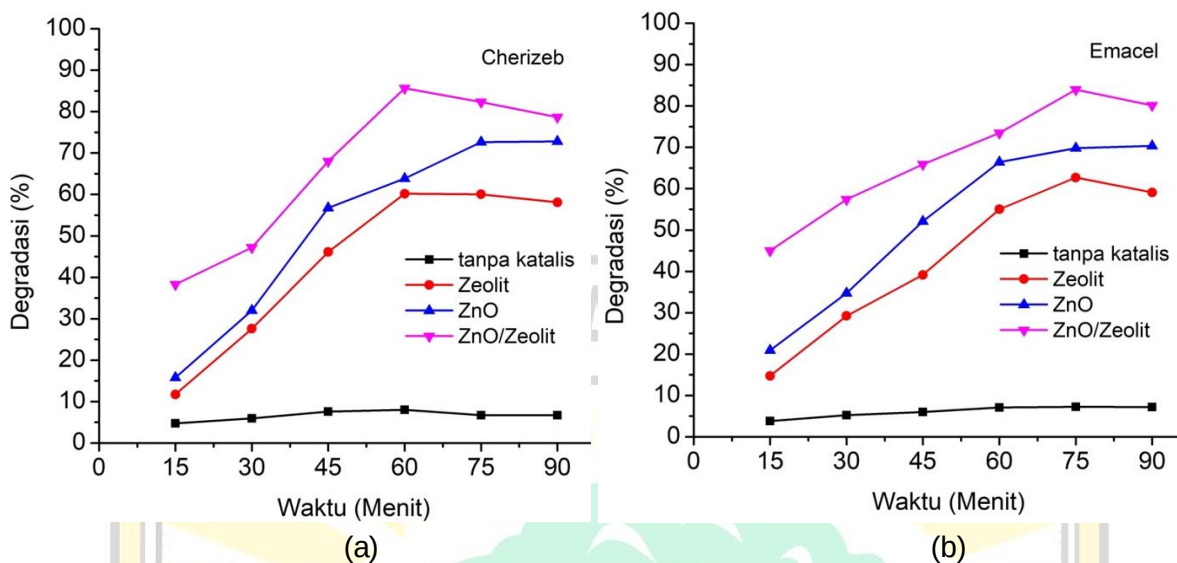
Pengujian ini dilakukan untuk melihat perbedaan efektivitas degradasi dengan sinar UV dan tanpa sinar UV terhadap pestisida Cherizeb dan Emacel. Sebanyak 0,8 g gram katalis ZnO/zeolit ditambahkan ke dalam 20 mL sampel pestisida, dan proses fotolisis dilakukan dalam kondisi gelap dan dengan pencahayaan UV. Hasil degradasi dapat dilihat pada **Gambar 4.8**



Gambar 4.8 (a) persen degradasi pestisida Cherizeb dan Emacel menggunakan katalis ZnO/zeolit pada kondisi tanpa penyinaran UV, **(b)** persen degradasi pestisida Cherizeb dan Emacel menggunakan katalis ZnO/zeolit pada kondisi dengan penyinaran UV

Berdasarkan **Gambar 4.8** degradasi pestisida dengan bantuan sinar UV menunjukkan hasil yang jauh lebih tinggi dibandingkan kondisi tanpa penyinaran. penggunaan sinar UV mengaktifkan ZnO sebagai fotokatalis, sehingga terbentuk radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$) dan radikal reaktif lainnya yang mampu mempercepat pemutusan ikatan kimia pestisida. Sebaliknya, pada kondisi tanpa UV, hanya bergantung pada adsorpsi oleh zeolit dan interaksi permukaan ZnO yang terbatas, sehingga laju degradasi berjalan lebih lambat. Hal ini menegaskan bahwa sinar UV berperan penting dalam mengoptimalkan aktivitas fotokatalitik ZnO dan meningkatkan efisiensi degradasi. Selain itu, dukungan zeolit juga membantu menjaga dispersi partikel ZnO sehingga luas permukaan efektif yang dijangkau oleh sinar UV dan polutan menjadi lebih luas. Kondisi optimum dicapai pada menit ke-60 untuk pestisida Cherizeb dengan persentase degradasi sebesar 85,66% dan pada menit ke-75 untuk pestisida Emacel dengan persentase degradasi sebesar 83,97%. sedangkan pada kondisi tanpa penyinaran hanya mencapai 53,84% untuk Cherizeb dan 54,09% untuk Emacel⁴⁰.

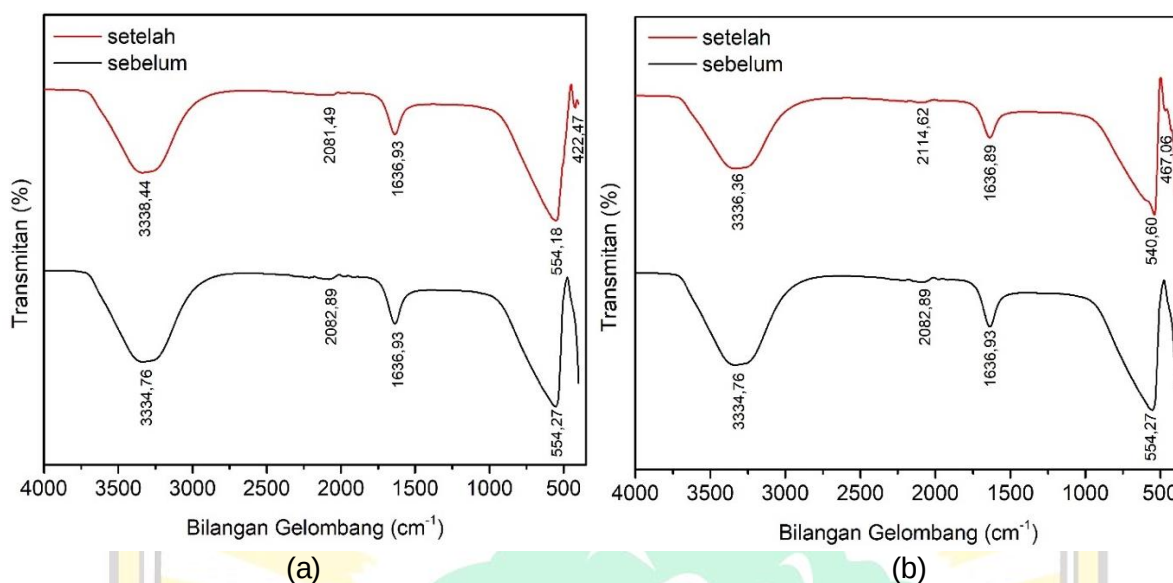
4.4.7 Gabungan Pengaruh Waktu Terhadap Degradasi Cherizeb dan Emacel dengan Berbagai Perlakuan



Gambar 4.9 (a) Perbandingan persen degradasi pestisida Cherizeb pada berbagai perlakuan katalis dengan penyinaran UV (b) Perbandingan persen degradasi pestisida Emacel pada berbagai perlakuan katalis dengan penyinaran UV

Gambar 4.9 memperlihatkan perbandingan pengaruh berbagai perlakuan katalis terhadap degradasi pestisida. Pada kondisi tanpa katalis, degradasi sangat rendah, yaitu hanya 8,01% untuk Cherizeb pada menit ke-60 dan 7,24% untuk Emacel pada menit ke-75, karena proses hanya bergantung pada fotolisis langsung oleh sinar UV. Penggunaan zeolit saja menghasilkan degradasi yang lebih tinggi, yakni 60,18% untuk Cherizeb dan 62,07% untuk Emacel, namun peningkatan ini terbatas karena mekanismenya hanya melalui adsorpsi pada pori-pori zeolit. ZnO murni menunjukkan aktivitas fotokatalitik dengan hasil lebih baik, yaitu 72,63% pada Cherizeb dan 69,79% pada Emacel, karena sinar UV mengaktifkan ZnO sehingga terbentuk radikal reaktif. Akan tetapi, degradasi tertinggi diperoleh pada kombinasi ZnO/zeolit, yang mencapai 85,66% untuk Cherizeb pada menit ke-60 dan 83,97% untuk Emacel pada menit ke-75. Hasil ini menegaskan bahwa sinergi antara aktivitas fotokatalitik ZnO dan dukungan zeolit yang memperluas luas permukaan katalis memberikan kinerja degradasi paling efektif di bawah penyinaran UV.

4.5 Analisis pestisida Cherizeb dan Emacel menggunakan FTIR



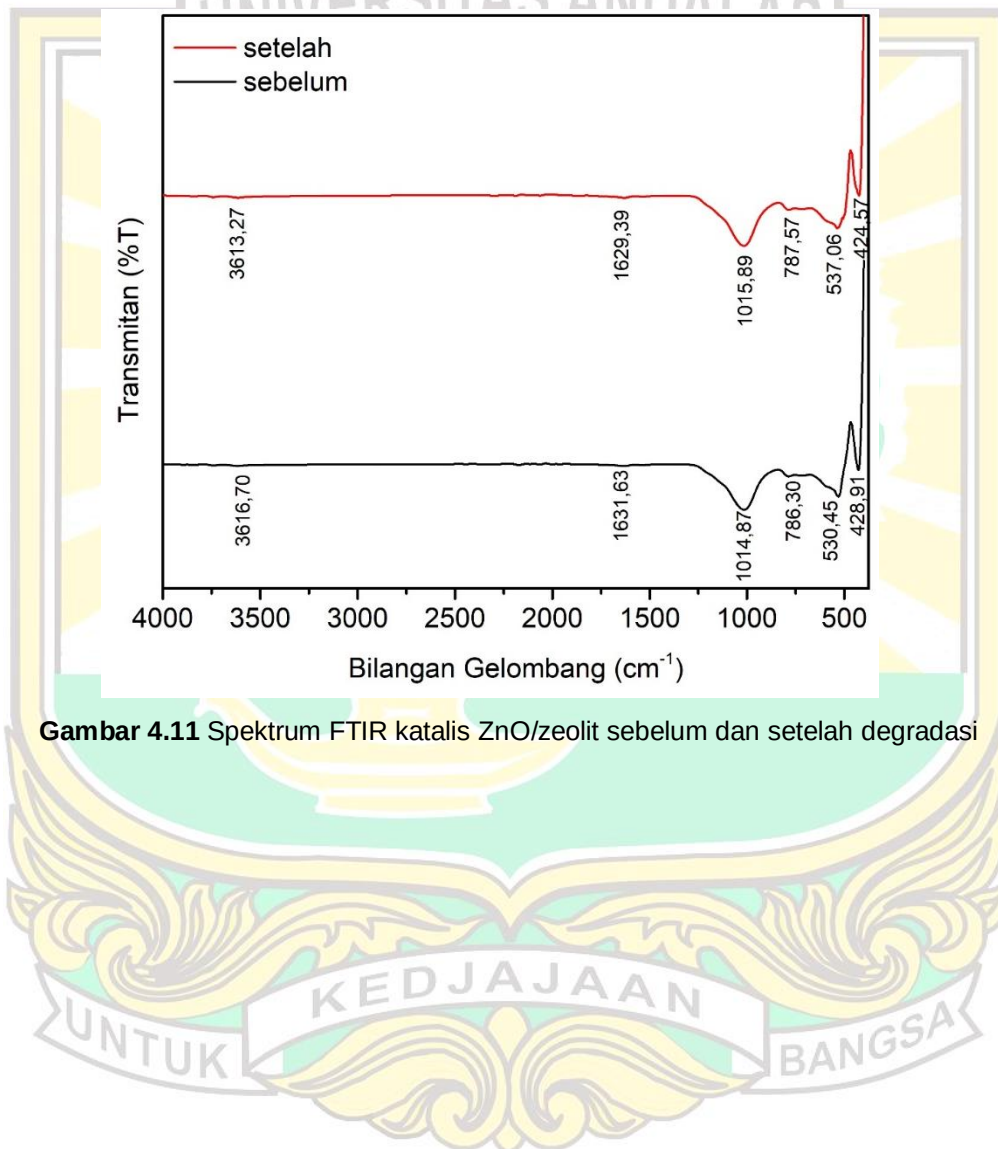
Gambar 4.10 (a) Spektrum FTIR pestisida Cherizeb sebelum dan setelah degradasi, (b) Spektrum FTIR pestisida Emacel sebelum dan setelah degradasi

Gambar 4.10 menunjukkan spektrum FTIR dari sampel yang mengandung pestisida Cherizeb dan Emacel sebelum dan setelah proses degradasi. Perbedaan paling mencolok terlihat pada peningkatan nilai transmitansi setelah degradasi, yang mengindikasikan penurunan jumlah pestisida Cherizeb dan Emacel dalam larutan. Semakin tinggi transmitansi berarti semakin sedikit radiasi IR yang diserap, menandakan bahwa sejumlah besar molekul pestisida telah terdegradasi. Pada analisis sampel menggunakan FTIR juga terlihat perubahan spektrum pada bilangan gelombangnya, seperti pada bilangan gelombang 3200-3500 cm^{-1} spektrum OH makin menyempit, bilangan gelombang 1636 cm^{-1} mengidentifikasi adanya gugus C=O, bilangan gelombang 2082 cm^{-1} puncak samar yang terbentuk, pada bilangan gelombang 554 cm^{-1} mengidentifikasi Vibrasi ikatan Mn-S atau Mn-O, dan terbentuk puncak baru pada bilangan gelombang 400-500 cm^{-1} . Perubahan spektrum FTIR pada analisa sampel pestisida Cherizeb dan Emacel menandakan sampel telah terdegradasi^{41,42}.

4.6 Karakterisasi Katalis ZnO/Zeolit Sebelum dan Setelah fotolisis menggunakan FTIR

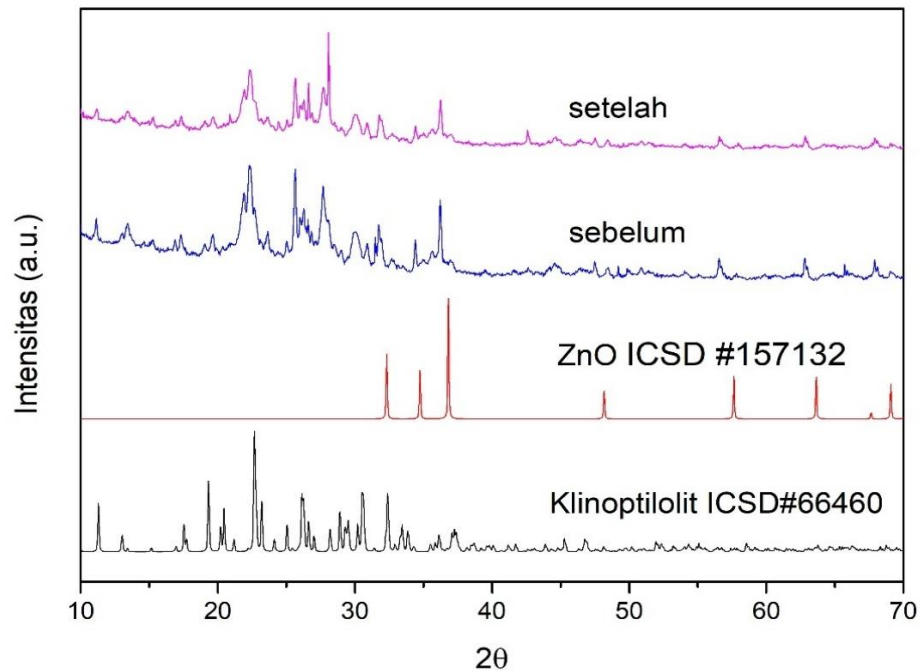
Analisis karakterisasi katalis ZnO/zeolit sebelum dan setelah proses degradasi pestisida dilakukan untuk memantau perubahan struktur dan gugus fungsi selama reaksi. Spektrum FTIR yang ditunjukkan pada **Gambar 4.10** memperlihatkan bahwa tidak terdapat perubahan signifikan pada puncak-puncak karakteristik katalis sebelum dan setelah degradasi. Pita pada bilangan gelombang 1015 cm^{-1} yang berhubungan dengan vibrasi gugus T-O-T dimana T merupakan Si atau Al, puncak sekitar 787 cm^{-1} untuk Ti-O-Si, pita pada 424 cm^{-1} dan 537 cm^{-1} yang merepresentasikan vibrasi regangan pada ZnO di range 400-600 cm^{-1} yang tetap terlihat dengan intensitas yang relatif stabil. Hal ini mengindikasikan kestabilan struktur katalis ZnO/zeolit selama proses degradasi pestisida berlangsung. Stabilitas gugus fungsi dan kerangka katalis sangat penting untuk menjaga efektivitas fotokatalitik dan memungkinkan

penggunaan katalis secara berulang⁴³. Pita serapan 1629.39 cm^{-1} merupakan serapan dari ikatan O-H yang berasal dari molekul H_2O , sedangkan pada bilangan gelombang 3613.27 cm^{-1} nilainya berkisar antara $3500\text{--}3750\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi regangan dari O-H yang berasal dari ikatan Al-O-Si. Selain itu, tidak adanya perubahan spektrum yang berarti juga menunjukkan bahwa produk degradasi pestisida tidak menimbulkan residu yang menempel secara permanen pada permukaan katalis sehingga katalis mempertahankan performa dan kemurniannya. Dengan demikian, ZnO/zeolit memiliki potensi yang kuat sebagai katalis stabil dan efektif dalam aplikasi degradasi pestisida secara fotokatalitik^{21,44}.



Gambar 4.11 Spektrum FTIR katalis ZnO/zeolit sebelum dan setelah degradasi

4.7 Karakterisasi Katalis ZnO/Zeilolit Sebelum dan Setelah Degradasi dengan UV Menggunakan XRD



Gambar 4.12 Pola XRD katalis ZnO/zeolit sebelum dan setelah degradasi

Analisis XRD pada ZnO/zeolit dilakukan untuk menganalisis jenis zeolit, impregnasi ZnO, dan membandingkan puncak difraksi ZnO/zeolit sebelum dan setelah degradasi. **Gambar 4.12** menunjukkan pola difraksi ZnO/zeolit sebelum dan setelah degradasi. Pola difraksi ZnO/zeolit dibandingkan dengan pola difraksi standar zeolit jenis klinoptilolit (ICSD #66460) dan ZnO anatase (ICSD #157132). Pola difraksi XRD menunjukkan adanya kesesuaian antara ZnO/zeolit dengan puncak difraksi klinoptilolit yang menandakan bahwa zeolit yang digunakan pada penelitian ini berjenis klinoptilolit. Lebih lanjut, impregnasi ZnO berhasil dilakukan pada zeolit yang ditandai munculnya puncak difraksi ZnO pada ZnO/zeolit. Pada difraktogram XRD setelah degradasi tetap menunjukkan puncak ZnO dengan jelas, sementara puncak yang berkaitan dengan zeolit tidak mengalami perubahan yang signifikan yang menandakan bahwa struktur zeolit tetap stabil dan berpotensi digunakan secara berulang.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar residu awal pestisida pada air cucian cabai cukup tinggi, yaitu 50,80 mg/L untuk Cherizeb dan 4,81 mg/L untuk Emacel. Proses degradasi dengan penyinaran UV jauh lebih efektif dibandingkan tanpa UV. Pada kondisi dengan UV menggunakan katalis ZnO/Zeolit, degradasi pestisida Cherizeb mencapai 85,66% pada menit ke-60 dan Emacel 83,97% pada menit ke-75, sedangkan pada kondisi tanpa UV degradasi hanya 53,84% untuk Cherizeb dan 54,09% untuk Emacel. Perlakuan tanpa katalis menunjukkan hasil yang sangat rendah, yakni hanya 8,01% untuk Cherizeb dan 7,69% untuk Emacel. Penggunaan zeolit saja meningkatkan degradasi hingga 60,18% untuk Cherizeb dan 62,07% untuk Emacel, Namun mekanismenya terbatas pada adsorpsi. Penggunaan katalis ZnO memberikan degradasi lebih tinggi, yaitu 72,63% untuk Cherizeb dan 69,79% untuk Emacel. Dimana, sinar UV mampu mengeksitasi elektron pada ZnO dan menghasilkan radikal reaktif yang dapat memutus ikatan kimia pestisida. Hasil tertinggi diperoleh dari kombinasi ZnO/zeolit dengan penyinaran UV, yang menunjukkan sinergi antara aktivitas fotokatalitik ZnO dan peran zeolit dalam memperluas luas permukaan katalis. Dengan demikian, kombinasi ZnO/zeolit dengan bantuan sinar UV terbukti sebagai metode yang efektif untuk menurunkan residu pestisida pada air cucian cabai.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, maka disarankan penelitian selanjutnya sebaiknya menguji pengaruh pH larutan pada kondisi asam, netral, maupun basa sehingga dapat diketahui kondisi optimum fotodegradasi. Selain itu, analisis kinetika reaksi fotodegradasi penting dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai orde reaksi serta konstanta laju, sehingga mekanisme degradasi dapat dipahami lebih mendalam. Identifikasi produk degradasi menggunakan instrumen lanjutan seperti GC-MS atau LC-MS juga perlu digunakan agar dapat mengetahui senyawa hasil degradasi dan memastikan tidak terbentuk produk samping yang berbahaya. Kajian mengenai stabilitas serta reusabilitas katalis dengan melihat seberapa banyak kali katalis dapat digunakan kembali tanpa kehilangan aktivitasnya secara signifikan. Selanjutnya, penelitian dapat diperluas ke skala lebih besar dengan menggunakan limbah tekstil sehingga hasilnya lebih aplikatif. Kombinasi metode fotolisis dengan teknik lain seperti sonolisis, ozonisasi, atau elektrokoagulasi juga berpotensi diteliti untuk meningkatkan efisiensi proses degradasi.

DAFTAR PUSTAKA

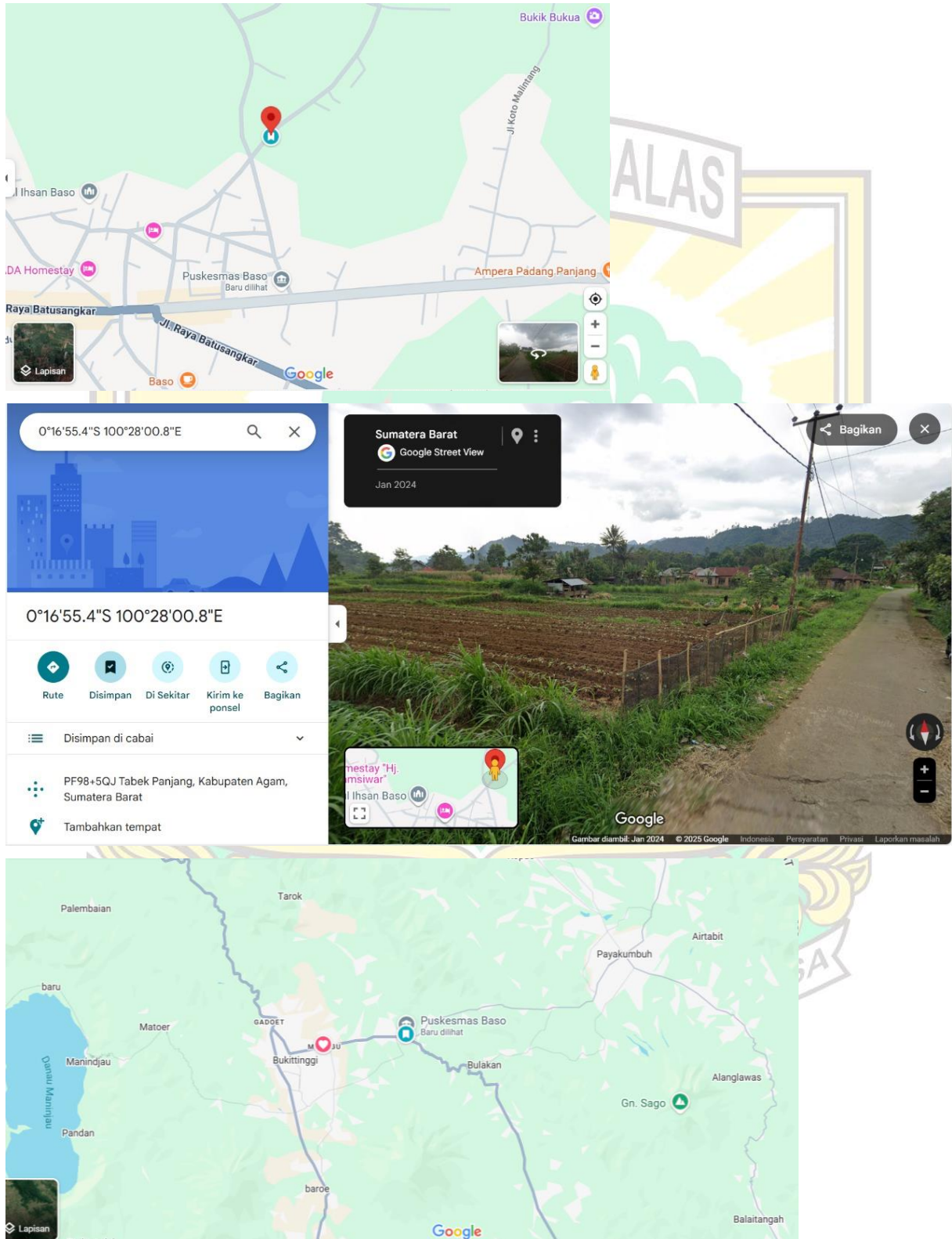
1. Berlian Z, Syarifah S, Sari DS. Pengaruh Pemberian Limbah Kulit Kopi (*Coffea robusta* L.) terhadap Pertumbuhan Cabai Keriting (*Capsicum annum* L.). *J Biota* 2015;1(1):22–32.
2. Suryaningsih E, Hadisoeganda A. Pengendalian Hama Dan Penyakit Penting Cabai Dengan Pestisida Biorasional. *J Hortikultura*. 2007;17(3):261–269.
3. Murti KH. *The effect of drying temperature on vitamin C content of Lado F1 curly chili fruit (Capsicum annum L.)*. *J Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem* 2017;5(3):245–256.
4. Prasetya ME. Pengaruh pupuk NPK mutiara dan pupuk kandang sapi terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman cabai merah keriting varietas arimbi (*Capsicum annum* L.). *Agrifor* 2014;XIII(M):191–198.
5. Miskiyah, Munarso SJ. Kontaminasi Residu Pestisida pada Cabai Merah, Selada, dan Bawang Merah. *Jurnal Hortikultura* 2009;19(01):101–111.
6. Karlina L, Daud A, Ruslan. Identifikasi Residu Pestisida Klorpirifos Dalam Cabai Besar Dan Cabai Rawit Di Pasar Terong Dan Lotte Mart Kota Makassar. Hasanuddin University Repository. 2013
7. Zilfa, Zein R, Nurhayatul Rahmi T. Pemanfaatan Zeolit Alam Clinoptilolite-Ca Sebagai Pendukung Katalis ZnO Untuk Mendegradasi Zat Warna Methyl Orange Dengan Metoda Fotolisis. *Jurnal Kimia Universitas Andalas*. 2023 Nov;12(2):19–26.
8. Atikah WS. *The Potentiality of Activated Natural Zeolite from Gunung Kidul as Adsorben to Textile Dyes*. *Arena Tekst*. 2017;32(1):17–24.
9. Siregar A, Syam A, Mustafa M. Rancangan Media Adsorpsi Zeolit Alam Sebagai Adsorben Emisi Gas Mesin Otomotif. *Journal Mechanical Engineering Manufactur Matery Energy* 2019;3(1):64.
10. Zilfa Z, Wilda Putri Suhada, Rahmiana Zein. Penggunaan ZnO/Zeolit dalam Degradasi Fenol Secara Fotolisis dan Aplikasinya Pada Limbah Karet. *J Kim Unand* 2023;12(2):19–26.
11. Ahmad NI, Bunga YN, Bare Y. Etnobotani Tanaman Cabai Merah Keriting (*Capsicum Annum* L.) Di Desa Waiwuring, Kecamatan Wilihama Kabupaten Flores Timur. *Jurnal Pendidikan Biologi Universitas Nusa Nipa Indonesia*. 2021;2(2):8–17.
12. Damaiyanti D, Yulianty R, Marzuki A, Kasim S, Rante H. Analisis Residu Pestisida Klorpirifos Pada Cabai (*Capsicum* sp.) Dari Desa Bungin Kecamatan Bungin Kabupaten Enkareng. *Majalah Farmasi dan Farmakologi* 2020;23(3):106–108.
13. Rahmasari DA, Musfirah. Faktor Yang Berhubungan Dengan Keluhan Kesehatan Subjektif Petani Akibat Penggunaan Pestisida Di Gondosuli, Jawa Tengah. *Jurnal Nasional Ilmu Kesehatan* 2020;3(1):14–28.
14. Duniaji AS, Suter IK. Pengujian Kandungan Residu Pestisida pada Tanaman Sayuran di Kabupaten Badung dengan Kartu Pendeteksi Pestisida (Pesticide Detection Cards) dan Gas *Chromatography Mass Spectrophotometry*. Itepa: *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*. 2021;10(4):746–752.
15. Nafis B, Tirta N, Zilhaya U, Chairunnisa N, Rizki A, Nasir M. Kontaminasi Pestisida Di Perairan Indonesia. Kenanga: *Journal of Biological Sciences and Applied Biology*. 2024;4(1):38–43.
16. Khair Kadim M, Sudaryanti S, Endang Yuli dan H, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya, *Pollution of Pesticide Residues in The Umbulrejo River District Dampit, Malang*. 2013;20(3):262–268.
17. Susanti BT, Rochaddi B, Suryono CA, Irwani I. Kontaminasi pestisida organofosfat dan logam berat pada airtanah di Wilayah Pantai Utara Jawa Tengah dan Jawa Timur. *Jurnal Kelautan Tropis*, 2020;23(3):341–348.
18. Nugraha A. Pemanfaatan Arang Aktif dalam Pengendalian Residu Pestisida di Tanah: *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 2020;14(1):49–62.
19. Bhernama BG. Degradasi zat warna metanil yellow. *Lantanida Journal* 2015;3(2).
20. Redaksi P. *Jurnal Litbang Industri Jurnal Litbang Industri*. 2014;2014(2):73–81.
21. Zilfa Z, Safni S, Rahmi F. Penggunaan ZnO/zeolit sebagai katalis dalam degradasi tartrazin secara ozonolisis. *J Ris Kim* 2021;12(1):53–64.
22. Las T, Zamroni H. *Application of Zeolite in Industries and Environments*. *Jurnal Zeolit Indonesia* 2002;23–30.
23. Setyaningsih LWN, Rizkiyaningrum UM, Andi R. Pengaruh Konsentrasi Katalis Dan Reusability Katalis Pada Sintesis Triasetin Dengan Katalisator Lewatit. *Teknoin* 2017;23(1):56–62.
24. Setiawan MP, Kimia J, Hindryawati N, Aziz A. *Syhntesis And Characterization Of ZnO Nanoparticles For Photocatalyst*. Prository Seminar Nasional Kimia. 2024;2(2):84–90.
25. Samik S, Kusumawati N, Sianita MM, et al. Karakterisasi Abu Sekam Padi dengan Menggunakan XRD. *Unesa Journal Chemistry*. 2023;11(3):153–159.
26. Saputri ED, Munir R, Natalisanto AI. Investigasi pola XRD dan ukuran kristal pada TiO₂ terdoping vanadium menggunakan aplikasi VESTA. *Progress Physics Journal*. 2022;3(1):125.

27. Eka PL. Penentuan konsentrasi senyawa berwarna kalium permanganat dengan metoda spektroskopi. *Natural Science Journal Visible*. 3(1): 391-398. Nat Sci J 2017;3(1):391–398.
28. Anisa Z, Mubarakah L, Setyaningrum D, Novianto H. Identifikasi Sifat Termal Dan Ikatan Batu Kapur Alam Dengan Menggunakan Dsc-Tga Dan Ftir. *Inovasi Teknik Kimia* 2023;8(3):173–177.
29. Sari NW, Fajri MY, Anjas W. Analisis Fitokimia dan Gugus Fungsi dai Ekstrak Etanol Pisang Goroho Merah (*Musa acuminata* (L)). *Ijobb* 2018;2(1):30–34.
30. Zilfa, Arifin B, Zein R, Rahmayeni, Ummi S, Ramadhan S. *Effectiveness and efficiency between CuO/natural zeolite catalysts and ZnO/natural zeolite in naphthol blue-black waste management by photolysis degradation method*. *Desalination Water Treatment*. 2021;226:400–407.
31. Zilfa, Rahmayeni, Arifin B, Sisca V, Putri ES. *Photolysis of naphthol blue-black from kubang weaving waste using tio2/zeolite as a catalyst*. *Rasayan Journal Chemistry*. 2021;14(2):1247–1254.
32. Lesnussa T, Hattu N, Dulanlebit YH. Analisis kadar kalsium (Ca) dan fosfor (P) pada daun kecipir (*Psophocarpus tetragonolobus* L) di Pulau Ambon dan Seram bagian barat. *Majalah Kimia (MJoCE)*. 2019;9(1):46–54.
33. Fadaei A, Kargar M. *Photocatalytic degradation of chlorpyrifos in water using titanium dioxide and zinc oxide*. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2013;22(8 A):2442–2447.
34. Zilfa, Rahmayeni, Septiani U, Jamarun N, Fajri ML. *Utilization natural zeolyte from West Sumatera for TiO₂ support in degradation of Congo red and a waste simulation by photolysis*. *Der Pharma Lettre*. 2017;9(5):1-10.
35. Chong MN, Jin B, Chow CWK, Saint C. *Recent developments in photocatalytic water treatment technology: Article review*. *Water Research*. 2010;44(10):2997–3027.
36. Kang R, Wang Z, Lou X, et al. *Energy storage performance of Bi0.5Na0.5TiO3-based relaxor ferroelectric ceramics with superior temperature stability under low electric fields*. *Chem Eng J* 2021;410
37. Guo Y, Zu B. *Zeolite-based Photocatalysts: A Promising Strategy for Efficient Photocatalysis*. *J Thermodynamic Catalyst* 2012;4(2).
38. Smedt C De, Ferrer F, Leus K, Spanoghe P. *Removal of pesticides from aqueous solutions by adsorption on zeolites as solid adsorbents*. *Adsorption Science Technology*. 2015;33(5):457–485.
39. Safni, Putri AN, Deswati, Zilfa. *Degradation of Remazol Yellow FG by sonolysis and photolysis with TiO₂/active carbon rice husk (TiO₂/AC) catalyst and analysis using spectrophotometer UV-Vis*. *J Kimia Unand*. 2024;13(2):34-40. doi:10.25077/jku.13.2.34-40.2024.
40. Zilfa, Suyani H, Safni, Jamarun N. *Degradation of permethrin compound by photolysis using TiO₂-anatase as catalyst*. *J Sains Material Indonesia*. 2010;11(2):107-111.
41. Fuzi S, Syaiful A, Dadang, Dwindrata A, Rahayu W. *Effects of Pesticide Application on Phenolic Acid Transformations and CO₂ and CH₄ Productions from Peat Soil*. *J Tanah dan Iklim* 2015;1(Bbsdlp 2011):11–23.
42. Pasieczna-Patkowska S, Cichy M, Flieger J. *Application of Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy in Characterization of Green Synthesized Nanoparticles*. *Molecules* 2025;30(3):1–36.
43. Zilfa Z, Yusuf Y, Putri AS. *Penanggulangan Limbah Ubi Kayu dengan Menggunakan Katalis TiO₂/Zeolit Alam Clinoptilolit-Ca secara Sinergi Fotokatalis dan Adsorpsi*. *Jurnal Kimia Unand* 2024;13(1):14–21.
44. Veronica J. *Synthesis of Composite ZnO-Zeolite and Its Application as Adsorbent: A Systematic Review*. *J Kartika Kim* 2024;7(2):102–112.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengambilan Sampel

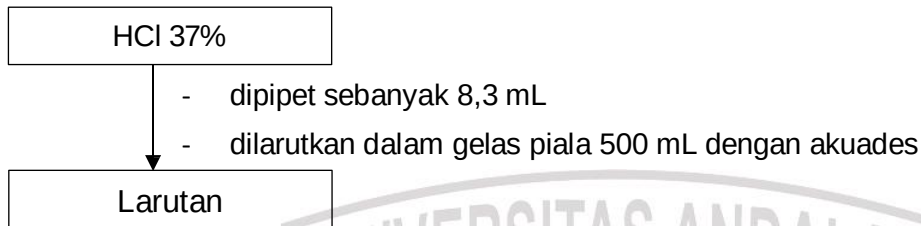
Gambar peta pengambilan



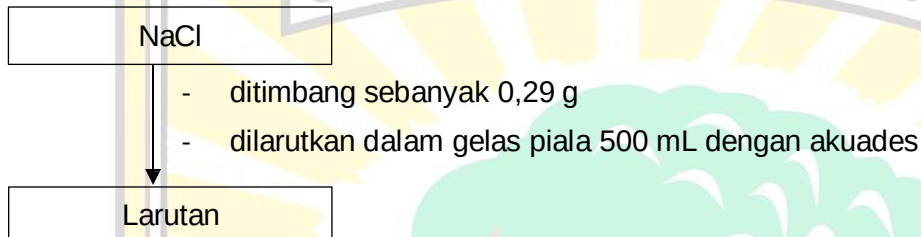
Lampiran 2. Skema Kerja

1. Pembuatan Reagen

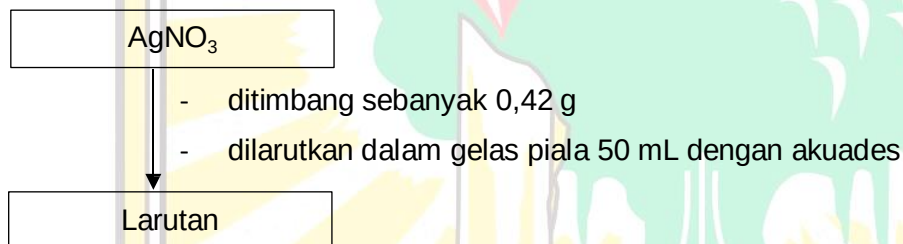
1.1 Pembuatan 500 mL Larutan HCl 0,2 M



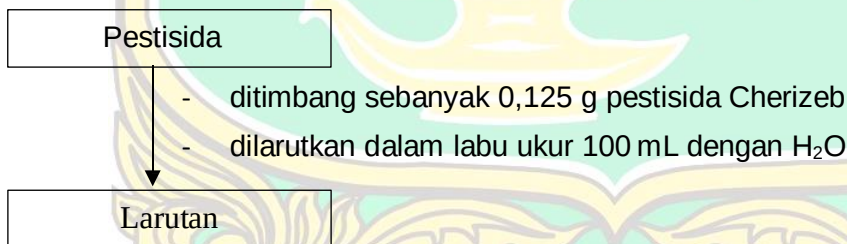
1.2 Pembuatan 500 mL Larutan NaCl 0,01 M



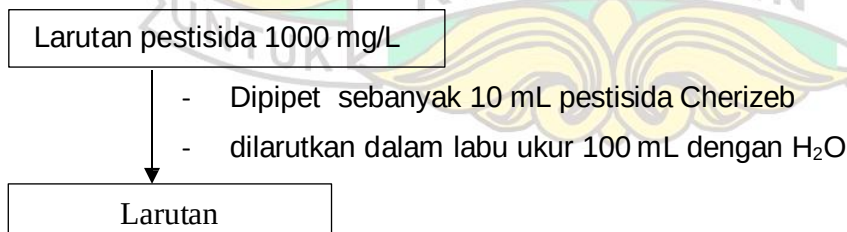
1.3 Pembuatan 50 mL Larutan AgNO₃ 0,05 M



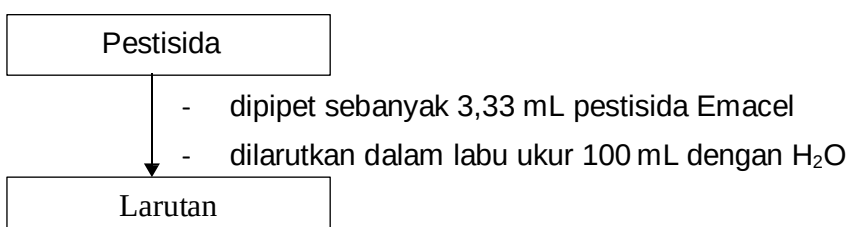
1.4 Pembuatan Larutan Induk Pestisida Cherizeb 1000 mg/L



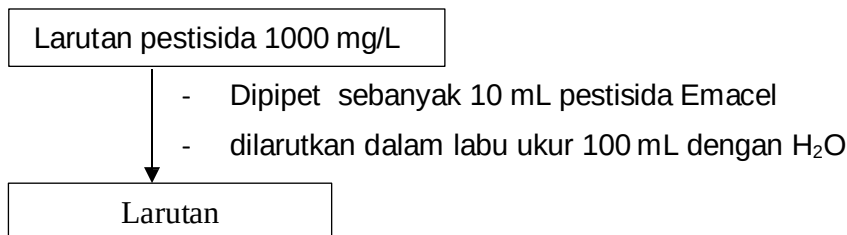
1.5 Pembuatan Larutan Pestisida Cherizeb 100 mg/L



1.6 Pembuatan Larutan Induk Pestisida Emacel 1000 mg/L

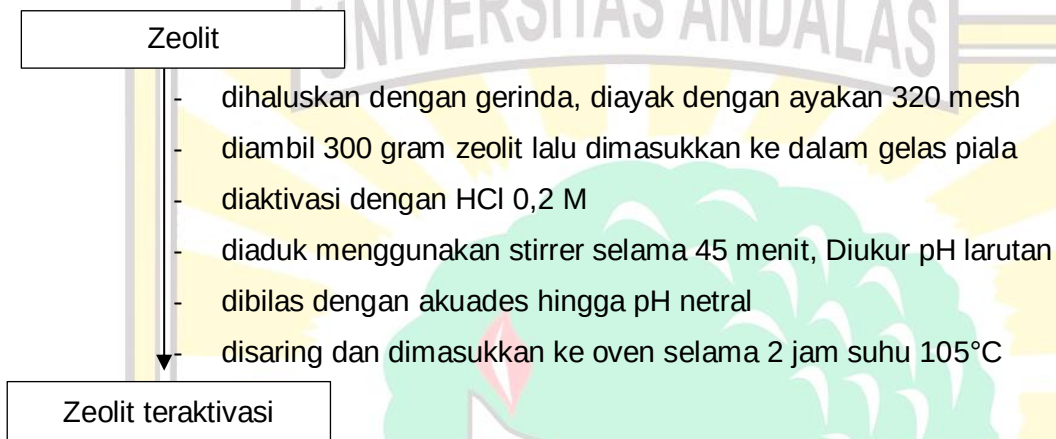


1.7 Pembuatan Larutan Pestisida Emacel 100 mg/L

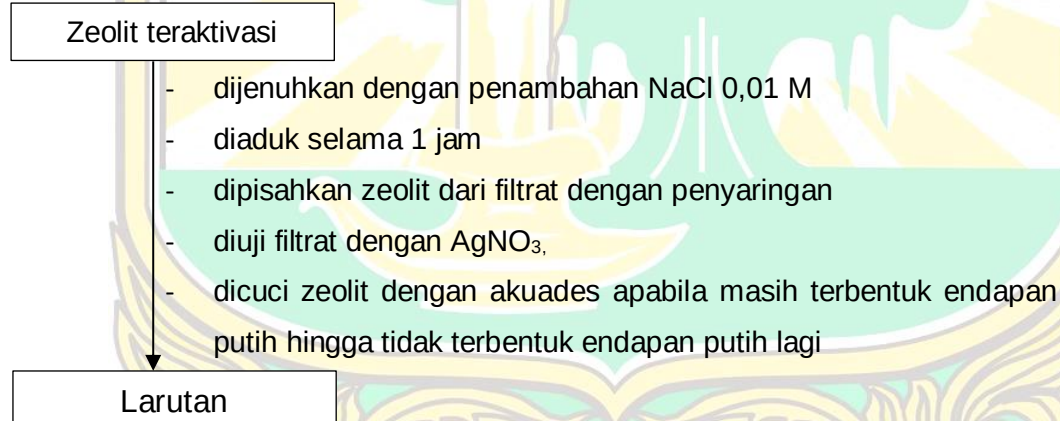


2. Sintesis Katalis ZnO/zeolit

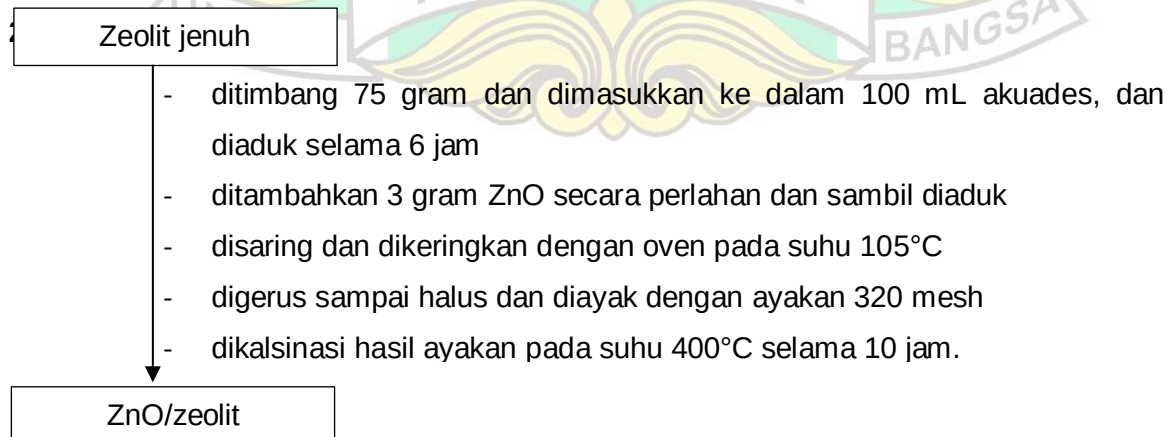
2.1 Aktivasi Zeolit



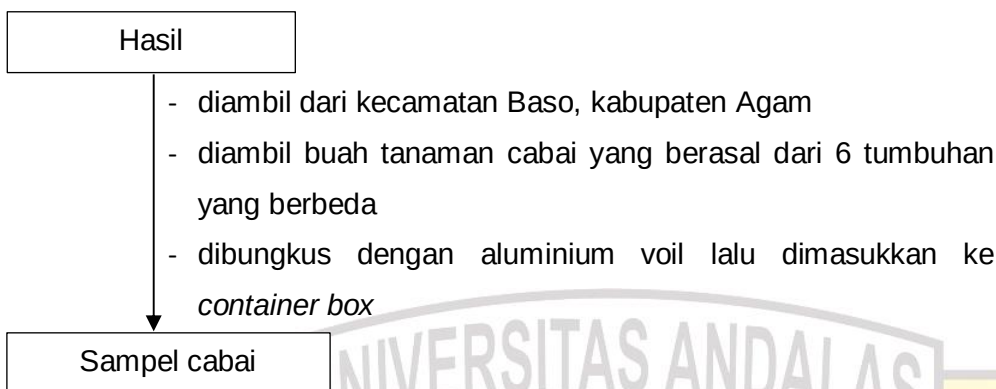
2.2 Penjenuhan zeolit



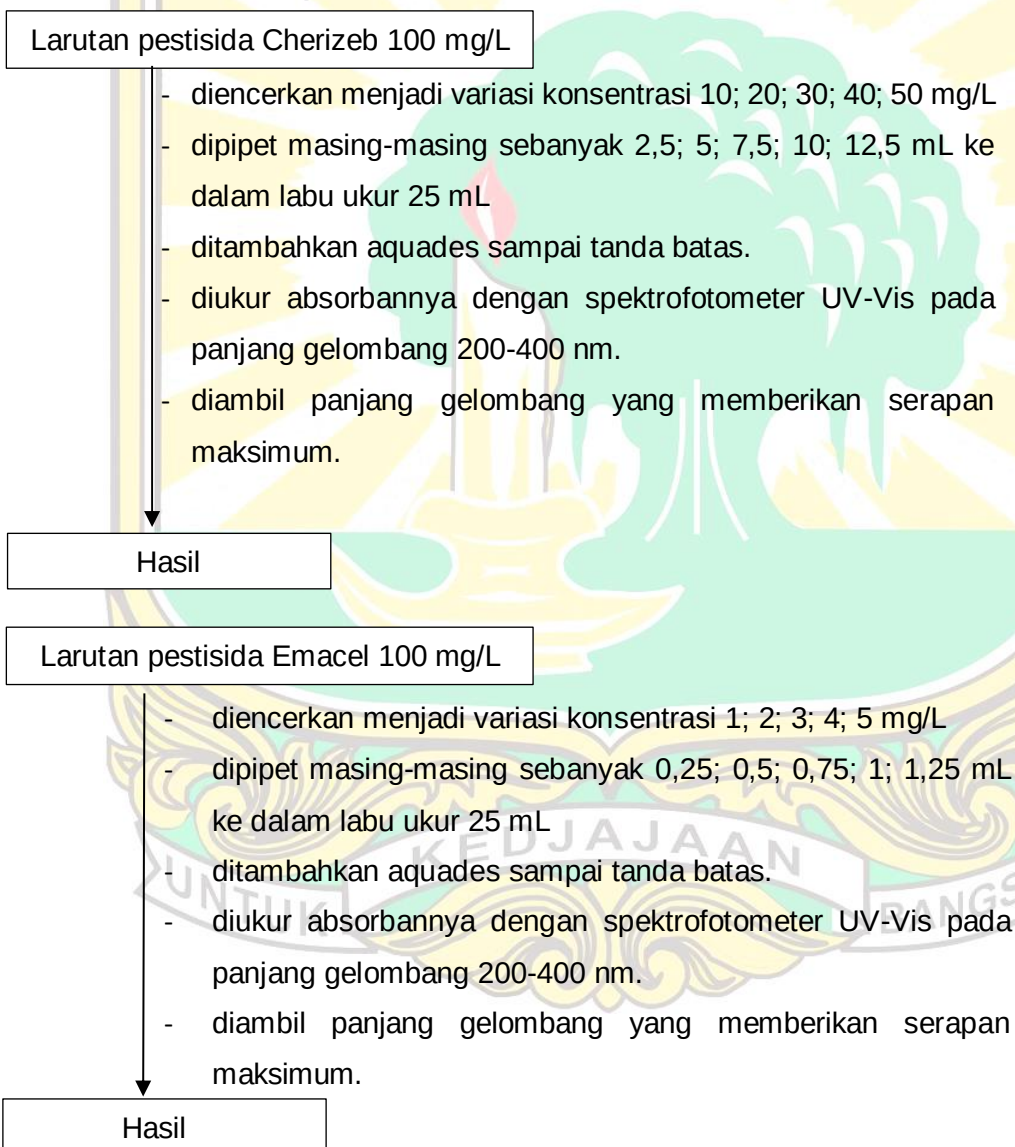
2.3 Preparasi Katalis ZnO/Zeolit



3. Preparasi Sampel



4. Penentuan Serapan Maksimum Pestisida Cherizeb dan Emacel



5. Pengukuran absorban pestisida cherizeb dan emacel

Larutan standar pestisida Cherizeb

- dibuat dengan variasi konsentrasi 10; 20; 30; 40; 50 mg/L
- dipipet masing-masing sebanyak 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 mL ke dalam labu ukur 25 mL
- ditambahkan aquades sampai tanda batas.
- diukur absorbannya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum

Hasil

Larutan standar pestisida emacel

- dibuat dengan variasi konsentrasi 1; 2; 3; 4; 5 mg/L
- dipipet masing-masing sebanyak 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25 mL ke dalam labu ukur 25 mL
- ditambahkan aquades sampai tanda batas.
- diukur absorbannya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum

Hasil

6. Penentuan kadar residu pestisida cherizeb dan emacel dalam air cucian cabai

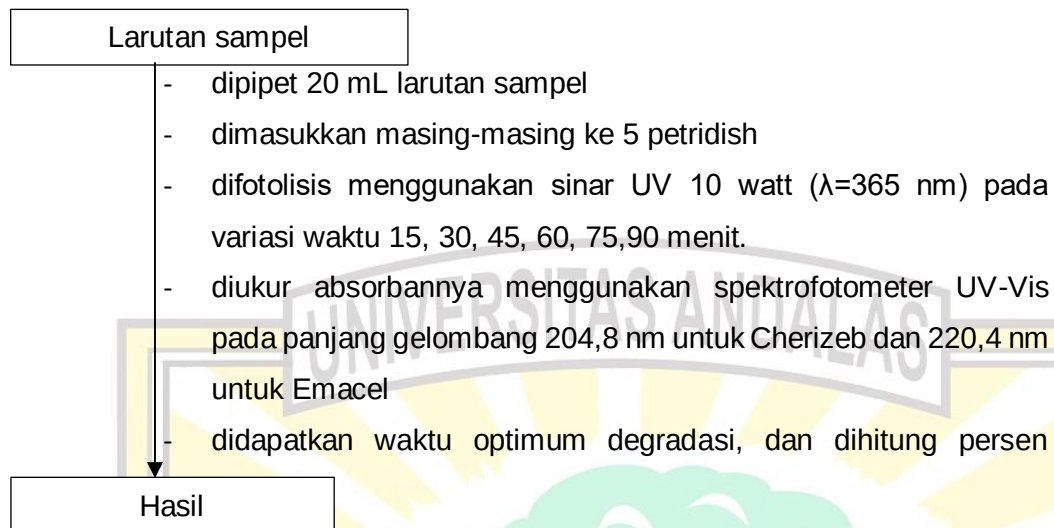
Sampel cabai

- ditimbang 15 g lalu dimasukkan ke gelas piala
- dilakukan pencucian dengan penambahan 50 mL aquades lalu diaduk selama 1 menit untuk mengestrak residu pestisida pada permukaan
- dilakukan pencucian hingga 3 kali pencucian
- disaring masing-masing air cucian
- dicampurkan ketiga air cucian
- diukur absorbannya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum masing-masing
- ditentukan konsentrasi residu pestisida yang terdapat pada larutan sampel.

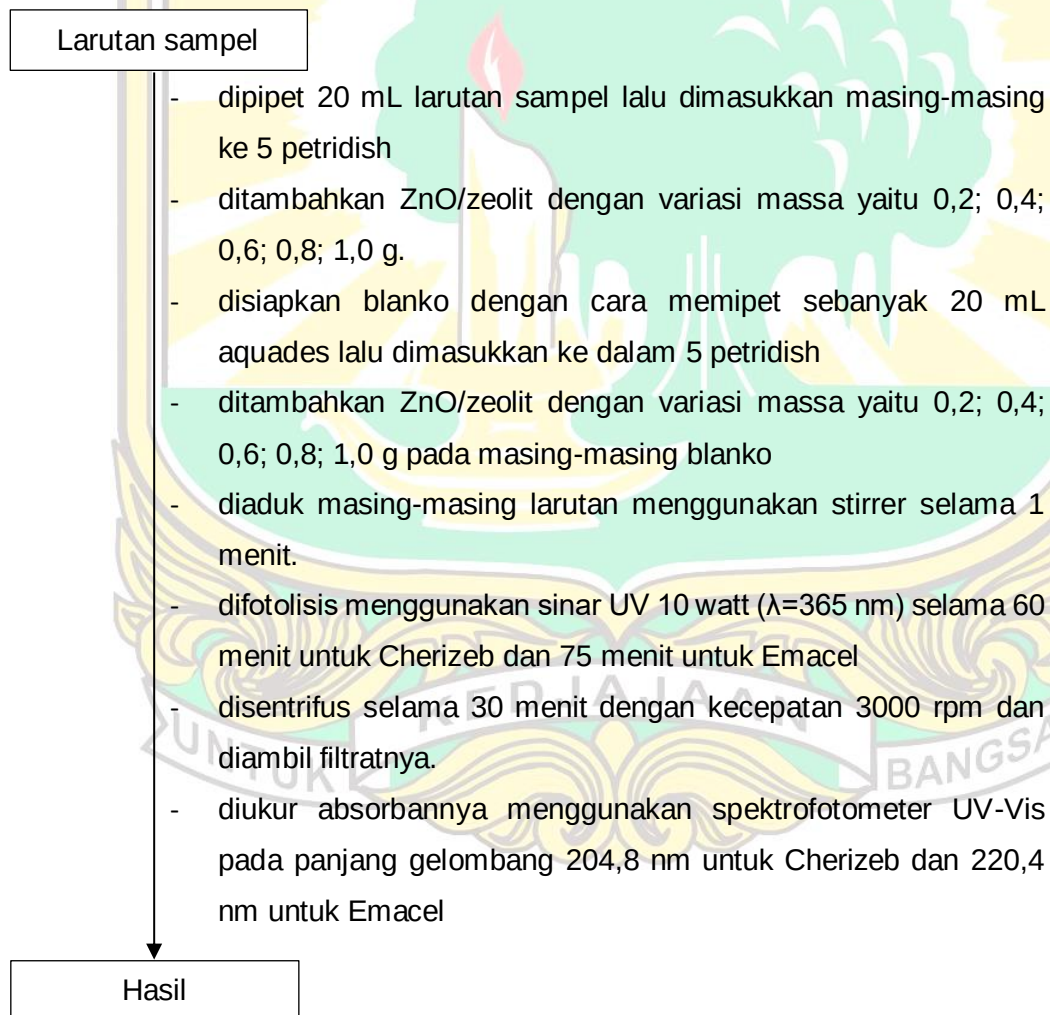
Hasil

7. Penentuan Kondisi Optimum Degradasi

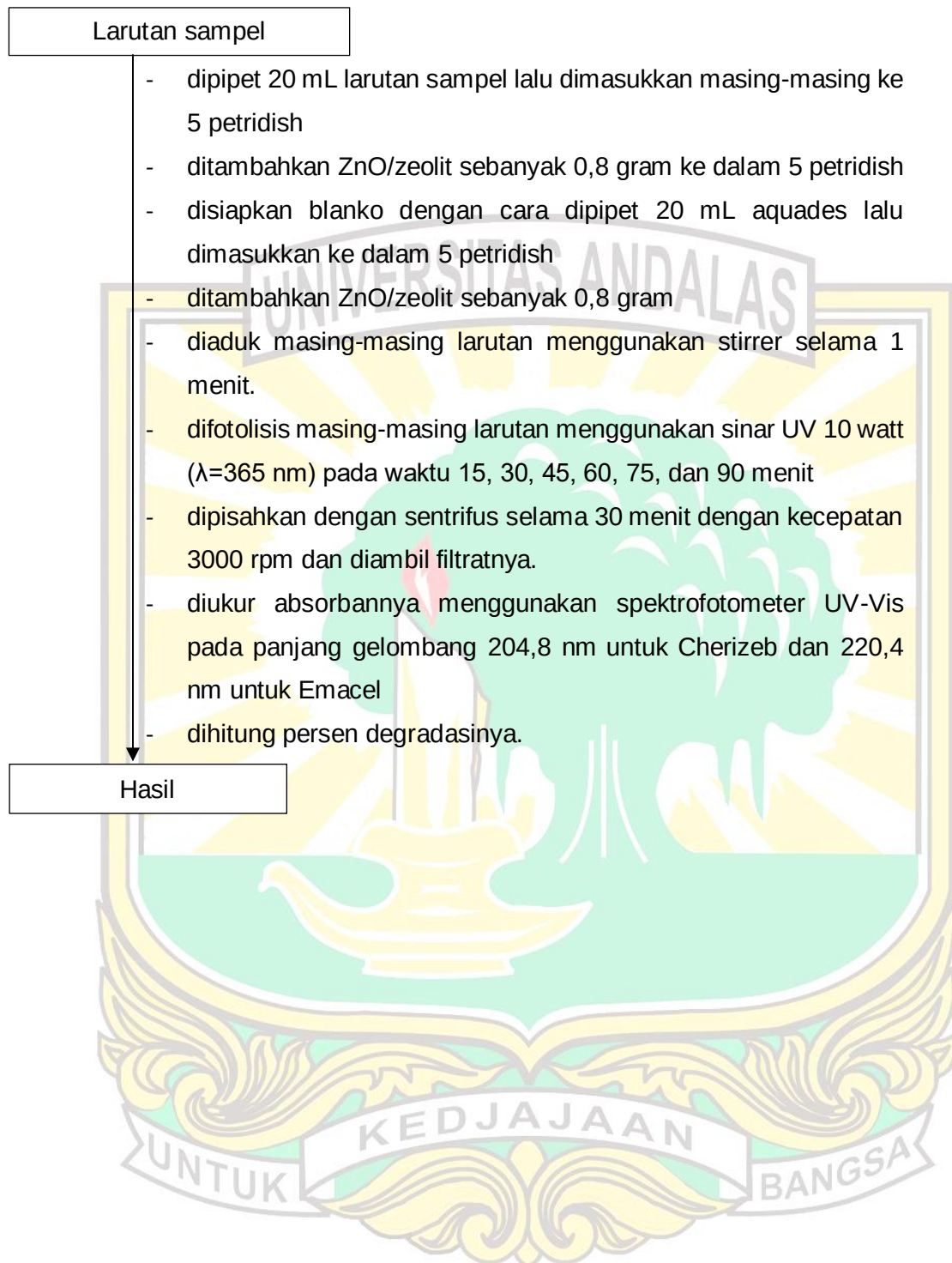
7.1 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Persen Degradasi Pestisida Tanpa Katalis



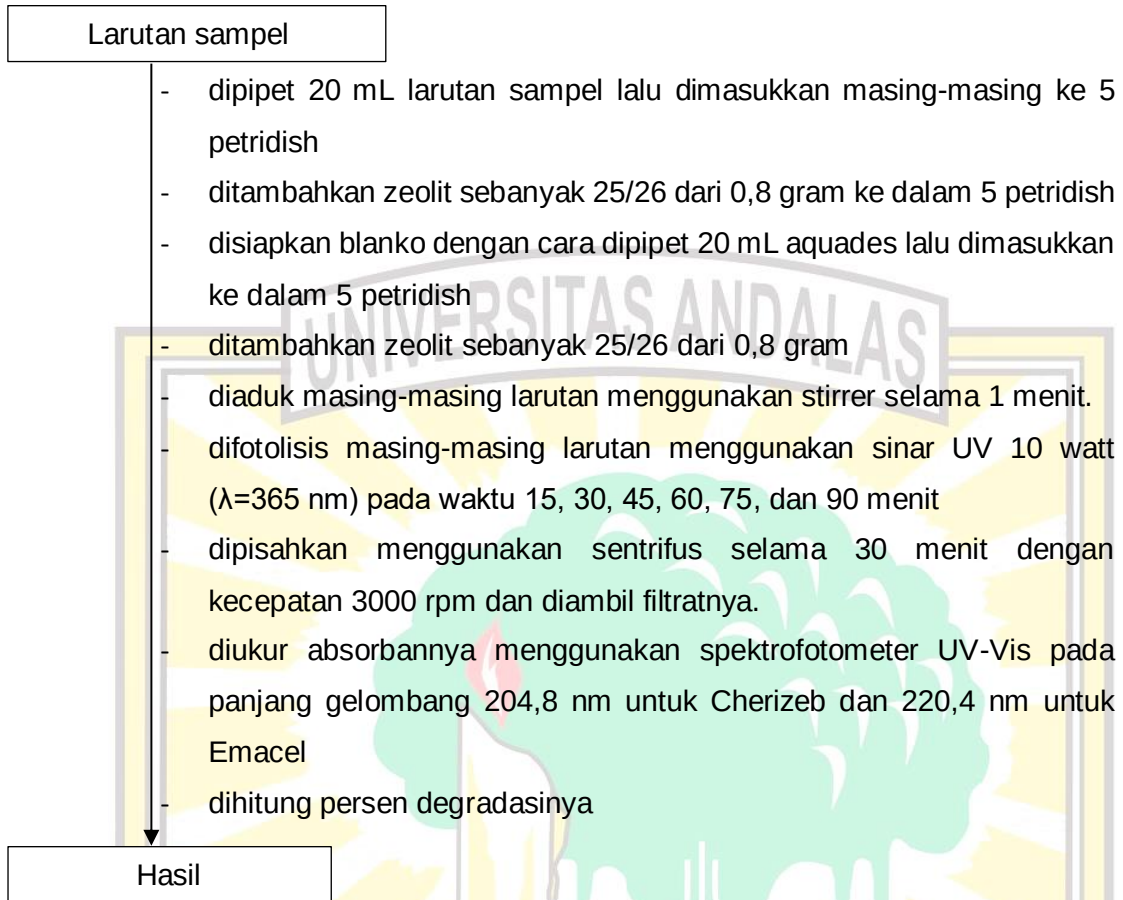
7.2 Pengaruh Penambahan Jumlah ZnO/Zeilolit Terhadap Persen Degradasi Pestisida



7.3 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Persen Degradasi Pestisida pada Massa Optimum ZnO/Zeolit



7.4 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Persen Degradasi Pestisida Menggunakan Zeolit



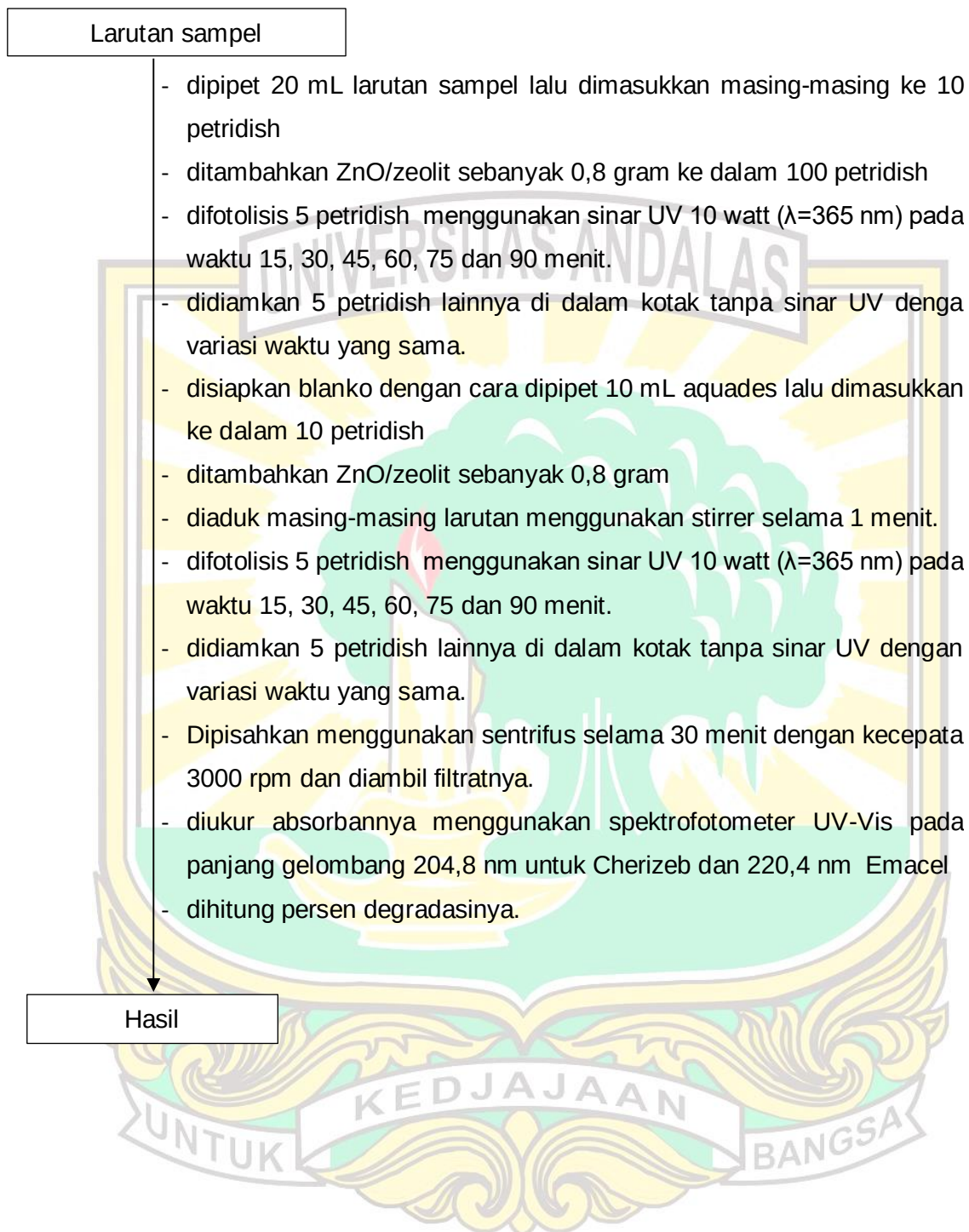
7.5 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Persen Degradasi Pestisida Menggunakan ZnO

Larutan sampel

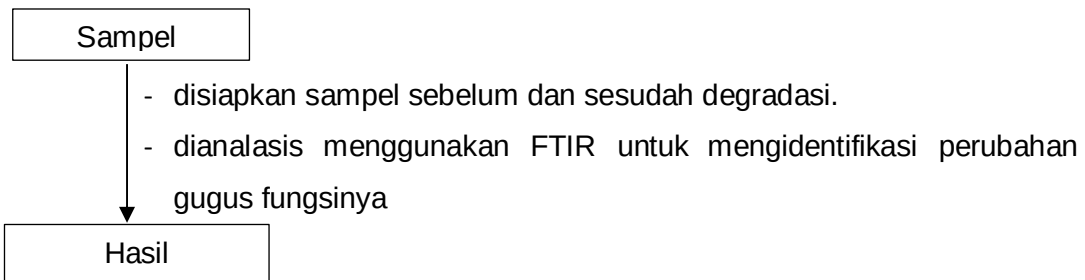
- dipipet 20 mL larutan sampel lalu dimasukkan masing-masing ke 5 petridish
- ditambahkan ZnO sebanyak 1/26 dari 0,8 gram ke dalam 5 petridish
- disiapkan blanko dengan cara dipipet 20 mL aquades lalu dimasukkan ke dalam 5 petridish
- ditambahkan ZnO sebanyak 1/26 dari 0,8 gram
- diaduk masing-masing larutan menggunakan stirrer selama 1 menit
- difotolisis masing-masing larutan menggunakan sinar UV 10 watt ($\lambda=365$ nm) pada waktu 15, 30, 45, 60, 75, dan 90 menit
- dipisahkan menggunakan sentrifus selama 30 menit dengan kecepatan 3000 rpm dan diambil filtratnya.
- diukur absorbannya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 204,8 nm untuk Cherizeb dan 220,4 nm untuk

Hasil

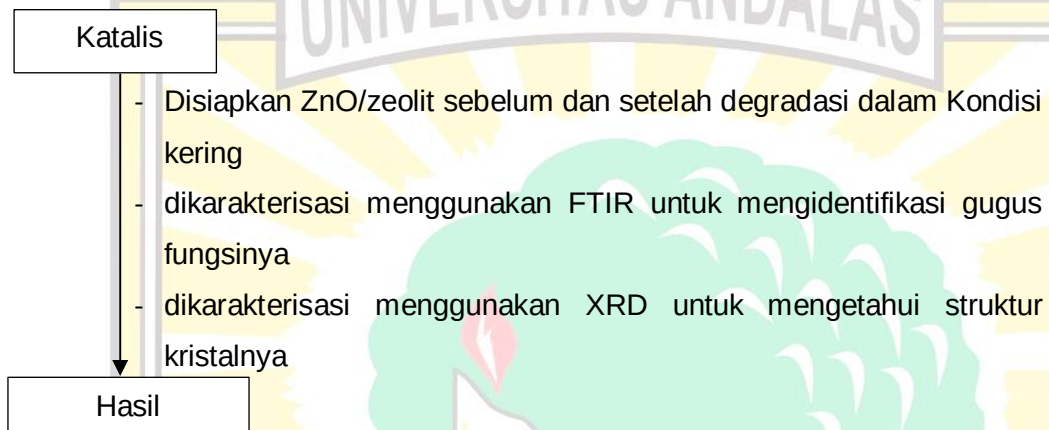
7.6 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Persen Degradasi Pestisida Menggunakan ZnO/Zeolit dengan dan tanpa Disinari sinar UV



8. Analisis Sampel sebelum dan setelah degradasi Menggunakan FTIR

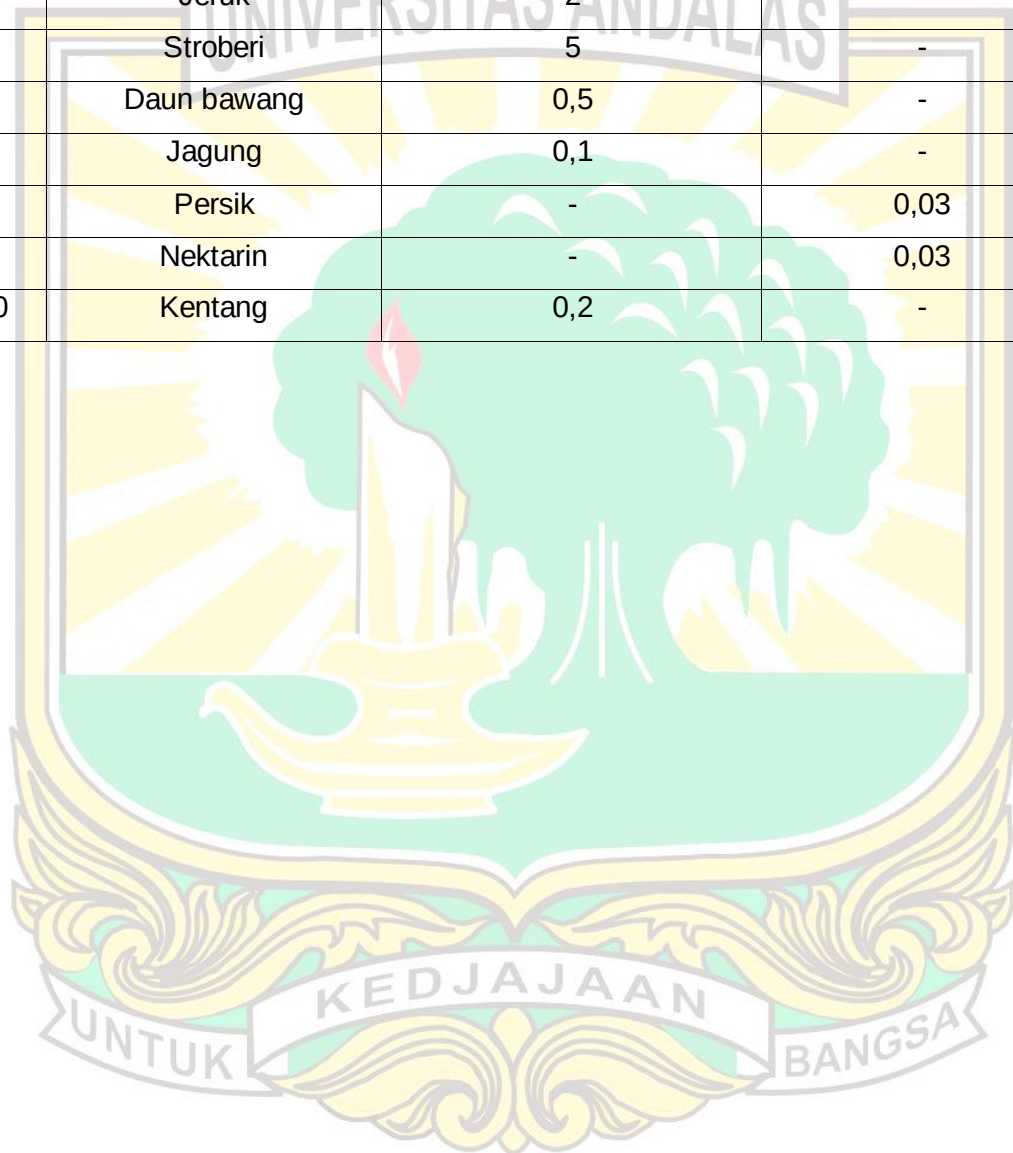


9. Karakterisasi Katalis Sebelum dan Setelah Degradasi Menggunakan FTIR dan XRD



Lampiran 3. Batas maksimum bahan aktif pestisida Berdasarkan Permentan Nomor 53 Tahun 2018

No.	Komoditas	Dithiocarbamat (mg/kg)	Emamectin benzoat (mg/kg)
1	Anggur	5	0,03
2	Cabai	10	0,2
3	Selada	0,5	1
4	Jeruk	2	-
5	Stroberi	5	-
6	Daun bawang	0,5	-
7	Jagung	0,1	-
8	Persik	-	0,03
9	Nektarin	-	0,03
10	Kentang	0,2	-



Lampiran 4. Perhitungan

A. Pembuatan Larutan HCl 0,2 M

Pada penelitian ini HCl 0,2 M dibuat dari HCl pekat kadar 37%

$$M = \frac{\rho \times 10 \times \%}{M_r}$$

$$M = \frac{1,19 \frac{g}{mL} \times 10 \times 37}{36,5 \text{ g/mol}}$$

$$M = 12,06 \text{ M}$$

Maka untuk membuat 500 mL larutan HCl 0,2 M diperlukan HCl pekat sebanyak:

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$12,06 \text{ M} \times V_1 = 0,2 \text{ M} \times 500 \text{ mL}$$

$$V_1 = 8,3 \text{ mL}$$

B. Pembuatan Larutan NaCl 0,01 M

$$M = \frac{g}{M_r} \times \frac{1000}{V \text{ (mL)}}$$

$$0,01 \text{ M} = \frac{g}{58,5 \text{ g/mol}} \times \frac{1000}{500 \text{ mL}}$$

$$\text{gram} = 0,2925 \text{ g}$$

C. Pembuatan Larutan AgNO₃ 0,05 M

$$M = \frac{g}{M_r} \times \frac{1000}{V \text{ (mL)}}$$

$$0,05 \text{ M} = \frac{g}{170 \text{ g/mol}} \times \frac{1000}{50 \text{ mL}}$$

$$\text{gram} = 0,4250 \text{ g}$$

D. Pembuatan Larutan Induk Pestisida Cherizeb 1000 mg/L

$$\frac{1000 \text{ mg}}{L} \times \frac{g}{1000 \text{ mg}} \times 0,1 \text{ L} \times \frac{80}{100} = 0,125 \text{ g}$$

E. Pembuatan Larutan Pestisida Cherizeb 100 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ mg/L} \times V_1 = 100 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 10 \text{ mL}$$

F. Pembuatan Larutan Pestisida Emacel 1000 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$30000 \text{ mg/L} \times V_1 = 1000 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 3.3 \text{ mL}$$

G. Pembuatan Larutan Pestisida Emacel 100 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ mg/L} \times V_1 = 100 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 10 \text{ mL}$$

A. Pembuatan Larutan Standar Cherizeb

- 0 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 0 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0 \text{ mL}$$

- 10 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 10 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ mL}$$

- 20 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 20 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

- 30 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 30 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 7,5 \text{ mL}$$

- 40 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 40 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 10 \text{ mL}$$

- 50 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 50 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 12,5 \text{ mL}$$

B. Perhitungan Persamaan Regresi Pestisida cherizeb

No	X (mg/L)	Y (A)	X ²	XY	Y ²
1	0	0	0	0	0
2	10	0,156	100	1,5600	0,0243
3	20	0,281	400	5,6200	0,0789
4	30	0,439	900	13,1700	0,1927
5	40	0,555	1600	22,2000	0,3080
6	50	0,771	2500	38,5500	0,5944
Σ	150	2,202	5500	81,1000	1,1983

$$B = \frac{n (\sum XY) - (\sum X) (\sum Y)}{n (\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$B = \frac{6 (81,1000) - (150) (2,202)}{6 (5500) - (150)^2}$$

$$B = 0,0149$$

$$A = \frac{\sum Y - B(\sum X)}{6}$$

$$A = \frac{2,202 - (0,01489)(150)}{6}$$

$$A = -0,0051$$

$$Y = Bx + A$$

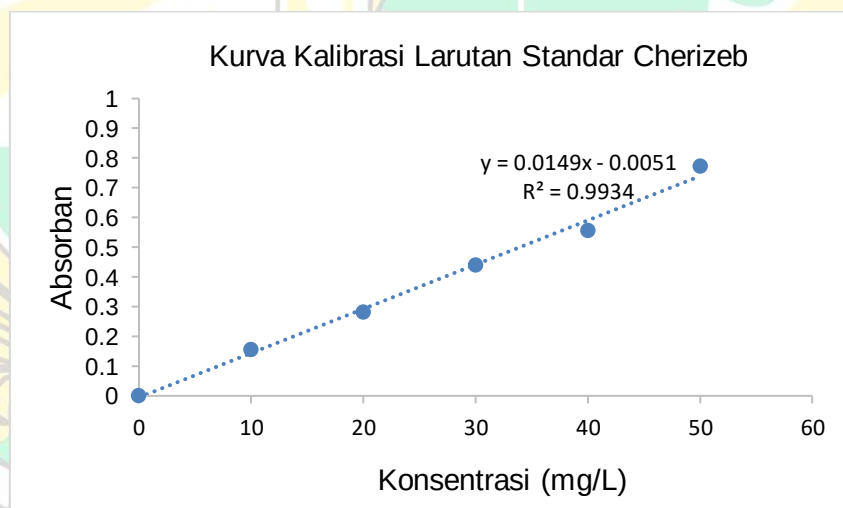
$$Y = 0,0149x - 0,0051$$

Penentuan Koefisien Korelasi

$$r = \frac{n (\sum XY) - (\sum X) (\sum Y)}{\sqrt{n (\sum X^2) - (\sum X)^2} \cdot [n (\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}$$

$$r = \frac{6 (81,1000) - (150) (2,202)}{\sqrt{6 (5500) - (150)^2} \cdot [6 (1,1983) - (2,202)^2]}$$

$$r = 0,9934$$



C. Penentuan Konsentrasi Sampel

$$Y = 0,752$$

$$Y = 0,0149x - 0,0051$$

$$0,752 = 0,0149x - 0,0051$$

$$X = 50,80 \text{ mg/L}$$

D. Pembuatan Larutan Standar Emacel

- 0 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 0 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0 \text{ mL}$$

- 1 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 1 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,25 \text{ mL}$$

- 2 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 2 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,5 \text{ mL}$$

- 3 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 3 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,75 \text{ mL}$$

- 4 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 4 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 1 \text{ mL}$$

- 5 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 5 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 1,25 \text{ mL}$$

E. Perhitungan Persamaan Regresi Pestisida Emacel

No	X (mg/L)	Y (A)	X ²	XY	Y ²
1	0	0	0	0	0
2	1	0,157	1	0,1570	0,0246
3	2	0,246	4	0,4920	0,0605
4	3	0,349	9	1,0470	0,1218
5	4	0,480	16	1,9200	0,2304
6	5	0,577	25	2,8850	0,3329
Σ	15	1,809	55	6,5010	0,7702

$$B = \frac{n (\sum XY) - (\sum X) (\sum Y)}{n (\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$B = \frac{6 (6,5010) - (15) (1,809)}{6 (55) - (15)^2}$$

$$B = 0,1131$$

$$A = \frac{\sum Y - B(\sum X)}{6}$$

$$A = \frac{1,809 - (0,1131)(15)}{6}$$

$$A = 0,0189$$

$$Y = Bx + A$$

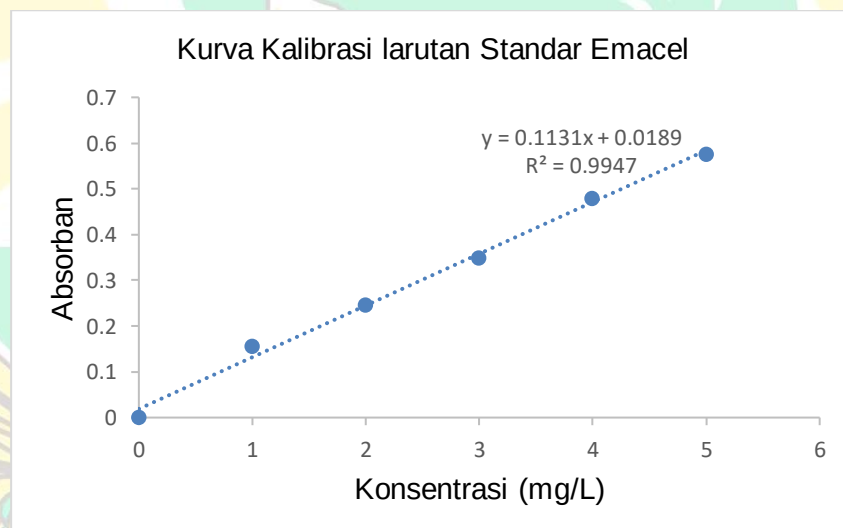
$$Y = 0,1131x + 0,0189$$

Penentuan Koefisien Korelasi

$$r = \frac{n (\sum XY) - (\sum X) (\sum Y)}{\sqrt{n (\sum X^2) - (\sum X)^2} \cdot [n (\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}$$

$$r = \frac{6 (6,501) - (15) (1,809)}{\sqrt{6 (55) - (15)^2} \cdot [6 (0,7702) - (1,809)^2]}$$

$$r = 0,9947$$



F. Penentuan Konsentrasi Sampel

$$Y = 0,563$$

$$Y = 0,1131x + 0,0189$$

$$0,563 = 0,1131x + 0,0189$$

$$X = 4,81 \text{ mg/L}$$

Lampiran 5. Data Hasil Pengukuran

5.1 Penentuan Waktu Optimum Fotolisis terhadap Degradasi tanpa Katalis (Cherizeb)

Waktu (menit)	Absorban	Konsentrasi (mg/L)	Degradasi (%)
15	0,719	48,41	4,72
30	0,710	47,81	5,92
45	0,699	46,95	7,56
60	0,696	46,73	8,01
75	0,700	47,04	6,72
90	0,700	47,04	6,72

5.2 Penentuan Waktu Optimum Fotolisis terhadap Degradasi tanpa Katalis (Emacel)

Waktu (menit)	Absorban	Konsentrasi (mg/L)	Degradasi (%)
15	0,541	4,63	3,82
30	0,534	4,56	5,23
45	0,530	4,52	6,02
60	0,525	4,47	7,10
75	0,521	4,44	7,69
90	0,522	4,45	7,49

5.3 Penentuan Massa Optimum ZnO/Zeolit Terhadap Persen Degradasi Pestisida (Cherizeb)

massa (g)	Absorban	Konsentrasi (mg/L)	Degradasi (%)
0,2	0,594	40,24	20,76
0,4	0,476	32,25	36,48
0,6	0,238	16,32	67,89
0,8	0,125	8,75	82,75
1,0	0,131	9,17	81,98

5.4 Penentuan Massa Optimum ZnO/Zeolit Terhadap Persen Degradasi Pestisida (Emacel)

massa (g)	Absorban	Konsentrasi (mg/L)	Degradasi (%)
0,2	0,386	3,25	32,56
0,4	0,290	2,40	50,08
0,6	0,191	1,53	68,28
0,8	0,121	0,91	81,12
1,0	0,125	0,94	80,53

5.5 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Persen Degradasi Pestisida Menggunakan ZnO/Zeolit dengan UV(Cherizeb)

Waktu (menit)	Absorban	Konsentrasi (mg/L)	Degradasi (%)
15	0,463	31,34	38,27
30	0,394	26,82	47,18
45	0,237	16,24	68,01
60	0,103	7,23	85,66
75	0,128	8,96	82,29
90	0,156	10,82	78,65

5.6 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Persen Degradasi Pestisida Menggunakan ZnO/Zeolit dengan UV(Emacel)

Waktu (menit)	Absorban	Konsentrasi (mg/L)	Degradasi (%)
15	0,317	2,64	45,02
30	0,251	2,05	57,39
45	0,204	1,64	65,87
60	0,163	1,28	73,45
75	0,106	0,77	83,97
90	0,127	0,96	80,11

5.7 Pengaruh Waktu Fotolisis terhadap Persen Degradasi Pestisida menggunakan ZnO/Zeolit tanpa UV(Cherizeb)

Waktu (menit)	Absorban	Konsentrasi (mg/L)	Degradasi (%)
15	0,584	39,51	22,21
30	0,513	34,83	31,42
45	0,452	30,80	39,38
60	0,343	23,44	53,84
75	0,376	25,53	49,68
90	0,408	27,54	45,76

5.8 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Persen Degradasi Pestisida Menggunakan ZnO/Zeolit tanpa UV(Emacel)

Waktu (menit)	Absorban	Konsentrasi (mg/L)	Degradasi (%)
15	0,391	3,29	31,51
30	0,344	2,88	40,17
45	0,312	2,59	46,11
60	0,284	2,34	51,41
75	0,269	2,21	54,09
90	0,287	2,37	50,75

5.9 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Persen Degradasi Pestisida Menggunakan ZnO(Cherizeb)

Waktu (menit)	Absorban	Konsentrasi (mg/L)	Degradasi (%)
15	0,632	42,77	15,79
30	0,509	34,53	32,02
45	0,322	21,96	56,76
60	0,267	18,37	63,84
75	0,202	13,90	72,63
90	0,199	13,79	72,82

5.10 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Persen Degradasi Pestisida Menggunakan ZnO(Emacel)

Waktu (menit)	Absorban	Konsentrasi (mg/L)	Degradasi (%)
15	0,449	3,80	20,91
30	0,374	3,14	34,71
45	0,280	2,30	52,11
60	0,203	1,62	66,39
75	0,183	1,45	69,79
90	0,181	1,43	70,35

5.11 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Persen Degradasi Pestisida Menggunakan Zeolit(Cherizeb)

Waktu (menit)	Absorban	Konsentrasi (mg/L)	Degradasi (%)
15	0,662	44,83	11,71
30	0,543	36,79	27,59
45	0,403	27,38	46,12
60	0,296	20,23	60,18
75	0,297	20,30	60,03
90	0,312	21,27	58,11

5.12 Pengaruh Waktu Fotolisis Terhadap Persen Degradasi Pestisida Menggunakan Zeolit (Emacel)

Waktu (menit)	Absorban	Konsentrasi (mg/L)	Degradasi (%)
15	0,483	4,10	14,71
30	0,403	3,40	29,22
45	0,350	2,93	39,13
60	0,263	2,16	55,01
75	0,221	1,79	62,70
90	0,242	1,97	59,08



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ANDALAS
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN KIMIA

Kampus Unand Limau Manis, Padang - 25163 Email : kimia@fmipa.unand.ac.id

BERITA ACARA UJIAN SARJANA

Nomor : B/87/UN.16.03/3.2/PK.03.08/2025

Pada hari ini Selasa tanggal 7 Oktober 2025 jam 13:30 WIB, mahasiswa yang tersebut di bawah ini:

Nama : Benny Damas Putra
No.BP : 2110413004
Program Studi : Sarjana (S1) Kimia
Judul Penelitian : DEGRADASI RESIDU PESTISIDA CHERIZEB DAN EMACEL PADA AIR CUCIAN CABAI MENGGUNAKAN KATALIS ZnO/ZEOLIT SECARA FOTOLISIS

Di muka Sidang / Pembimbing dinyatakan **LULUS / TIDAK LULUS** Ujian Sarjana

Akhir. Dengan Nilai 81,8 (A)

Tim Penguji terdiri dari :

No	Nama	Jabatan	Nilai	Tanda Tangan
1	Deswati, Prof., Dr.	Ketua Sidang	79,2	
2	Zilfa, Prof., Dr., MS.	Pembimbing I (Anggota)	84,6	
3	Safni, Prof., Dr.,	Pembimbing II (Anggota)	84,5	
4	Matlal Fajri Alif, Dr.Eng	Anggota	80,2	
5	Afrizal, Prof., Dr.,	Anggota	80,2	
Nilai Rata - Rata			81,8	

* Mahasiswa yang bersangkutan : Benny Damas Putra

()

Validasi oleh, Ketua
Departemen


Dr. Syukri

Padang, 8 Oktober 2025
Ketua Sidang,



Deswati, Prof., Dr.
NIP. 196012091988022002

skripsi Benny Damas Putra

ORIGINALITY REPORT

9%

SIMILARITY INDEX

9%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

MATCHED SOURCE

1

jku.fmipa.unand.ac.id

Internet Source

9%

9%

★ jku.fmipa.unand.ac.id

Internet Source

Exclude quotes On

Exclude bibliography On

Exclude matches < 3%

Padang, 20 Oktober 2025

Validator Turnitin

Departemen Kimia FMIPA Universitas Andalas



Dr. Eng. Matlal Fajri Alif, M.Si

NIP. 198207242014041002