

**DEGRADASI ZAT WARNA METIL MERAH DENGAN KATALIS ZnO
MENGUNAKAN METODE FOTOSONOLISIS**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai Salah Satu Persyaratan untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains (S.Si)*



Oleh :

**PUTRI AYU
NIM/TM. 17036134/2017**

**PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2021**

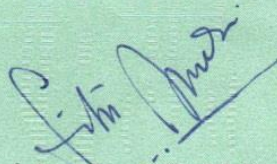
PERSETUJUAN SKRIPSI

DEGRADASI ZAT WARNA METIL MERAH DENGAN KATALIS ZnO MENGUNAKAN METODE FOTOSONOLISIS

Nama : Putri Ayu
NIM : 17036134
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

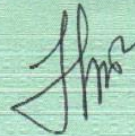
Padang, Juni 2021

Mengetahui:
Ketua Jurusan



Fitri Amelia, S.Si, M.Si, Ph.D
NIP. 19800819 200912 2 002

Disetujui oleh:
Dosen Pembimbing



Hary Sanjaya, S.Si, M.Si
NIP. 198304282009121007

PENGESAHAN UJIAN SKRIPSI

Nama : Putri Ayu
NIM : 17036134
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

DEGRADASI ZAT WARNA METIL MERAH DENGAN KATALIS ZnO MENGUNAKAN METODE FOTOSONOLISIS

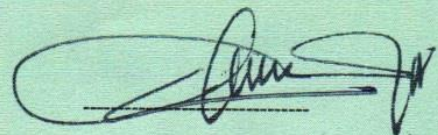
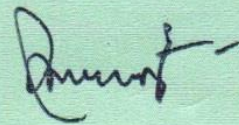
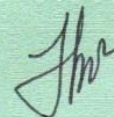
*Dinyatakan Lulus Setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Kimia Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang*

Padang, Juni 2021

Tim Penguji

	Nama
Ketua	: Hary Sanjaya, S.Si, M.Si
Anggota	: Dr. Indang Dewata, M.Si
Anggota	: Ananda Putra, M.Si, Ph.D

Tanda tangan



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Putri Ayu
NIM : 17036134
Tempat/Tanggal lahir : Payakumbuh/ 6 Juli 1999
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : **Degradasi Zat Warna Metil Merah dengan Katalis ZnO menggunakan Metode Fotosonolisis**

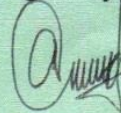
Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil karya saya dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis/skripsi ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan tim pembimbing.
3. Pada karya tulis/skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada kepustakaan.
4. Karya tulis/skripsi ini sah apabila telah ditandatangani **Asli** oleh tim pembimbing dan tim penguji.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi

Padang, Juni 2021

Yang menyatakan



Putri Ayu
NIM : 17036134

Degradasi Zat Warna Metil Merah Dengan Katalis ZnO Menggunakan Metode Fotosonolisis

Putri Ayu

ABSTRAK

Penelitian yang telah dilakukan mengenai degradasi zat warna metil merah secara fotosonolisis menggunakan katalis ZnO bertujuan untuk menentukan pengaruh waktu degradasi dan pengaruh penambahan massa katalis terhadap degradasi metil merah. Rentang waktu degradasi yang digunakan berkisar dari 30 menit sampai 150 menit sedangkan massa katalis yang digunakan 0,05 gram sampai 0,25 gram ZnO. Hasil pengukuran spektrofotometer Uv-Vis didapatkan panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) metil merah yaitu pada 435nm dengan absorbansi sebesar 0,2471. Pada variasi waktu degradasi didapatkan hasil tertinggi pada waktu 60 menit yaitu sebesar 75,27% sedangkan variasi massa ZnO yang dilakukan pada waktu optimum didapatkan hasil tertinggi pada penambahan 0,15 gram ZnO dengan persen degradasi (%D) sebesar 47,79%. Pada penelitian ini adanya radikal hidroksil yang dihasilkan pada proses fotosonolisis berperan penting dalam mendegradasi zat warna metil merah.

Kata Kunci: Degradasi, Metil merah, Katalis ZnO, Fotosonolisis

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Degradasi Zat Warna Metil Merah Dengan Katalis ZnO Menggunakan Metode Fotosonolisis**. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih atas bimbingan, dorongan dan semangat kepada:

1. Bapak Hary Sanjaya S.Si, M.Si sebagai Dosen Pembimbing akademik
2. Bapak Dr. Indang Dewata, S.Si, M.Si dan Bapak Ananda Putra, M.Si, Ph.D sebagai dosen pembahas.
3. Ibu Fitri Amelia, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai ketua Jurusan Kimia dan Bapak Edi Nasra, S.Si, M.Si sebagai sekretaris Jurusan Kimia FMIPA UNP.
4. Bapak Budhi Oktavia, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai ketua Program Studi Jurusan Kimia FMIPA UNP.
5. Orang tua penulis yang telah memberikan semangat serta dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Semua pihak terkait yang turut berkontribusi dalam skripsi ini.

Semoga rahmat dan kasih sayang Allah SWT selalu tercurah pada kita semua serta usaha dan kerja kita bernilai ibadah di hadapan Allah SWT, Amin Ya Rabbal ‘Alamin. Penulis menyadari bahwa proposal ini masih jauh dari kata

sempurna. Oleh karena itu, Penulis mengharapkan masukan dan saran dari pembaca agar proposal ini bermanfaat dikemudian harinya.

Padang, Juni 2021

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	4
C. Batasan Masalah	5
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Metil merah	7
B. Zink Oksida (ZnO)	8
C. Fotokatalis.....	10
D. Fotolisis	12
E. Sonolisis	13
F. Fotosonolisis	14
G. Spektrofotometer UV-Vis	16
BAB III METODE PENELITIAN.....	19
A. Waktu dan Tempat	19
B. Objek Penelitian.....	19
C. Variabel Penelitian.....	19

D. Alat dan Bahan yang Digunakan.....	19
1. Alat	19
2. Bahan	20
E. Prosedur Penelitian	20
1. Pembuatan larutan zat warna metil merah.....	20
2. Degradasi metil merah dengan metode fotolisis	20
3. Teknik Analisa Data	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	31
A. Kesimpulan.....	31
B. Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN.....	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur Kimia Metil Merah	7
Gambar 2. Struktur kisi kristal ZnO (wurtzit).	9
Gambar 3. Skema mekanisme fotokatalitik.....	12
Gambar 4. Gambaran proses sonolisis	14
Gambar 5. Mekanisme fotosonolisis	15
Gambar 6. Skema Alat Fotosonolisis	16
Gambar 7. Kurva pengaruh lama penyinaran terhadap degradasi larutan zat warna metil merah menggunakan katalis ZnO secara fotosonolisis	24
Gambar 8. Gambaran reaksi fotosonolisis metil merah.....	25
Gambar 9. Perbandingan hasil sonolisis, fotokatalitik, fotosonolisis	27
Gambar 10. Kurva pengaruh penambahan katalis ZnO terhadap degradasi larutan zat warna metil merah secara fotosonolisis.....	28

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pembuatan larutan zat warna metil merah	36
Lampiran 2. Degradasi larutan metil merah dengan variasi waktu secara fotosonolisis	37
Lampiran 3. Degradasi larutan metil merah dengan variasi massa katalis secara fotosonolisis	38
Lampiran 4. Skema Penelitian.....	39
Lampiran 5. Absorbansi zat warna metil merah sebelum di degradasi menggunakan spektrofotometer UV-VIS	40
Lampiran 6. Hasil sebelum dan sesudah degradasi metil merah 10 ppm dengan metode fotosonolisis.....	41
Lampiran 7. Perhitungan persen degradasi zat metil merah dengan variasi waktu menggunakan katalis ZnO secara Fotosonolisis	42
Lampiran 8. Perhitungan persen degradasi zat metil merah dengan variasi massa katalis menggunakan katalis ZnO secara Fotosonolisis	44

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri yang memanfaatkan zat warna dalam berbagai aplikasi saat ini telah meningkat secara drastis sehingga menimbulkan tantangan yang dapat mengancam lingkungan. Zat warna yang digunakan pada industri ini pada umumnya terbuat dari bahan kimia yang berbahaya dan beracun. Apabila pembuangan limbah pewarna ini tidak diolah dengan tepat maka akan dapat memberikan kerugian terhadap manusia, hewan dan lingkungan.

Industri tekstil, kertas, keramik, kosmetik, dan tinta merupakan contoh industri-industri yang banyak menggunakan zat warna sintetik. Zat warna sintetik dipilih karena memiliki komposisi yang tetap, relatif murah dan variasi warnanya banyak. Senyawa yang terkandung dalam pewarna bersifat toksik yang memberikan efek karsinogenik dan mutagenik yang akan sangat merugikan bagi kondisi kesehatan manusia dan hewan (Daghrir et al., 2014). Beberapa industri ini membuang limbah ke lingkungan tanpa mengolahnya terlebih dahulu sehingga menimbulkan masalah lingkungan dan juga berdampak bagi kesehatan manusia dan hewan.

Limbah zat warna yang dibuang langsung ke lingkungan akan menimbulkan zat beracun yang sangat berbahaya. Salah satu contohnya yaitu merusak kehidupan biota air, dan dapat menghalangi masuknya cahaya matahari sehingga fotosintesis menjadi terhambat. Bahaya lain yang ditimbulkan dari zat warna ini

adalah dapat menyebabkan kanker, iritasi kulit dan mata serta dapat merusak saluran pencernaan jika terhirup atau tertelan oleh manusia (Sanjaya et al., 2018).

Tingginya penggunaan zat warna pada kegiatan industri tekstil mengakibatkan meningkatnya konsentrasi zat pencemar yang terkandung dalam limbah cair tersebut. Dalam setiap tahunnya lebih dari 7×10^5 ton zat warna yang di produksi dan sekitar 10.000 jenis pewarna yang diaplikasikan. Sekitar 10-15% zat warna yang digunakan selama proses industri akan terbuang bersamaan dengan limbah cair (Singh et al., 2015). Zat warna sintetik mengandung senyawa azo yang memiliki gugus (-N=N-) didalam strukturnya. Salah satu contoh zat warna sintetik yang sering digunakan adalah metil merah.

Metil merah disebut juga C.I. *Acid Red 2* mempunyai sistem kromofor azo dan memiliki ikatan dengan gugus aromatik. Rumus kimia metil merah adalah $C_{15}H_{15}N_3O_2$ dengan massa molar $269,30 \text{ g.mol}^{-1}$ dan $\lambda \text{ max } 435 \text{ nm}$. Metil merah berbentuk bubuk kristal berwarna merah gelap yang termasuk kedalam zat warna sintesis dan reaktif. IARC (*International Agency for Research Cancer*) mengkategorikan metil merah sebagai bahan penyebab kanker dengan kategori 3 (Comparelli et al., 2004). Zat warna metil merah jika terhirup atau tertelan dapat menyebabkan iritasi kulit, mata dan saluran pencernaan, bersifat mutagen, racun mitosis, dan karsinogen (Welderfael et al., 2013). Untuk itu diperlukan perhatian khusus untuk dapat menangani masalah limbah dari metil merah ini dengan cara yang efisien dan hemat biaya.

Teknik konvensional telah digunakan untuk mendekontaminasi limbah dalam larutan berair seperti insinirasi, metode biologis, ozonasi dan adsorpsi fase

padat. Namun, proses ini memiliki keterbatasannya sendiri. Pembakaran dapat menghasilkan senyawa volatil beracun, ozonasi berkaitan dengan ketidakstabilan ozon, dan adsorpsi fase padat menghasilkan lumpur beracun (Widjajanti et al., 2011). Metode lain yang digunakan yaitu metode biologis atau bio-treatment. Metode ini tergantung pada biodegradasi polutan, tetapi pendegradasian ini kurang efektif karena fluktuasi dari komposisi air limbah, membutuhkan waktu yang lama dan menyebabkan bau tidak sedap (Badr et al., 2008).

Advance Oxidation Processes (AOPs) merupakan metode yang efektif untuk menangani masalah limbah zat warna yang banyak dihasilkan pada industri tekstil. Penggunaan metode ini menjanjikan untuk dilakukan dalam proses pemurniaan limbah dengan biaya yang rendah. Salah satu metode yang menggunakan AOPs yaitu fotosonolisis yang merupakan gabungan metode fotolisis dan sonolisis. Metode ini menggunakan gabungan sinar ultraviolet (UV) dan gelombang ultrasonik (US) untuk dapat mendegradasi zat warna dengan penggunaan katalis. Pada metode ini akan menghasilkan senyawa yang lebih sederhana karena menghasilkan suatu radikal hidroksil (Comparelli et al., 2005).

Degradasi zat warna Metil merah menggunakan metode fotosonolisis dengan katalis ZnO. Penggunaan katalis berfungsi untuk menghilangkan atau mendegradasi limbah zat warna lebih cepat (Chakrabarti & Dutta, 2004). ZnO merupakan salah satu jenis katalis semikonduktor. Keuntungan dari penggunaan katalis ZnO adalah memiliki stabilitas elektron tinggi, relatif murah, tidak beracun, luas permukaan besar dan stabilitas kimia yang baik (Rathnasamy et al., 2018). Proses degradasi metil merah dapat dipengaruhi oleh variasi waktu dan massa

katalis ZnO.

Penggunaan katalis ZnO terbukti efektif dalam mendegradasi pewarna dalam limbah cair industri tekstil. Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, lama penyinaran maksimum untuk mendegradasi salah satu zat warna azo yaitu *Methylen blue* 10 ppm dengan katalis ZnO dengan metoda fotosonolisis adalah 120 menit, menghasilkan persen degradasi sebesar 94,55%. Nilai pH maksimum yang diperoleh dalam metode ini yaitu pH 7 dengan persentase degradasi 96,83% (Sanjaya et al., 2017). Hal ini membuktikan bahwa penggunaan katalis ZnO secara fotosonolisis efektif dalam mendegradasi limbah cair yang mengandung pewarna.

Berdasarkan uraian diatas, dilakukan penelitian mengenai **“Degradasi Zat Warna Metil Merah Dengan Katalis Zno Menggunakan Metode Fotosonolisis”**. Degradasi metil merah dipengaruhi oleh lamanya waktu degradasi dan jumlah persentase katalis ZnO yang digunakan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan edukasi dan solusi untuk mengurangi dampak limbah zat warna yang dihasilkan industri khususnya industri tekstil terhadap pengaruhnya kepada lingkungan.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas diidentifikasi beberapa masalah:

1. Metil merah merupakan jenis pewarna sintetik yang digunakan oleh industri tekstil mengandung limbah berbahaya dan dapat merusak lingkungan dan gangguan terhadap tubuh manusia.
2. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi proses degradasi metil merah adalah penambahan katalis dengan metode fotosonolisis.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pendegradasian metil merah dilakukan dengan metode Fotosonolisis. Fotosonolisis merupakan gabungan dari metode Fotolisis dan metode Sonolisis.
2. Variasi waktu radiasi pada proses degradasi Metil merah yang digunakan adalah 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit dan 150 menit.
3. Massa katalis ZnO yang divariasikan adalah 0,05 gram, 0,1 gram, 0,15 gram, 0,2 gram dan 0,25 gram.

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu degradasi yang digunakan terhadap degradasi warna metil merah?
2. Bagaimana pengaruh massa katalis ZnO terhadap degradasi zat warna metil merah ?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan pengaruh waktu degradasi terhadap degradasi zat warna metil merah dengan metode fotosonolisis menggunakan katalis ZnO.
2. Menentukan pengaruh penambahan katalis ZnO terhadap degradasi zat warna metil merah dengan metode fotosonolisis.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

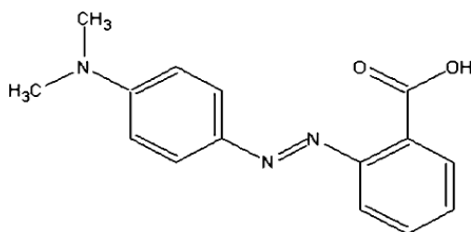
1. Memberikan informasi tentang pengaruh waktu radiasi terhadap degradasi zat warna metil merah dengan metode fotodegradasi menggunakan katalis ZnO.
2. Memberikan informasi tentang aktivitas katalitik katalis ZnO terhadap degradasi zat warna metil merah dengan metode fotodegradasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Metil merah

Zat warna metil merah mempunyai nama lain (2-(N,N-dimethyl-4-aminophenyl) azobenzenecarboxylic acid), yang disebut juga C.I *Acid Red 2* merupakan indikator warna yang dalam keadaan asam menjadi merah, pada keadaan basa akan berwarna kuning dan berwarna jingga pada keadaan keduanya . Pewarna ini termasuk kedalam zat warna azo yang berbentuk bubuk kristal merah gelap yang umumnya mengandung 1 hingga 3 gugus azo yang berikatan dengan senyawa aromatik yang banyak digunakan dalam pewarnaan kain, reaktif dalam pencelupan bahan tekstil serta penggunaannya dalam laboratorium dan termasuk kedalam senyawa yang bersifat *non-biodegradable*. Rumus kimia metil merah adalah $C_{15}H_{15}N_3O_2$ dengan massa molar $269,30 \text{ g.mol}^{-1}$ dan $\lambda \text{ max } 435\text{nm}$ (Ashraf et al., 2006).



Gambar 1. Struktur Kimia Metil Merah

Metil merah adalah senyawa monoazo yang merupakan salah satu polutan toksik, mutagenik atau karsinogenik dalam air. Pelepasannya ke lingkungan akan mempengaruhi kehidupan air dan manusia. Hal ini menyebabkan sensitisasi mata dan kulit, faring, iritasi pada saluran pencernaan saat tertelan dan / atau terhirup

(Azmier et al., 2019). Untuk itu, limbah hasil pengolahan metil merah harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang karena untuk menghindari terjadinya pencemaran lingkungan. Secara kimiawi metil merah memiliki karakteristik yang stabil dan ringan dari gugus azo, sehingga tidak mudah untuk mengolah limbah tersebut melalui oksidasi biologis atau biodegradasi.

Karakteristik metil merah dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Karakteristik metil merah

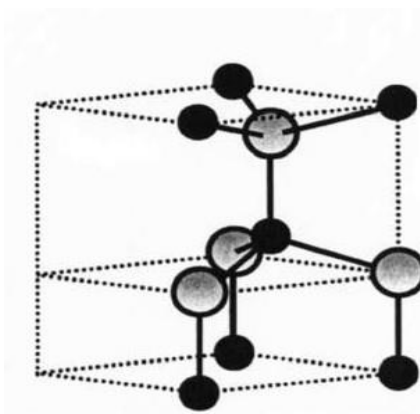
Sifat	Metil merah
Rumus molekul	$C_{15}H_{15}N_3O_2$
Berat molekul g/mol	269.3
CAS no	493-52-7
Panjang gelombang maksimum (nm)	435

B. Zink Oksida (ZnO)

Zink Oksida merupakan bahan semikonduktor yang dalam keadaan dingin berbentuk bubuk putih, dalam keadaan panas akan berwarna kuning, memiliki rasa pahit dan tidak berbau. Penggunaan ZnO diminati karena memiliki sifat elektronik dan fotonik yang unik. ZnO adalah golongan semikonduktor golongan II-IV yang memiliki celah pita lebar 3,37 eV dan energi ikat eksiton 60 meV yang menjadikannya bahan nano serbaguna (Guha Ray et al., 2020). *Zink oksida* merupakan suatu semikonduktor yang sangat baik untuk proses fotokatalitik karena fotosensitifitas dan sifat pengoksidasiannya yang kuat dan tidak beracun.

Aktivitas fotokatalitik ZnO akan terjadi apabila ZnO menyerap foton dengan energi yang sama ataupun lebih besar dari material yang menghasilkan pasangan elektron yang kemudian bermigrasi ke permukaan ZnO. ZnO memiliki beberapa kelemahan seperti laju rekombinasi yang cepat dari pasangan elektron menyebabkan fotogenerasi dan hasil kuantum yang rendah dan menghambat proses degradasi fotokatalitik (Saleh & Djaja, 2014). Agar aktivitas fotokatalitik semikonduktor meningkat dapat dilakukan dengan cara menurunkan *band gap*-nya dengan cara melakukan penambahan semikonduktor yang memiliki *band gap* lebih rendah (Sanjaya et al., 2017).

ZnO adalah semikonduktor senyawa II-IV yang ionitasnya berada antara semikonduktor kovalen dan ionik. Sebagian besar semikonduktor senyawa II-IV mengkristal dalam bentuk kubik zinc-blende atau struktur wurzit heksagonal dimana setiap anion dikelilingi oleh empat kation disudut tetrahedron. Struktur kristal yang dimiliki oleh ZnO adalah rocksalt (B1), zinc blende (B3), dan wurtzite (B4) (Özgür et al., 2005), struktur ZnO (wurtzite) dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. Struktur kisi kristal ZnO (wurtzit). Zn ditunjukkan dengan warna abu-abu sedangkan O berwarna hitam.

Susunan koordinasi tetrahedral dalam ZnO menunjukkan struktur non-controsymmetric. Sifat ini menyebabkan adanya fenomena Piezoelektrik dan piroelektrik pada ZnO. Dalam struktur tersebut, pusat muatan positif dan negatif dalam bertukar posisi dengan menambahkan tekanan luar (Sholehah, 2015).

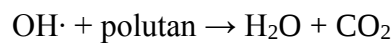
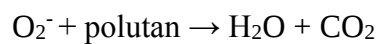
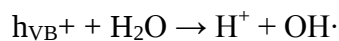
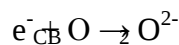
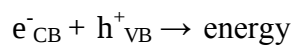
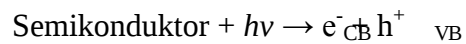
C. Fotokatalis

Fotokatalis merupakan kombinasi reaksi fotokomia yang membutuhkan bantuan cahaya dan katalis yang mempercepat terjadinya reaksi kimia. Fotokatalis juga dapat didefinisikan sebagai bahan yang mempercepat reaksi kimia dengan menyerap cahaya sehingga menghasilkan pasangan lubang elektron. Kriteria yang penting dalam sistem fotokatalitik adalah celah pita yang diinginkan, permukaan tinggi area, stabilitas, morfologi yang sesuai dan *reusability* (Roy & Chakraborty, 2020).

Reaksi fotokatalis dimulai ketika katalis semikonduktor terkena cahaya energi yang lebih besar dari celah pita semikonduktor. Elektron dari pita valensi (VB) dapat tereksitasi dan melompat ke pita konduksi (CB) dimana lubang (hVB) terbentuk, pasangan lubang elektron yang difotogenerasi dapat bergabung kembali setelah melepaskan energi. Rekombinasi ini dianggap berasal dari efesiensi kuantum rendah dari semikonduktor. Jika rekombinasi tidak terjadi pasangan lubang lektron yang dihasilkan kemudian dipisahkan dan dipindahkan kepermukaan bahan dan memulai reaksi sekunder dengan bahan yang diserap. Akseptor seperti O₂ yang berada pada permukaan katalis atau dilarutkan dalam air dan mereduksinya menjadi anion radikal superoksida O₂⁻, secara bersamaan lubang positif dapat mengoksidasi polutan secara langsung atau molekul H₂O untuk

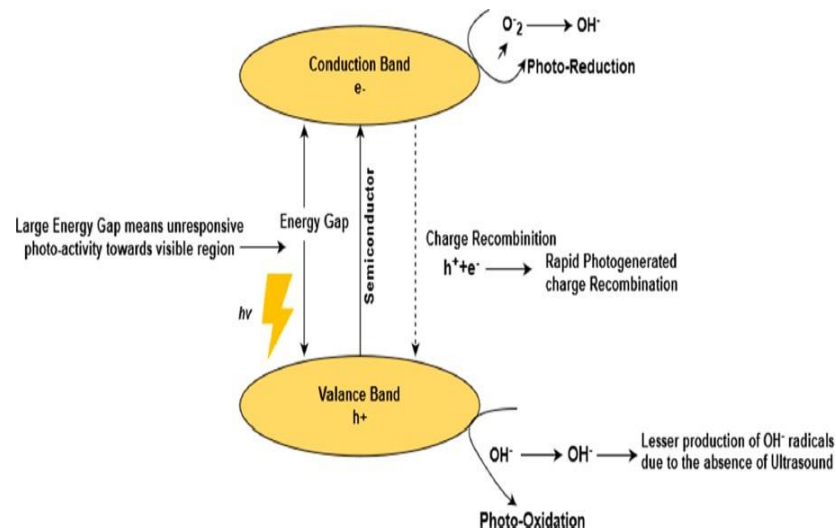
menghasilkan radikal hidroksil $\text{OH}\cdot$. Kedua radikal reaktif ini ($\text{OH}\cdot$, O) adalah agen pengoksidasi yang sangat reaktif dalam proses fotokatalitik yang dapat mendegradasi polutan organik menjadi air dan karbon dioksida dibawah paparan sinar UV tinggi (Behnajady et al., 2007).

Reaksi fotokatalitik secara umum yaitu :



Katalis yang umumnya digunakan dalam fotokatalis adalah bahan semikonduktor karena mampu menyerap foton seperti katalis ZnO (Wu et al., 2020). Kelebihan dari fase fotokatalitik ini yaitu dapat menghemat energi, lebih hemat dan tidak berbahaya bagi lingkungan sekitar. Mekanisme pada fotokatalis ini terjadi pada saat cahaya mengenai permukaan ZnO yang menyebabkan elektron dari pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi dan menyebabkan terbentuknya hole^+ pada pita valensi dan elektron akan berada pada pita konduksi yang kemudian disebut dengan photo-excitation state (Hussein et al., 2020). Hasil akhir yang didapatkan yaitu terbentuknya senyawa superoksida yang melepaskan O_2 dan OH radikal yang dapat mendegradasi polutan organik, sehingga setelah didegradasi zat warna yang dihasilkan berwarna jernih (Naimah et al., 2014).

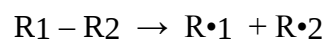
Skema mekanisme fotokatalitik dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3. Skema mekanisme fotokatalitik

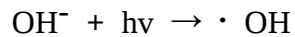
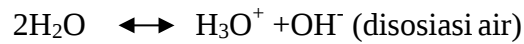
D. Fotolisis

Fotolisis merupakan suatu proses degradasi suatu senyawa yang menggunakan bantuan cahaya dengan suatu katalis. Ketika suatu material fotolisis disinari oleh suatu cahaya, maka material tersebut menyerap energi foton menyebabkan terjadinya reaksi kimia dan kompleks logam dan katalis. Penyerapan sinar UV oleh partikel fotokatalis membentuk 2 pasang elektron dan *hole* (Bhernama1 & , Prof. Safni1, 2015). Reaksi fotolisis langsung dapat dituliskan sebagai berikut:



Reaksi fotolisis biasanya menghasilkan produk berupa ion atau radikal yang dapat digunakan lebih jauh untuk reaksi degradasi polutan dalam media cair maupun gas.

Reaksi yang terjadi pada fotolisis yaitu:



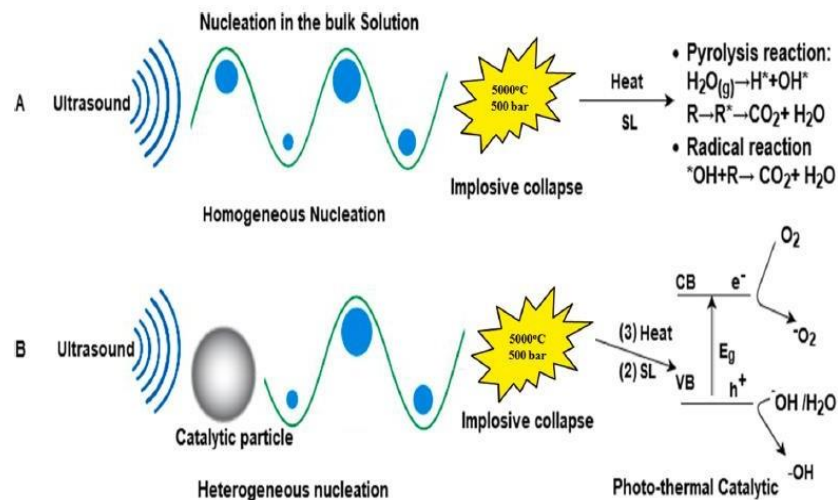
(Joseph et al., 2015).

Fotolisis memerlukan kehadiran oksigen atau molekul air karena kelembapan akan mempercepat terjadinya proses fotolisis. Dalam peristiwa fotolisis, suatu absorpsi foton oleh molekul digunakan untuk mendisosiasi (memisahkan) molekul sehingga energi foton yang diabsorpsi harus lebih cepat dari energi yang diputuskan dalam hal ini bahwa panjang gelombang dari energi foton harus yang paling sesuai untuk reaksi fotolisis (Bismo, 2006).

E. Sonolisis

Sonolisis merupakan suatu metode degradasi senyawa organik didalam air dengan menggunakan bantuan gelombang ultrasonik. Metoda ini menggunakan iradiasi ultrasonik pada frekuensi 20-500 kHz (Destailats et al., 2001). Dalam proses sonolisis air limbah mengalami radiasi ultrasound. Ultrasonik memanifestasikan efek fisik dan kimianya melalui fenomena dari kavitasi. Kavitasi pada dasarnya adalah nukleasi, pertumbuhan dan runtuhnya gelembung gas/uap kecil yang didorong oleh variasi tekanan curah yang disebabkan oleh propagasi ultrasound. Runtuhnya gelembung kavitasi sementara menciptakan konsentrasi energi yang sangat besar pada skala spatial dan temporal yang sangat kecil. Suhu dan tekanan di dalam gelembung mencapai puncaknya saat keruntuhan. Molekul gas dan pelarut (biasanya air) yang ada dalam gelembung membelah melepaskan radikal OH^- dan H , radikal ini dapat bereaksi dengan

spesies lain misalnya O_2 dan H_2O untuk menghasilkan spesies baru seperti OH dan O atau berdifusi diluar gelembung yang berfungsi sebagai oksidan (Chakma, Das, & Moholkar, 2015).



Gambar 4. Gambaran proses sonolisis

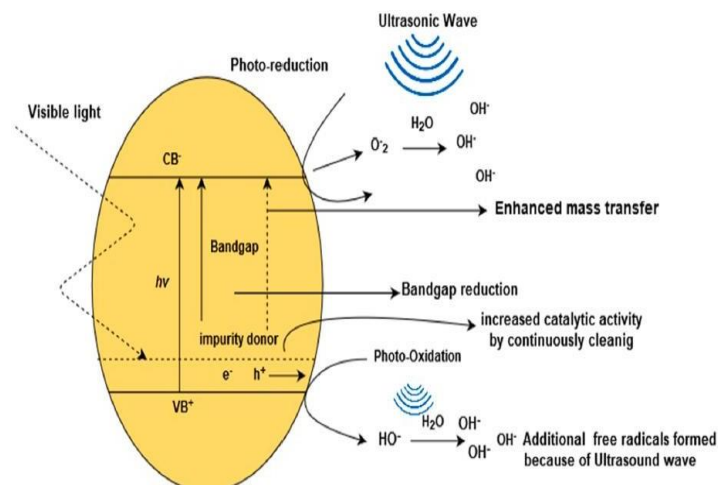
Sonolisis menghasilkan siklus kompresi dan penghalusan ultrasound sehingga gelembung kavitasi terbentuk dari nuklei dan kemudian mengalami kondisi suhu dan tekanan yang ekstrim (suhu sekitar $5000^{\circ}C$ dan tekanan atmosfer 500 bar selama mikrodetik). Fenomena tersebut menimbulkan pembelahan pirolitik dari molekul (termasuk air) di dalam gelembung dan reaksi kimia dengan radikal yang dihasilkan pada antarmuka gelembung (Hussein et al., 2020)

F. Fotosonolisis

Metode fotosonolisis merupakan metode yang menggunakan suatu katalis yang berupa semikonduktor yang berfungsi untuk menghilangkan atau mendegradasi zat warna secara lebih cepat dan lebih efektif. Pada metoda ini akan menghasilkan zat warna yang lebih sederhana karena disebabkan oleh adanya

radikal hidroksil yang menyerang zat warna tersebut (Yasin & Sanjaya, 2020).

Fotosonolisis merupakan gabungan dari metode fotolisis dan sonolisis. Metoda ini merupakan metoda proses oksidasi lanjut AOPs (*Advanced Oxydation Process*), dimana sonolisis dan fotolisis merupakan bagian dari proses tersebut. Pada sonolisis menggunakan gelombang ultrasonik untuk mendegradasi zat warna sedangkan fotolisis menggunakan radiasi sinar UV dengan panjang gelombang 200nm-400nm (Ayare & Gogate, 2020). Pada proses sonolisis menghasilkan gelombang mekanik yang dipengaruhi oleh efek kavitasi pada air sedangkan fotolisis terjadi peristiwa interaksi radiasi sinar UV dengan molekul air (Safni et al., 2008). Kehadiran katalis heterogen berkontribusi pada peningkatan laju pembentukan gelembung kavitasi sehingga meningkatkan pirolisis molekul H_2O dan pembentukan $OH^\cdot$. Mekanisme fotosonolisis dapat dilihat pada gambar berikut:

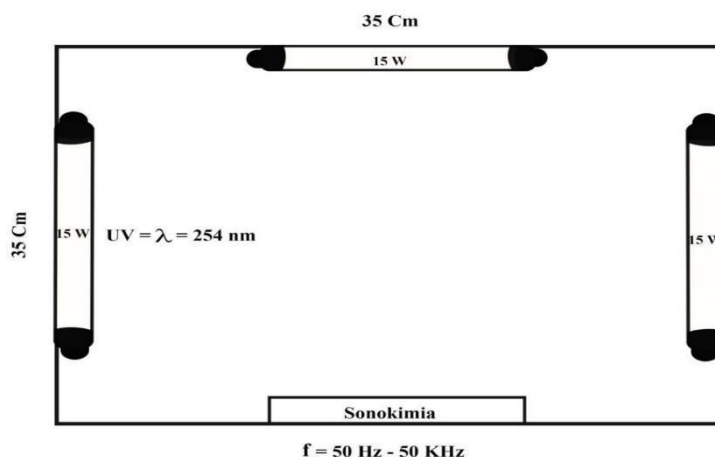


Gambar 5. Mekanisme fotosonolisis.

Studi awal tentang fotosonolisis dilaporkan pertama kali oleh (Madeline S. Toy, 1985). Mereka menggunakan sinar ultraviolet (UV) dan gelombang

ultrasonik (AS) untuk sintesis 1,2,4-tris(methylthio)-3-H-hexafluoro-n-butana dari metil disulfide dan heksaflorobutadiena. Fotosonolisis kemudian diterapkan dalam berbagai aplikasi sintetik tambahan dan juga untuk mendegradasi berbagai senyawa organik (Pedersen, 2004).

Skema alat dari fotosonolisis terdiri dari 3 buah lampu UV dengan panjang gelombang 254nm dan ultrasonik dengan frekuensi 45khz yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 6. Skema Alat Fotosonolisis

G. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri UV-VIS bekerja berdasarkan interaksi antara radiasi sinar elektromagnetik dengan molekul zat yang di analisis. Prinsip spektroskopi UV-Visible didasarkan pada penyerapan sinar ultraviolet (200-350 nm) dan sinar tampak (350-800 nm) oleh suatu senyawa yang menghasilkan spektra yang berbeda yang berdasarkan interaksi cahaya dan materi.

Spektroskopi penyerapan UV dapat digunakan untuk penentuan kuantitatif senyawa yang menyerap radiasi UV. Hal ini dilakukan dengan mengukur intensitas cahaya yang melewati sampel sehubungan dengan intensitas cahaya

melalui sampel referensi. Teknik ini dapat digunakan untuk beberapa jenis sampel termasuk cairan, padatan, film tipis dan kaca. Dalam kisaran seluruh radiasi, spektroskopi serapan UV-Vis menempati wilayah yang sangat sempit. Namun demikian kisaran ini sangat penting karena perbedaan energi sesuai dengan keadaan elektroik atom dan molekul (Moeur et al., 2006).

Fotokatalitik yang melibatkan ZnO terbatas pada panjang gelombang iridiasi di wilayah UV karena semikonduktor ZnO memiliki celah pita lebar yaitu sekitar 3,3 eV dan hanya dapat menyerap sinar UV dibawah 387 nm. Larutan yang di analisis akan diukur serapan sinar tampak dan sinar ultra violetnya dan konsentrasi larutan yang dianalisis akan sebanding dengan jumlah cahaya yang diserap oleh zat yang terkandung dalam larutan. Spektra penyerapan metil merah berada pada rentang panjang gelombang 520-550nm pada keadaan asam dan pada keadaan dasar pada rentang 425-460nm (Zhang et al., 2012). Spetrofotometri UV-Vis sangat kuantitatif dan jumlah sinar yang diserap oleh sampel dikemukakan dalam hukum *Lambert-Beer*. Hukum *Lambert* menyatakan bahwa proporsi berkas cahaya yang diserap oleh suatu bahan/medium tidak bergantung pada intensitas berkas cahaya yang datang. Hukum ini hanya berlaku jika tidak terjadi reaksi kimia ataupun proses fisis yang dapat dipengaruhi oleh berkas cahaya datang tersebut.

$$A = \epsilon b c$$

Keterangan:

A = Absorbansi

ϵ = Absorptivitas molar (dalam $L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)

c = Konsentrasi molar (mol L^{-1})

b = Panjang/ketebalan dari bahan/medium yang dilintasi oleh cahaya (cm)

(He et al., 2011).

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Proses degradasi metil merah dengan variasi waktu menggunakan metoda fotsonolisis dengan katalis ZnO didapatkan waktu optimum pada menit ke-60 dengan %D sebesar 75,27 %.
2. Massa optimum katalis pada degradasi metil merah secara fotsonolisis didapatkan pada 0,15 gram ZnO.

B. Saran

1. Mempelajari degradasi metil merah dengan metode fotsonolisis dengan katalis yang berbeda.
2. Mempelajari panjang gelombang dan katalis yang lebih cocok digunakan pada metoda fotsonolisis ini dalam mendegradasi zat warna.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashraf, S. S., Rauf, M. A., & Alhadrami, S. (2006). Degradation of Methyl Red using Fenton's reagent and the effect of various salts. *Dyes and Pigments*, 69(1–2), 74–78.
- Ayare, S. D., & Gogate, P. R. (2020). Chemical Engineering & Processing: Process Intensi fication Sonochemical , photocatalytic and sonophotocatalytic oxidation of fl onicamid pesticide solution using di ff erent catalysts. *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*, 154(April), 108040.
- Azmier, M., Adilah, N., Ahmed, B., Adesina, K., & Solomon, O. (2019). Sorption studies of methyl red dye removal using lemon grass (*Cymbopogon citratus*). *Chemical Data Collections*, 22, 100249.
- Badr, Y., Abd El-Wahed, M. G., & Mahmoud, M. A. (2008). Photocatalytic degradation of methyl red dye by silica nanoparticles. *Journal of Hazardous Materials*, 154(1–3), 245–253.
- Behnajady, M. A., Modirshahla, N., Daneshvar, N., & Rabbani, M. (2007). Photocatalytic degradation of C . I. Acid Red 27 by immobilized ZnO on glass plates in continuous-mode. 140, 257–263.
- Bejarano-pe, J., & Sua, M. F. (2007). Sonophotocatalytic degradation of congo red and methyl orange in the presence of TiO₂ as a catalyst. 14, 589–595.
- Bhernama1, B. G., & , Prof. Safni1, D. S. (2015). Degradasi Zat Warna Metanil Yellow Secara Fotolisis Dan Penyinaran Matahari Denganpenambahan Katalis TiO₂ -anatase dan SnO₂. 1(1), 49–62.
- Chakrabarti, S., & Dutta, B. K. (2004). Photocatalytic degradation of model textile dyes in wastewater using ZnO as semiconductor catalyst. *Journal of Hazardous Materials*, 112(3), 269–278.
- Comparelli, R., Cozzoli, P. D., Curri, M. L., Agostiano, A., Mascolo, G., & Lovecchio, G. (2004). Photocatalytic degradation of methyl-red by immobilised nanoparticles of TiO₂ and ZnO. *Water Science and Technology*, 49(4), 183–188.
- Comparelli, R., Fanizza, E., Curri, M. L., Cozzoli, P. D., Mascolo, G., & Agostiano, A. (2005). UV-induced photocatalytic degradation of azo dyes by organic-capped ZnO nanocrystals immobilized onto substrates. *Applied Catalysis B: Environmental*, 60(1–2), 1–11.
- Daghrir, R., Dimboukou-Mpira, A., Seyhi, B., & Drogui, P. (2014). Photosonochemical degradation of butyl-paraben: Optimization, toxicity and kinetic studies. *Science of the Total Environment*, 490, 223–234.
- Destailats, H., W. Alderson, T., & R. Hoffmann, M. (2001). Applications of Ultrasound in NAPL Remediation: Sonochemical Degradation of TCE in