

OPTIMASI PROSES DEGRADASI METIL VIOLET PADA REAKTOR FOTOKATALITIK FILM TiO_2 -PEG

SKRIPSI

*Diajukan Kepada Tim Penguji Skripsi Jurusan Kimia
Sebagai Salah Satu Persyaratan Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Sains*



Oleh :

**IKA SRI SULFIANA
00351/ 2008**

**PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2012**

PERSETUJUAN SKRIPSI

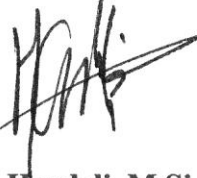
OPTIMASI PROSES DEGRADASI METIL VIOLET PADA REAKTOR FOTOKATALITIK FILM TiO₂-PEG

Nama : Ika Sri Sulfiana
NIM : 00351
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Juli 2012

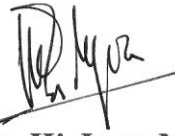
Disetujui oleh :

Pembimbing I



Dr. Hardeli, M.Si
NIP. 19640113 199103 1 001

Pembimbing II



Dra. Hj. Irma Mon, M.Si
NIP. 19480619 197302 2 001

PENGESAHAN

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

**Judul : Optimasi Proses Degradasi Metil Violet Pada
Reaktor Fotokatalitik Film TiO₂-PEG**

Nama : Ika Sri Sulfiana

NIM/BP : 00351/2008

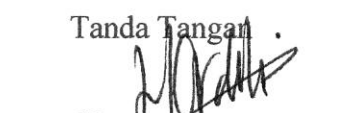
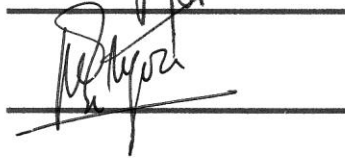
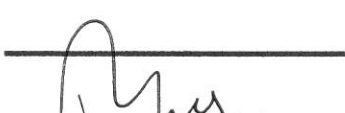
Program Studi : Kimia

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Juli 2012

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	: Dr. Hardeli, M.Si	
2. Sekretaris	: Dra. Hj. Irma Mon, M.Si	
3. Anggota	: Dr. Mawardi, M.Si	
4. Anggota	: Budhi Oktavia, M.Si, Ph.D	
5. Anggota	: Dra. Yustini Ma'aruf, M.Si	

اللهم إني أعوذ بك من علم لا ينفع ومن قلب لا يخشع ومن نفس لا تشبع ومن دعوة لا يستجاب لها

“Ya Allah, aku berlindung kepadaMu dari ilmu yang tidak bermanfaat, dari hati yang tidak khusyu’, dari nafsu yang tidak pernah kenyang, dan dari doa yang tidak dikabulkan.” (HR Muslim 4899)

Karya ini kupersembahkan

Untuk kedua orangtuaku ...
Pembimbingku dan pahlawanku

Untuk adik laki-lakiku ...
Lilin kecil dalam gelapku

Untuk seseorang di hatiku^{um} ...
Sang Hujan dalam kemarauku

“... Jam dinding persegi dengan latar berwarna hitam dan tepian berwarna keemasan yang kelihatan sangat kuno menggantung di ruang keluarga, tepat di atas televisi era 90-an. Seorang gadis kecil menggerutu. Diliriknya sejak tadi jarum jam yang berukuran paling pendek, nyaris tak bergeser. “Cuma satu jam,” janji ibunya tadi. Tapi si gadis ingin bermain, ia sedang tak ingin belajar alfabet. “Ayo, coba aja pelan-pelan,” suruh ibunya lagi. Si gadis tak jua bersuara. Teriakan dan tawa teman-temannya seolah memanggilnya dari luar rumah sore itu. Si gadis hanya bermain-main dengan sebuah benda logam yang tajam di bagian tepinya. Dikaitkannya lubang tengah benda itu di ujung jari telunjuknya. Sang Ibu yang tak lagi dapat menahan kesal menghempaskan benda itu hingga merobek ujung jari anaknya. Ia terkejut karena darah merembes dari luka itu. Sang ibu memeluk anaknya yang sedang menangis, mengobati lukanya dan meminta maaf. Si gadis mulai mengeja dengan tersedu-sedu, setiap hari, hingga ia tak lagi kesulitan merangkai kalimat ...”

Kehidupan itu lebih lemah dari kematian.

Dan cintalah yang memberi kekuatan untuk kehidupan.

Ucapan Terima Kasih :

Hormat dan terima kasih setulusnya buat orangtuaku, Pak Del dan Ibu Irma Mon atas arahan dan bimbingannya selama ini, atas kritik dan saran yang semakin mengokohkan daya juangku. Terima kasih banyak buat Pak Budi, Bu' Yus, dan Pak Mawardi ...

Terima kasih buat sahabatku Gusnilawati atas tawa lepasnya, atas kesediaan meluangkan waktu untuk berdebat dan berbagi ilmu. Buat teman terbaikku, Budi Syahri, terima kasih tak terkira atas keikhlasannya menemani perjuangan dan menjadi resolver terbaik dalam berbagai masalah yang kuhadapi. Buat Dekna Aswita, gratias ipsum (will never forget u, guys ...) ☺

Seterusnya terima kasih buat all crew Surat Kabar Kampus (SKK) Ganto atas ilmunya dan hari-hari bersama yang penuh canda, tawa dan tangis, terutama buat teman-teman angkatan XIV (Sani et al) dan Heri Faisal yang mengubahku menjadi seorang pemimpi (spasibo atas puluhan buku kerennya, Bi). Dan terima kasih khusus buat teman-teman BMX Freestyle yang telah bersedia diliput dalam 'feature' perdanaku. Great thank's buat T77 atas free internet access-nya all year dan buat entire panitia registrasi dan KRS online.

Terima kasih juga buat seluruh teman-teman jurusan Kimia UNP angkatan 2008 atas tahun-tahun bersama yang telah berlalu. Terima kasih spesial buat teman-teman tim reaktor (Riky, Fifi, Nopri, Yani & Ane), tim korosi (Indah & Nur), tim asap cair (Resi dkk), tim susu (Nadya & Tika), tim bebatuan (Phowe dkk), tim HPLC (Vivi & Aulya), buat Asih dan buat Da Bob. Arigatōgozaimashita ! At last, syukron buat Pak Hamid dan Bu' Das yang telah bersedia direpotkan. Buat teman-teman kos Patenggangan 11F (Nini, Chani, Yeni, Feby, Kak Era, Uchang & Nelfi). Keep fighting, Sisters !! U'll never know how great ur ability till u try, over & over again !! ☺

Sincerely,

Ika Sri Sulfiana

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, Juli 2012

Yang menyatakan,

Ika Sri Sulfiana

ABSTRAK

Judul : Optimasi Proses Degradasi Metil Violet Pada Reaktor Fotokatalitik Film TiO₂-PEG
Nama : **Ika Sri Sulfiana**
NIM : 00351

Metil violet merupakan zat warna golongan trifenilmetana yang secara meluas digunakan dalam industri tekstil, kertas, cat, tinta, kulit dan kosmetik. Pembuangan zat warna ini ke lingkungan perairan menjadi ancaman serius bagi organisme akuatik di dalamnya. Proses fotokatalitik dengan TiO₂ merupakan teknologi yang sangat potensial dalam mendegradasi total zat-zat berbahaya yang sulit dibiodegradasi. Penelitian ini bertujuan menentukan jumlah pelapisan dan lama penyinaran optimum reaktor fotokatalitik guna mendegradasi zat warna metil violet. Dalam penelitian ini digunakan TiO₂ Degussa P 25 dengan penambahan zat aditif PEG guna memperbaiki sifat-sifat katalis. Variabel disusun berdasarkan rancangan acak lengkap yang terdiri dari dua faktor; jumlah pelapisan dan lama penyinaran oleh cahaya matahari. Variasi jumlah pelapisan, yaitu 2x, 4x, 6x, 8x dan 10x, sedangkan lama penyinaran yaitu, 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 jam. Setelah dilakukan proses degradasi, absorbansi metil violet diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan produk degradasi yang terbentuk pada kondisi optimum diidentifikasi menggunakan GC-MS. Dari hasil penelitian didapatkan kondisi optimum reaktor fotokatalitik yaitu pada pelapisan 8x dengan tingkat pengisian 0,0548 mg/cm² dan lama penyinaran selama 5 jam. Pada kondisi ini diperoleh persentase degradasi sebesar 79,03% dengan laju alir yang digunakan sebesar 110 mL/detik dan konsentrasi awal larutan uji adalah 10 mg/L. Identifikasi dengan GC-MS menunjukkan banyak puncak yang saling tumpang tindih yang menandakan metil violet telah mengalami degradasi. Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa persentase degradasi meningkat sampai jumlah pelapisan tertentu dan kemudian menurun dengan bertambahnya jumlah pelapisan. Semakin lama waktu penyinaran didapatkan persentase degradasi semakin besar. Akan tetapi, setelah lama penyinaran tertentu persentase degradasi tidak berubah secara signifikan.

Kata Kunci : TiO₂, fotokatalitik, PEG, degradasi, metil violet, jumlah pelapisan, lama penyinaran.

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “***Optimasi Proses Degradasi Metil Violet Pada Reaktor Fotokatalitik Film TiO₂-PEG***”. Seluruh kegiatan ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak yang telah memberikan dorongan, bantuan moril serta bimbingan. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Hardeli, M.Si., selaku Pembimbing I.
2. Ibu Hj. Dra. Irma Mon, M.Si., selaku Pembimbing II.
3. Bapak Dr. Budhi Oktavia, M.Si., Bapak Dr. Mawardi, M.Si., dan Ibu Dra. Yustini Ma’aruf, M.Si., selaku Dosen Penguji.
4. Ibu Dra. Andromeda, M.Si., selaku Ketua Jurusan Kimia.
5. Bapak Dr. Budhi Oktavia, M.Si., selaku Ketua Program Studi Kimia.
6. Bapak Dr. Jon Efendi, M.Si., selaku Dosen Penasehat Akademik.
7. Staf Laboratorium GC-MS di Badan Laboratorium dan Kesehatan (BLK) Gunung Pangilun Padang.
8. Bapak/Ibu Staf Pengajar dan Laboran Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang.
9. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA UNP serta semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Dengan bantuan semua pihak skripsi ini akhirnya dapat diselesaikan, semoga segala bantuan, dorongan dan pengorbanan yang telah diberikan menjadi

amal ibadah dan dibalas oleh Allah SWT, Amin. Akhirnya penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun demi tercapainya kesempurnaan skripsi ini.

Padang, Juli 2012

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Rumusan Masalah	5
D. Batasan Masalah	5
E. Asumsi	5
F. Pertanyaan Penelitian.....	6
G. Tujuan Penelitian	6
H. Manfaat Penelitian	6
I. Definisi Konseptual	6

BAB II KERANGKA TEORITIS	8
A. Tinjauan Pustaka	8
B. Penelitian yang Relevan	24
C. Kerangka Operasional	24
BAB III METODE PENELITIAN	26
A. Jenis Penelitian	26
B. Waktu dan Tempat Penelitian	26
C. Objek Penelitian	26
D. Variabel dan Data	26
E. Desain Penelitian	27
F. Alat dan Bahan	28
G. Prosedur Penelitian	29
H. Teknik Analisis Data.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
A. Kondisi Operasi Reaksi Fotokatalisis	33
B. Pengukuran Absorbansi Metil Violet dengan Spektrofotometer	
UV-Vis	34
C. Pengaruh Lama Penyinaran	39
D. Pengaruh Jumlah Pelapisan.....	40
E. Kondisi Optimum	43
F. Identifikasi dengan GC-MS	45

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	50
A. Kesimpulan	50
B. Saran	51
DAFTAR PUSTAKA.....	52
LAMPIRAN	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Molekul Metil Violet	9
2. Skema Proses Fotoeksitasi yang Diikuti Peristiwa Deeksitasi	10
3. Energi Celah Pita Beberapa Semi Konduktor dalam Larutan Elektrolit pada pH = 1	12
4. Mekanisme Degradasi Metil Violet	17
5. Reaktor Fotokatalitik TiO ₂ -PEG di Bawah Iradiasi Matahari	19
6. Penampakan Bagian Dalam GC-MS	23
7. Bagan Kerangka Operasional	25
8. Kurva Standar Metil Violet	34
9. Grafik Hubungan Jumlah Pelapisan terhadap Persentase Degradasi Metil Violet pada Berbagai Variasi Lama Penyinaran	39
10. Grafik Hubungan Persentase Degradasi Metil Violet terhadap Lama Penyinaran pada Berbagai Variasi Jumlah Pelapisan	41
11. Grafik Hubungan Jumlah Pelapisan terhadap Persentase Degradasi pada Lama Penyinaran 5 Jam	43
12. Grafik Hubungan Jumlah Pelapisan TiO ₂ -PEG terhadap Tingkat Pengisian (mg/cm ²)	45
13. Kromatogram Metil Violet Sebelum Proses Degradasi	46
14. Spektrum Massa Senyawa dengan RT = 11,677 menit	47
15. Spektrum Massa Senyawa dengan RT = 13,316 menit	47
16. Kromatogram Metil Violet Setelah Proses Degradasi	48

17. Spektrum Massa Produk Degradasi dengan RT = 10,414 menit	47
18. Spektrum Massa Produk Degradasi dengan RT = 11,983 menit	47

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Desain Penelitian	28
2. Data Konsentrasi Sisa Metil Violet (mg/L) pada Variasi Jumlah Pelapisan terhadap Lama Penyinaran	36
3. Data Konsentrasi Metil Violet yang Terdegradasi (mg/L) pada Variasi Jumlah Pelapisan terhadap Lama Penyinaran	37
4. Data Persentase Degradasi Metil Violet pada Variasi Jumlah Pelapisan terhadap Lama Penyinaran	38
5. Hubungan Antara Jumlah Pelapisan dan Tingkat Pengisian	44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Diagram Alir Prosedur Kerja	56
2. Data Berat Lapisan Tipis TiO_2	57
3. Perhitungan Tingkat Pengisian	60
4. Data Pengukuran Absorbansi Larutan Standar Metil Violet	61
5. Pehitungan Pengenceran	62
6. Data Pengukuran Absorbansi Metil Violet pada Uji Blanko dan pada Variasi Pelapisan 2x, 4x, 6x, 8x, dan 10x	63
7. Data Analisis GC-MS Metil Violet Sebelum Proses Degradasi	69
8. Data Analisis GC-MS Metil Violet Setelah Proses Degradasi	71

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Limbah zat warna merupakan salah satu faktor utama penyebab pencemaran perairan. Keberadaannya mudah dikenali dari warnanya sehingga menimbulkan masalah estetika. Sebanyak 10-15% zat warna dibuang langsung ke perairan akibat ketidakefisienan pemakaian selama proses pewarnaan dalam industri (Abedin, 2008). Di antara beberapa golongan zat warna, kelompok trifenilmetana adalah yang paling banyak dimanfaatkan dalam berbagai macam aplikasi industri. Zat warna yang termasuk dalam kelompok trifenilmetana antara lain metil violet, etil violet, *basic fuchsin*, *victoria blue B*, dan *malachite green* (Azmi *et al.*, 1998).

Metil violet merupakan salah satu zat warna trifenilmetana yang digunakan secara intensif dalam industri tekstil, kertas, cat, tinta, plastik, kulit dan kosmetik. Dari sejumlah studi ditemukan bahwa metil violet bersifat toksik, mutagenik dan karsinogenik terhadap biota air. Selain itu, metil violet bersifat persisten dan sulit dibiodegradasi sehingga dapat berada di lingkungan dalam waktu lama (Azmi *et al.*, 1998).

Berbagai metode telah diupayakan untuk menghilangkan toksisitas polutan organik dalam perairan. Penanganan secara kimia dan fisika meliputi adsorpsi, pengendapan kimia, flokulasi, oksidasi dengan klorin, H_2O_2/O_3 , elektrolisis, reduksi dan ekstraksi pasangan ion. Akan tetapi, metode-metode tersebut tidak efektif disebabkan biayanya yang mahal, menimbulkan

masalah pembuangan akhir dan terbentuknya produk toksik (Azmi *et al.*, 1998). Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu teknik yang lebih efektif dan efisien guna mengatasi kendala-kendala tersebut.

Proses fotokatalitik heterogen merupakan metode yang sangat prospektif dalam mendegradasi zat warna sebelum dilepas ke lingkungan dengan aman. Pada proses ini molekul zat warna didegradasi secara bertahap sehingga tidak meninggalkan residu atau *sludge* (Ghanbarian *et al.*, 2011). Proses ini memerlukan penggunaan katalis dari bahan semikonduktor. Semikonduktor yang sangat cocok diterapkan adalah TiO_2 karena stabilitasnya yang tinggi, bersifat inert secara kimia dan biologi, tidak larut dalam air, dan tidak beracun (Linsebigler *et al.*, 1995).

Ghanbarian *et al* (2011) menjelaskan, pada proses fotokatalitik ketika semikonduktor TiO_2 menyerap sinar UV ($\leq 390 \text{ nm}$) yang berenergi sama atau lebih besar dari energi celah pita ($3,2 \text{ eV}$), maka terjadi fotoeksitasi elektron. Elektron (e^-) tereksitasi ke pita konduksi menghasilkan *hole* (h^+) pada pita valensi. *Hole* berinteraksi dengan air atau ion OH^- menghasilkan radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$). Radikal $\cdot\text{OH}$ kemudian menyerang molekul organik dan mendegradasinya menjadi produk akhir, CO_2 dan H_2O .

Aplikasi fotokatalis TiO_2 dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu sistem dispersi dan sistem imobilisasi. Kelemahan sistem dispersi yaitu muncul masalah dalam pemisahan antara katalis dengan senyawa yang telah didegradasi (Philippopoulos *et al.*, 2008). Oleh karena itu, dikembangkan sistem imobilisasi dimana katalis TiO_2 dibentuk menjadi lapisan tipis pada

suatu substrat. Reaktor fotokatalitik yang dikembangkan terdiri dari kolom gelas yang dilapisi TiO_2 di bagian dalamnya. Reaktor film ini memberikan keuntungan di antaranya tidak membutuhkan tempat yang luas, biaya pemakaian energi yang rendah, relatif cepat, serta tidak memerlukan pemakaian bahan kimia lain. Akan tetapi, sistem ini juga memiliki kelemahan, yaitu keterbatasan proses transfer massa.

Beberapa usaha dilakukan untuk meningkatkan efisiensi fotokatalis, antara lain sintesis nanokristal TiO_2 , penyisipan dopan, dan penambahan sensitizer (Gunlazuardi dkk., 2001). Untuk tujuan sintesis nanokristal, maka dalam penelitian ini dilakukan penambahan polietilen glikol (PEG). Dari hasil penelitian Chen dan Zhang (2008), penambahan PEG dalam jumlah yang tepat dapat menghalangi pembentukan agregat TiO_2 sehingga memperkecil ukuran partikel TiO_2 . Ukuran partikel TiO_2 yang kecil akan memperbesar luas permukaan spesifik katalis. PEG memiliki beberapa keuntungan, yaitu inert secara fisiologi, tidak terhidrolisis dan tidak mendukung pertumbuhan jamur (Sujono, 2003 dalam Astuti, 2008).

Guna mendapatkan reaktor dengan kinerja optimum, maka perlu ditentukan jumlah pelapisan dan lama penyinaran optimum. Berdasarkan penelitian Silvia (2011), jumlah pelapisan optimum degradasi fenol pada reaktor fotokatalitik TiO_2 diperoleh pada pelapisan 8x dengan tingkat pengisian sebesar $0,0578 \text{ mg/cm}^2$ dan persentase degradasi sebesar 93,64% pada menit ke-50. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan variasi

pelapisan 2x, 4x, 6x, 8x dan 10x untuk memperoleh tingkat pengisian optimum yang akan berhubungan dengan ketebalan lapisan.

Dari hasil penelitian Slamet dan Finaty (2006), tebal lapisan fotokatalis mempengaruhi kontak antara molekul dengan pusat aktif katalis. Aktivitas katalis meningkat pada ketebalan tertentu, kemudian menurun. Hal ini disebabkan daya tembus sinar UV terbatas untuk ketebalan tersebut. Sedangkan lama penyinaran berkaitan dengan banyaknya energi foton yang diadsorpsi katalis. Semakin lama penyinaran, radikal $\cdot\text{OH}$ yang terbentuk semakin banyak sehingga meningkatkan efektivitas proses degradasi.

Berdasarkan uraian di atas, maka dilakukan penelitian dengan tujuan mendapatkan jumlah pelapisan dan lama penyinaran optimum reaktor fotokatalitik untuk mendegradasi zat warna metil violet menggunakan fotokatalis TiO_2 -PEG yang diimobilisasi pada kolom gelas.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Metil violet merupakan jenis zat warna yang secara intensif digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan bersifat toksik.
2. Penghilangan toksisitas metil violet telah diupayakan melalui berbagai metode, akan tetapi metode-metode tersebut tidak efektif.
3. Fotokatalis film TiO_2 memiliki beberapa kelemahan yang menyebabkan keterbatasan efisiensi dalam mendegradasi zat warna.

4. Jumlah pelapisan, lama penyinaran, konsentrasi awal metil violet, pH dan laju alir mempengaruhi proses degradasi pada reaktor fotokatalitik.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah "Berapakah jumlah pelapisan dan lama penyinaran optimum proses degradasi zat warna metil violet pada reaktor fotokatalitik film TiO_2 -PEG?"

D. Batasan Masalah

Adapun yang menjadi batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Jenis TiO_2 yang digunakan yaitu TiO_2 Degussa P-25.
2. PEG yang digunakan adalah PEG dengan berat molekul 2000.
3. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jumlah pelapisan TiO_2 -PEG dan lama penyinaran.
4. Sumber sinar UV yang digunakan berasal dari cahaya matahari.

E. Asumsi

1. Jumlah pelapisan fotokatalis TiO_2 -PEG berpengaruh terhadap proses degradasi zat warna metil violet.
2. Lama penyinaran oleh cahaya matahari berpengaruh terhadap proses degradasi zat warna metil violet.

F. Pertanyaan Penelitian

1. Berapakah jumlah pelapisan optimum reaktor fotokatalitik TiO_2 -PEG dalam proses degradasi zat warna metil violet?
2. Berapakan lama penyinaran optimum reaktor fotokatalitik TiO_2 -PEG dalam proses degradasi zat warna metil violet?

G. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka penelitian ini bertujuan untuk memperoleh jumlah pelapisan dan lama penyinaran optimum pada reaktor fotokatalitik TiO_2 -PEG guna mendegradasi zat warna metil violet.

H. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan rujukan untuk penelitian lebih lanjut mengenai reaktor fotokatalitik sebagai salah satu alat alternatif yang prospektif dalam rangka menghilangkan atau mengurangi toksisitas zat warna metil violet dengan cara yang aman, efektif dan efisien sebelum dilepas ke lingkungan.

I. Definisi Konseptual

1. Metil violet : Senyawa organik yang digunakan sebagai zat warna ungu dalam industri tekstil, cat dan tinta serta sebagai indikator pH.
2. Fotokatalis : zat yang berperan sebagai katalis yang diaktifkan oleh energi foton.

3. Fotokatalitik : kombinasi dari proses fotokimia dan katalis yang terintegrasi untuk dapat melangsungkan suatu reaksi transformasi kimia (Slamet dkk., 2003; 28).
4. Fotodegradasi : Proses bertahap di mana senyawa organik diubah menjadi molekul yang lebih sederhana oleh katalis yang diaktivasi foton.
5. TiO_2 : Suatu bahan semikonduktor dengan kristal yang terdiri dari tiga fasa, anatase, rutil dan brookit.
6. Polietilen glikol (PEG) : Polimer kondensasi dari etilen oksida dengan rumus umum $\text{H}(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n\text{OH}$.

BAB II

KERANGKA TEORITIS

A. Tinjauan Pustaka

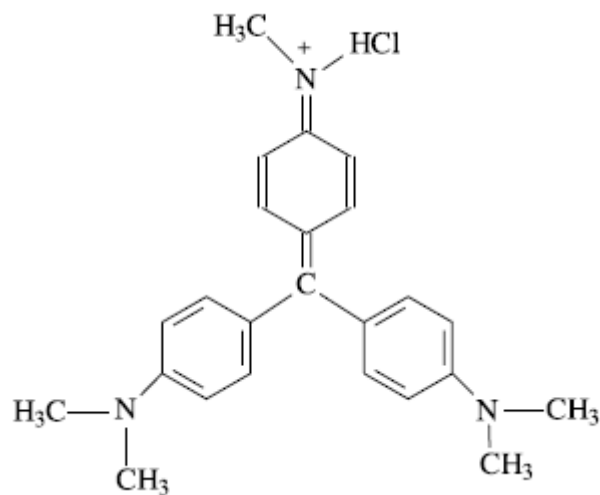
1. Metil Violet

Metil violet merupakan campuran senyawa organik pararosanilin tetrametil, pentametil dan heksametil yang ditemukan pada tahun 1861 dan diperkenalkan ke pasaran dalam tahun 1866. Kristal violet merupakan pararosanilin heksametil berwarna ungu dan disintesis secara efisien mulai tahun 1883 (Daria *et al.*, 2010). Struktur pentametil senyawa ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Warna metil violet berubah dari kuning ke hijau pada rentang pH 0,13-0,5 dan pada rentang pH 2,0-3,0 berubah dari hijau ke biru. Pada pH di atas 3 kelarutan metil violet tidak berubah secara khusus (Dai, 1994 dalam Mehmet dan Mahir, 2003). Metil Violet larut dalam air, etanol, dietilen glikol dan dipropilen glikol. Zat warna ini dapat berikatan dengan DNA sehingga dapat digunakan untuk uji viabilitas sel dalam biokimia. Ikatan antara metil violet dengan DNA menyebabkan kesalahan replikasi pada jaringan hidup sehingga mengakibatkan terjadinya mutasi dan kanker (<http://www.wikidoc.org>).

Metil violet dimanfaatkan secara meluas dalam berbagai aplikasi industri. Zat warna ini termasuk golongan trifenilmetana yang digunakan secara intensif untuk mewarnai nilon, nilon yang dimodifikasi poliakrilonitril, wol, sutera dan kapas. Beberapa diantaranya dimanfaatkan

untuk kegunaan medis dan biologis. Industri kertas dan kulit juga menggunakan mayoritas zat warna ini, termasuk industri makanan dan kosmetik. Metil violet bersifat persisten dan sulit dibiodegradasi. Berdasarkan studi yang dilakukan Black *et al* pada 1980, didapatkan bahwa anilin yang terdapat dalam senyawa bersifat mutagenik dan karsinogenik. Bahan kimia ini dapat memicu tumor pada beberapa spesies ikan yang hidup di dasar perairan (Azmi *et al.*, 1998).



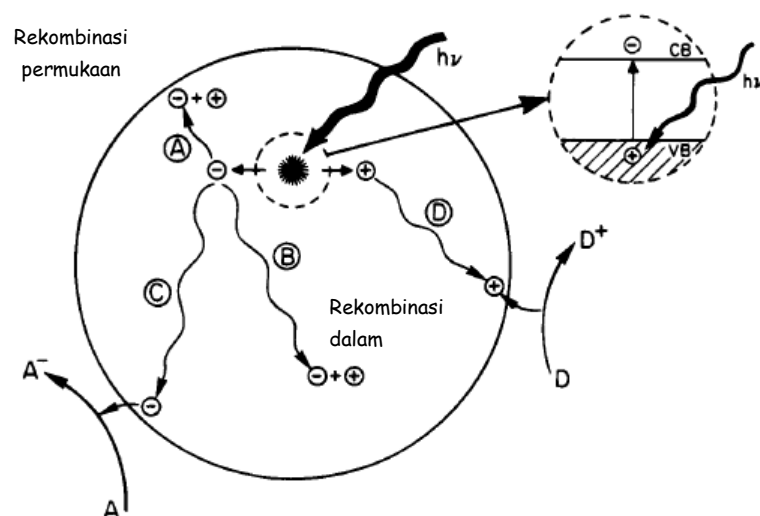
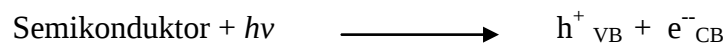
Gambar 1. Struktur molekul metil violet (Hosseinnia *et al.*, 2010)

2. Proses Fotokatalitik

Teknologi fotokatalitik merupakan kombinasi proses fotokimia dan katalisis (Slamet dkk., 2003). Fotokimia adalah suatu proses sintesis atau transformasi secara kimiawi dengan melibatkan cahaya sebagai pemicunya. Sedangkan katalis adalah substansi yang dapat mempercepat laju reaksi tanpa ikut bereaksi secara keseluruhan. Artinya, pada awal dan akhir reaksi, jumlah katalis sama. Katalis dapat mengadakan interaksi dengan minimal

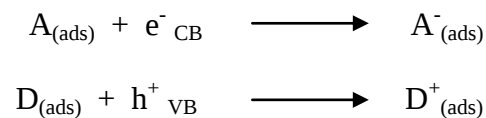
satu molekul reaktan menghasilkan senyawa antara yang lebih reaktif. Katalis dalam proses ini disebut fotokatalis karena kemampuannya menyerap energi foton.

Zat yang dapat berperan sebagai fotokatalis merupakan suatu bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor memiliki daerah energi kosong di antara pita valensi dan pita konduksi yang disebut celah pita (*bandgap*). Dalam daerah ini tidak tersedia tingkat-tingkat energi untuk mempromosikan rekombinasi elektron-hole. Proses fotokatalitik heterogen pada bahan semikonduktor diawali dengan fotoeksitasi sebagai akibat cahaya yang mengenai bahan semikonduktor. Cahaya ini berenergi sama atau lebih besar dari energi celah pita, sehingga dapat mentransfer elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Jadi, pada proses fotoeksitasi dihasilkan elektron pada pita konduksi dan *hole* pada pita valensi. Reaksinya adalah:

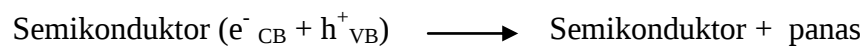


Gambar 2. Skema proses fotoeksitasi yang diikuti peristiwa deeksitasi (Linsebigler *et al.*, 1995).

Gambar 2 menunjukkan proses eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi yang diinisiasi oleh absorpsi cahaya. Pada jalur C, semikonduktor mendonasikan elektron ke spesi penerima elektron. Spesi ini harus memiliki potensial yang lebih positif daripada tingkat energi potensial pita konduksi semikonduktor. Pada jalur D, *hole* bergerak ke permukaan dan mengoksidasi spesies donor elektron. Spesi pendonor harus memiliki potensial yang lebih negatif daripada tingkat energi potensial pita valensi semikonduktor.



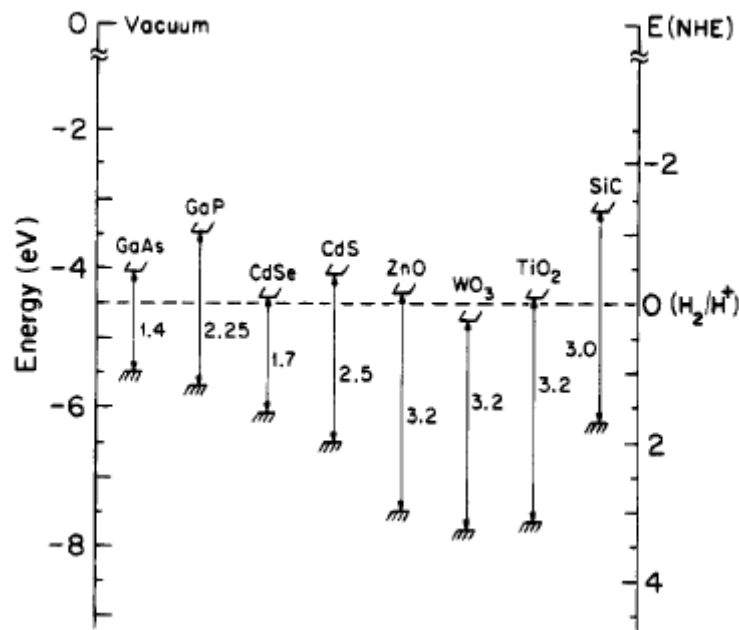
Pada jalur B dan A, masing-masingnya, terjadi rekombinasi elektron-*hole* di dalam dan di permukaan partikel semikonduktor disertai pelepasan panas. Rekombinasi elektron-*hole* dapat dituliskan dalam persamaan:



Rekombinasi elektron-*hole* menurunkan efisiensi fotokatalis. Modifikasi permukaan semikonduktor seperti penambahan logam, dopan, atau kombinasi dengan semikonduktor lain dapat menurunkan laju rekombinasi elektron-*hole* ini (Behnajady *et al.*, 2007).

Banyak semikonduktor logam oksida dan sulfida yang memiliki energi celah yang cukup untuk mengkatalisis reaksi kimia. Namun beberapa semikonduktor tersebut kurang cocok digunakan sebagai katalis karena sifatnya yang kurang menguntungkan. Semikonduktor logam sulfida

bersifat tidak stabil dan mudah mengalami korosi fotoanoda. Besi oksida memiliki energi celah yang terlalu besar dan dapat mengalami korosi fotoanoda. Seng oksida tidak stabil secara kimia karena mudah larut dalam air membentuk Zn(OH)_2 pada permukaan partikel. Semikonduktor TiO_2 merupakan katalis yang paling sesuai untuk proses fotokatalisis karena bersifat inert secara biologi, stabil terhadap fotokorosi dan korosi kimia dan relatif murah (Linsebigler *et al.*, 1995). Posisi energi celah pita beberapa semikonduktor dalam larutan pada pH = 1 dari beberapa semikonduktor dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Energi celah pita beberapa semikonduktor dalam larutan elektrolit pada pH = 1 (Linsebigler *et al.*, 1995).

3. Fotokatalis Titanium Dioksida (TiO₂)

a. Ciri-ciri TiO₂

TiO₂ merupakan kristal berwarna putih dengan indeks bias sangat tinggi dan titik lebur 1855 °C. Kristal ini bersifat asam, tidak larut dalam air, HCl, H₂SO₄ encer dan alkohol, tetapi larut dalam H₂SO₄ p.a dan HF. TiO₂ mempunyai tiga bentuk kristal yaitu anatase, rutil dan brookit. Dalam skala laboratorium, TiO₂ dapat dipreparasi dengan metode sol-gel, metode hidrotermal, konversi inert-gas, dan lain-lain. Kondisi dan cara preparasi menghasilkan produk TiO₂ dengan struktur, morfologi, ukuran partikel dan kontaminan yang berbeda-beda. TiO₂ Degussa P-25 merupakan jenis TiO₂ komersial dengan ukuran diameter partikel 21 nm, luas permukaan spesifik $50 \pm 15 \text{ m}^2/\text{g}$, dan distribusi kristal terdiri dari campuran 80% anatase dan 20% rutil (Ghanbarian *et al.*, 2011).

b. Fotokatalitik pada TiO₂

Salah satu faktor yang mempengaruhi aktivitas TiO₂ sebagai fotokatalis adalah bentuk kristalnya (Thahjanto & Gunlazuardi, 2001). Anatase merupakan tipe yang paling aktif karena memiliki energi celah pita sebesar 3,2 eV (lebih dekat ke sinar UV) dan λ_{maks} 388 nm, sedangkan rutil 3,0 eV (lebih dekat ke sinar tampak) dan λ_{maks} 413 nm. Perbedaan ini membuat letak pita konduksi (tingkat energi hasil hibridisasi yang berasal dari kulit 3d titanium) dari anatase lebih tinggi daripada rutil. Sedangkan pita valensi (tingkat energi hasil hibridisasi

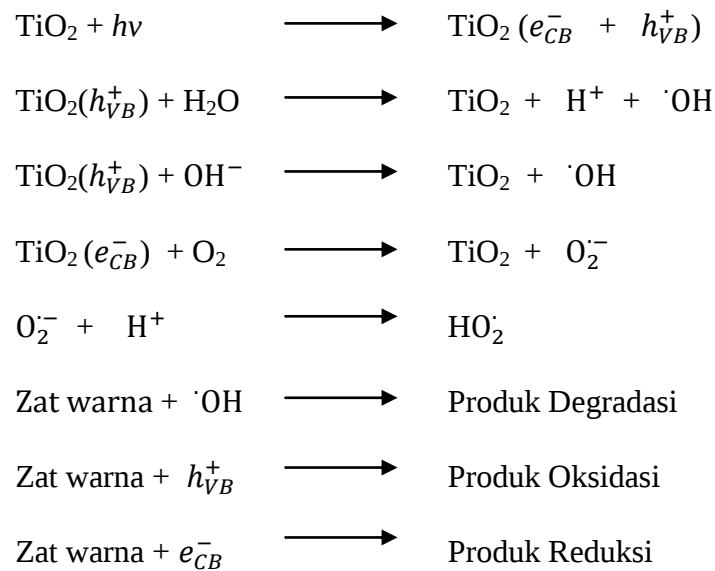
dari kulit 2p oksigen) anatase dan rutil sama. Anatase mampu mereduksi oksigen molekular menjadi superoksida serta mereduksi air menjadi hidrogen. Semakin kecil energi celah pita, semakin mudah pula fotokatalis menyerap foton dengan tingkat energi lebih kecil namun kemungkinan rekombinasi elektron-*hole* semakin besar (Linsebigler *et al.*, 1995).

Fotoeksitasi TiO_2 menghasilkan *hole* pada pita valensi yang bersifat oksidatif kuat ($E^0 = +2,7 \text{ V}$ terhadap elektroda standar hidrogen) pada $\text{pH} = 7$ dan elektron pada pita konduksi yang bersifat reduktif kuat ($E^0 = -0,5 \text{ V}$). *Hole* akan berinteraksi dengan air atau ion hidroksil menghasilkan radikal hidroksil. Radikal hidroksil ini merupakan spesi yang sangat reaktif yang menyerang molekul organik dan mendegradasinya menjadi komponen yang lebih sederhana (Linsebigler *et al.*, 1995; Behnajady *et al.*, 2007).

4. Proses Degradasi Zat Warna

Degradasi adalah suatu reaksi perubahan kimia atau penguraian suatu senyawa menjadi komponen yang lebih sederhana secara bertahap. Elektron yang dihasilkan pada pita konduksi dapat mereduksi zat warna atau bereaksi dengan elektron akseptor seperti O_2 yang teradsorpsi pada permukaan TiO_2 atau yang terlarut dalam air dan mereduksinya menjadi ion radikal anion superoksida O_2^- . *Hole* yang dihasilkan pada pita valensi dapat mengoksidasi molekul organik menjadi R^+ , atau bereaksi dengan OH^- atau H_2O dan

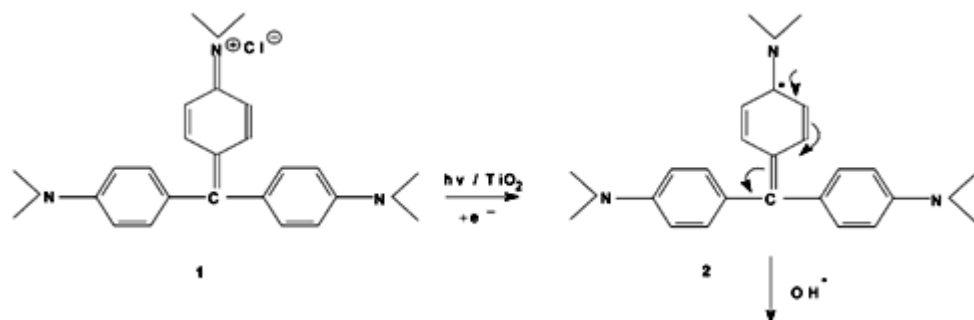
mengoksidasinya menjadi radikal $\cdot\text{OH}$. Secara umum, proses degradasi zat warna pada permukaan semikonduktor diberikan oleh persamaan berikut:

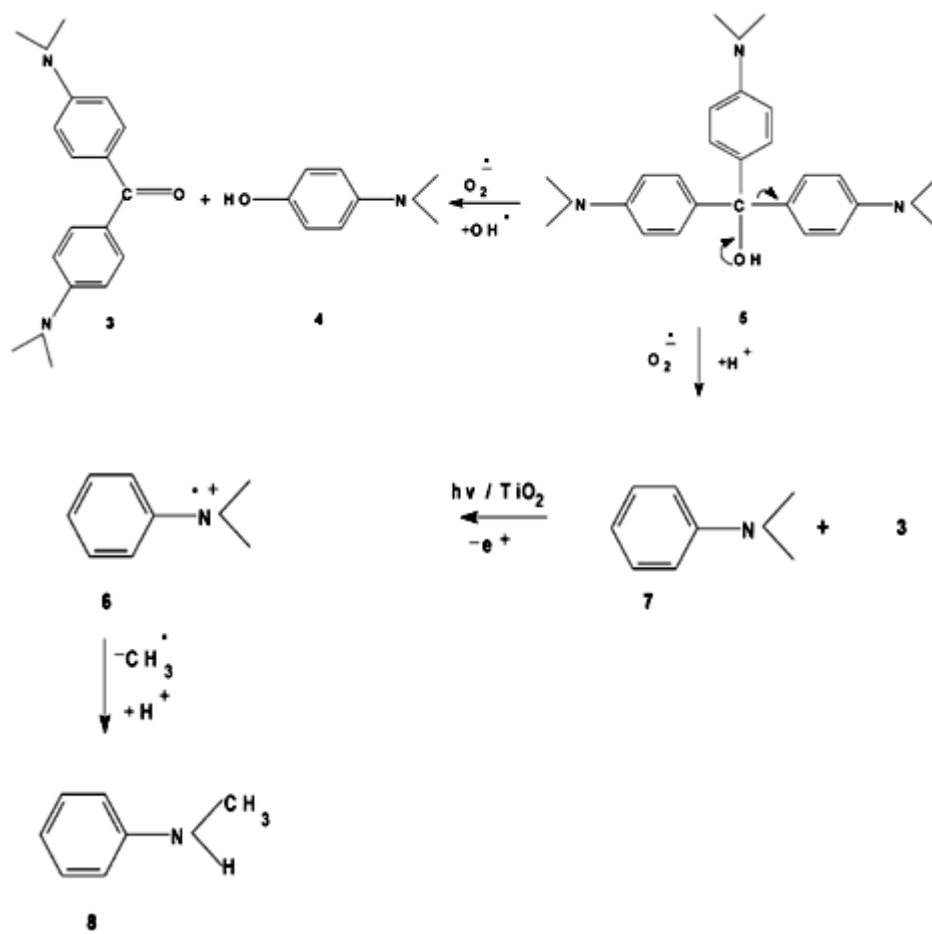


(Abo-Farha, 2010).

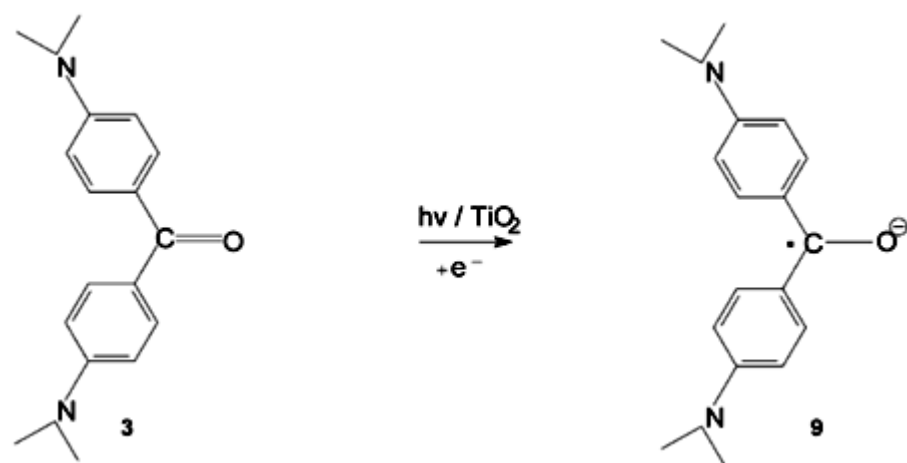
Berdasarkan penelitian Saquib dan Muneer (2003), produk yang terbentuk pada proses degradasi metil violet adalah asam *p*-aminobenzoat dan *N*-metilanilin. Mekanisme degradasi metil violet dapat dijelaskan sebagai berikut:

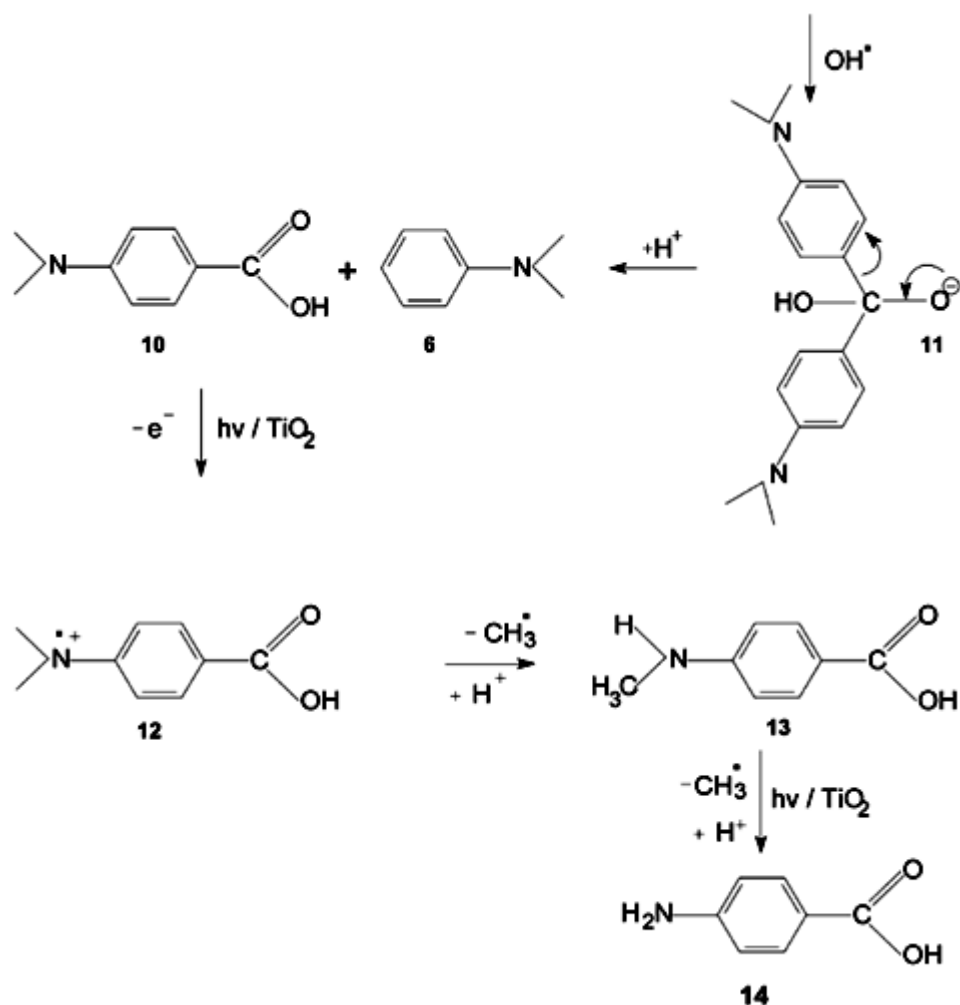
Skema 1





Skema 2





Gambar 4. Mekanisme Degradasi Metil Violet (Saqib & Muneer, 2003)

Senyawa pada model 1 membentuk spesi radikal 2 akibat transfer elektron, yang menjalani reaksi adisi radikal hidroksil membentuk 5 yang kemudian mengalami pembelahan baik oleh karena penyerangan radikal hidroksil membentuk 4 atau penyerangan proton membentuk 7 dan turunan benzofenon. Senyawa 7 pada transfer elektron selanjutnya membentuk radikal kation, yang kemudian secara bertahap mengalami demetilasi membentuk produk 8 (*N*-metilanilin) seperti ditunjuk pada skema 1. Turunan benzofenon, 3, setelah transfer elektron membentuk radikal anion

9, yang kemudian membentuk spesies anion 11, dan mengalami pembelahan membentuk anilin, 6, dan turunan asam benzoat, 10. Senyawa 10 membentuk radikal kation 12, yang secara bertahap kehilangan gugus metil membentuk produk 14 (asam *p*-aminobenzoat) seperti ditunjukkan pada skema 2.

5. Polietilen Glikol (PEG)

Band gap dari TiO₂ anatase ialah sebesar 3.2 eV dan hanya sinar UV yang dapat digunakan untuk proses fotokatalitik. UV hanya terdapat sekitar ~5% dari energi radiasi dari matahari, sementara sinar tampak terdapat sekitar 45% (Hosseinnia *et al.*, 2010). Ketidakmampuan mengabsorpsi sinar tampak membatasi efisiensi dari proses fotokatalitik. Oleh karena itu, berbagai cara dilakukan guna mengatasi keterbatasan tersebut. Cara-cara yang dapat dilakukan yaitu teknik modifikasi fotokatalis dan usaha untuk memperoleh luas permukaan aktif yang besar.

Salah satu zat yang dapat dipakai untuk membentuk dan sekaligus mengontrol ukuran dan struktur pori dari partikel adalah polietilen glikol (PEG). PEG merupakan polimer kondensasi dari etilen oksida dengan rumus umum H(OCH₂CH₂)_nOH. Dalam peran ini PEG dapat berfungsi sebagai *template* yang membungkus partikel sehingga tidak terbentuk agregat lebih lanjut. Caranya, PEG menempel pada permukaan partikel dan menutupi ion positif yang bersangkutan untuk bergabung dan membesar, sehingga pada akhirnya akan diperoleh partikel dengan bentuk bulatan yang seragam (Zhang *et al.*, 2005 dalam Perdana dkk., 2011). Penambahan PEG pada TiO₂

meningkatkan luas permukaan spesifik katalis, sehingga memperbanyak kontak antara elektron dan *hole* yang dihasilkan katalis dengan reaktan (Lam *et al.*, 2008).

6. Reaktor Fotokatalitik TiO₂-PEG

Reaktor fotokatalitik TiO₂-PEG merupakan tempat terjadinya proses degradasi zat berbahaya menjadi ramah lingkungan dengan bantuan energi foton. Reaktor ini terdiri dari sepuluh kolom gelas berdiameter-dalam 1,8 cm dan panjang 60 cm yang didalamnya terdapat lapisan tipis TiO₂-PEG. Kesepuluh kolom gelas ini disusun seri dengan selang karet sebagai penyambung dan dihubungkan secara sirkular dengan reservoir yang berisi larutan metil violet dan pompa sirkulasi. Oleh pompa, cairan sampel dari reservoir akan mengalir melewati kesepuluh kolom gelas dan kembali ke reservoir. Siklus terjadi selama selang waktu yang ditentukan. Reaktor fotokatalitik TiO₂-PEG dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Reaktor Fotokatalitik TiO₂-PEG di Bawah Iradiasi Matahari

7. Kondisi Optimum

Kondisi optimum merupakan suatu keadaan di mana reaktor dapat bekerja secara efektif dan efisien. Dalam sistem imobilisasi, kondisi optimum di antaranya dapat dicapai melalui variasi jumlah pelapisan dan lama penyinaran.

a. Jumlah Pelapisan

Berdasarkan penelitian Slamet dkk (2003), penurunan aktivitas katalis berkaitan dengan jumlah pelapisan dapat dijelaskan dari kemampuan daya tembus sinar UV yang terbatas untuk ketebalan film tertentu. Di samping itu adanya partikel halus TiO_2 yang terlepas dari penyangga (karena semakin tebalnya lapisan TiO_2) dan terlarut ke dalam cairan sampel juga dapat menimbulkan efek bayangan yang akan menghalangi iluminasi sinar UV ke permukaan katalis.

b. Lama Penyinaran

Lama penyinaran berkaitan dengan waktu kontak antara katalis dengan sampel. Semakin lama penyinaran, maka akan semakin banyak elektron-hole yang tergenerasi dan menghasilkan radikal hidroksil. Lama penyinaran yang tepat memberikan keefisienan proses degradasi dari segi waktu.

8. Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis adalah suatu teknik analisis spektroskopi yang menggunakan radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat (190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm) dengan memakai instrumen spektrofotometer. Spektrofotometer UV-Vis melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis, sehingga spektrofotometer UV-Vis lebih banyak dipakai untuk analisis kuantitatif dibandingkan kualitatif. Spektrofotometer digunakan untuk mengukur energi secara relatif jika energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan atau diemisikan sebagai fungsi panjang gelombang (Sibilia, 1988).

Semua molekul dapat mengadsorpsi radiasi dalam daerah UV-Vis karena mengandung elektron yang dapat dieksitasi ke tingkat energi lebih tinggi. Panjang gelombang di mana absorpsi terjadi, tergantung pada seberapa kuat elektron terikat dalam molekul. Kebanyakan penerapan spektrofotometri UV-Vis didasarkan pada transisi $n-\pi^*$ ataupun $\pi-\pi^*$ dan memerlukan hadirnya gugus kromoforat dalam molekul. Transisi ini terjadi dalam daerah spektrum 200 – 700 nm yang praktis digunakan dalam eksperimen (Underwood *et al.*, 2002).

Hukum absorpsi, yang dikenal dengan hukum Lambert-Beer, menyatakan besarnya absorpsi secara kuantitatif bergantung pada konsentrasi dari molekul pengabsorpsi dan panjang medium dimana absorpsi terjadi. Ketika cahaya melewati suatu medium yang mengandung molekul pengabsorpsi, penurunan intensitas cahaya terjadi saat molekul

tereksitasi. Transmittan (T) suatu larutan adalah intensitas cahaya yang diteruskan, seperti ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$T = I/I_0$$

dimana I adalah intensitas yang diteruskan dan I_0 adalah intensitas mula-mula.

Absorbansi (A) suatu larutan berhubungan dengan transmittan dalam persamaan logaritma seperti ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$A = -\log T = \log \frac{I_0}{I}$$

Perhatikan bahwa absorbansi berbanding terbalik dengan transmittan. Sesuai dengan hukum Beer, absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi spesi c yang mengabsorpsi radiasi dan panjang medium b :

$$A = \log (I_0/I) = abc$$

dimana a adalah konstanta absorptivitas. Jika konsentrasi dalam mol L^{-1} dan b dalam cm, maka a disebut absorptivitas molar dan disimbolkan dengan ε :

$$A = \varepsilon bc$$

di mana ε mempunyai satuan $\text{L mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$ (Sibilia, 1998).

9. *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*

Kromatografi gas adalah istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan teknik pemisahan analitik untuk menganalisa substansi volatil dalam fasa gas. Dalam kromatografi, sampel dilarutkan dalam pelarut dan diuapkan untuk memisahkan molekul analit dengan cara mendistribusikan sampel di antara 2 fasa, yaitu fasa diam dan fasa gerak. Fasa gerak adalah gas inert yang membawa molekul analit melewati kolom.

Fasa gerak biasanya berupa gas helium atau gas nitrogen. Fasa diam dapat berupa adsorban padat (kromatografi gas-padat) atau berupa cairan pada *support* inert (dinamakan kromatografi gas-cair).

GC-MS merupakan metode yang mengombinasikan kromatografi gas-cair dengan spektrometri massa untuk mengidentifikasi substansi dalam suatu sampel. Gas kromatograf dilengkapi kolom kapiler yang panjang, diameter dan ketebalan filmnya tergantung pada sifat-sifat fasanya. Perbedaan sifat-sifat kimia molekul dalam campuran akan memisahkan molekul saat sampel melewati kolom. Molekul akan tertahan dalam kolom dan kemudian terelusi pada waktu yang berbeda (disebut waktu retensi). Spektrometer massa akan menangkap, mengionkan, mempercepat, membelokkan dan mendeteksi molekul ion secara terpisah dengan cara memecah molekul menjadi fragmen ion dan mendeteksi fragmen-fragmen ini sesuai rasio massa terhadap muatannya (<http://en.wikipedia.org>).



Gambar 6. Penampakan Bagian Dalam GC-MS dengan Kolom di dalam Oven Pada Bagian Kanan Gambar (<http://en.wikipedia.org>)

B. Penelitian yang Relevan

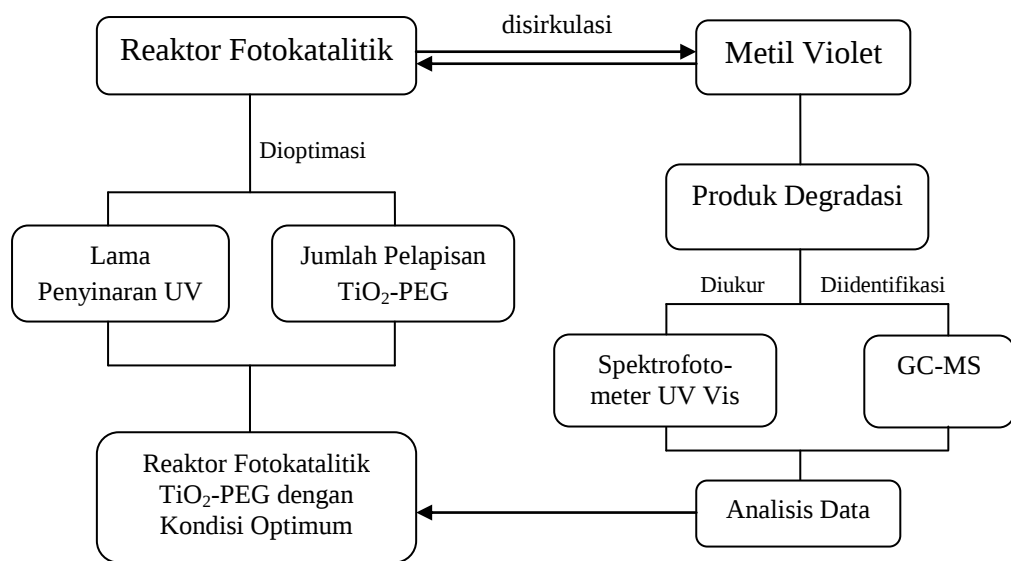
Hosseinnia *et al* (2010), telah melakukan studi degradasi fotokatalitik menggunakan TiO_2 yang disintesis dengan metode presipitasi untuk mendegradasi enam macam zat warna dengan gugus kromofor berbeda, salah satunya adalah metil violet. Dalam penelitian Hosseinnia *et al* (2010), proses degradasi dilangsungkan pada reaktor sistem dispersi. Metil violet terdegradasi total setelah 75 menit diiradiasi cahaya matahari dengan penambahan 2 mg TiO_2 dalam larutan 2 mM/L metil violet. Sedangkan dalam penelitian ini penulis menggunakan reaktor dengan sistem imobilisasi serta dilakukan penambahan PEG guna meningkatkan performa fotokatalis TiO_2 .

Berdasarkan hasil penelitian Tristantini dkk (2011), penambahan PEG sebanyak 15% berat TiO_2 memperkecil ukuran kristal dari 5,5 – 9,1 μm menjadi 1,7 – 7,1 μm dan memperbesar diameter pori dari 71,5 Å menjadi 81,1 Å. Akibatnya, luas permukaan spesifik dari fotokatalis bertambah dan meningkatkan efektivitas proses degradasi. Penelitian Tristantini dkk (2011), bertujuan menghasilkan material *self-cleaning*, sedangkan penelitian ini bertujuan untuk mendegradasi senyawa metil violet.

C. Kerangka Operasional

Metil violet merupakan zat warna yang digunakan secara meluas sebagai bahan pewarna dalam berbagai industri. Zat warna ini bersifat toksik dan mutagenik bagi organisme apabila bercampur dalam rantai makanan. Degradasi metil violet dilangsungkan dengan menggunakan reaktor fotokatalitik TiO_2 -PEG. Reaktor ini terdiri dari susunan seri 10 kolom gelas

berlapis TiO_2 -PEG di bagian dalamnya yang dihubungkan dengan pompa sirkulasi dan reservoir. Kondisi optimum reaktor ditentukan melalui variasi jumlah pelapisan dan lama penyinaran. Absorbansi metil violet hasil degradasi diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis sedangkan produk yang terbentuk setelah proses degradasi dianalisa dengan GC-MS.



Gambar 7. Bagan Kerangka Operasional

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan:

1. Jumlah pelapisan berpengaruh terhadap proses degradasi metil violet. Jumlah pelapisan yang terlalu sedikit atau terlalu banyak menyebabkan proses degradasi tidak berlangsung efektif. Jumlah pelapisan optimum yang diperoleh yaitu pada pelapisan 8x dengan tingkat pengisian 0,0548 mg/cm².
2. Semakin lama penyinaran maka hasil degradasi semakin baik. Akan tetapi, setelah mencapai waktu tertentu hasil degradasi cenderung konstan. Lama penyinaran optimum yang diperoleh yaitu 5 jam.
3. Reaktor fotokatalitik TiO₂-PEG dengan jumlah pelapisan 8x dan lama penyinaran 5 jam menghasilkan persentasi degradasi metil violet sebesar 79,03%.
4. Dari hasil identifikasi menggunakan GC-MS diperoleh banyak puncak yang mengonfirmasikan bahwa telah terjadi degradasi pada molekul metil violet.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan disarankan agar dilakukan uji toksisitas atau uji instrumentasi yang lebih lengkap untuk mengetahui produk yang terbentuk setelah proses degradasi, apakah produk tersebut masih bersifat toksik atau telah aman, sehingga dapat dipertimbangkan untuk aplikasi dalam industri. Selain itu, disarankan juga memodifikasi kolom gelas sedemikian rupa agar dapat mengatasi keterbatasan proses transfer massa antara katalis dengan larutan uji sehingga akan dibutuhkan waktu yang lebih efisien dalam proses fotokatalisis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdollahi, Y., Abdullah, A.H., Zainal, Z., Yusof, N.A., 2011, *Photodegradation of m-cresol by Zinc Oxide under Visible-light Irradiation*. International Journal of Chemistry, Vol.3, No.3, pp 31-43.
- Abedin, R.M.A., 2008. *Decolorization and Biodegradation of Crystal Violet and Malachite Green by Fusarium solani (Martius) Saccardo*. "A Comparative Study on Biosorption of Dyes by the Dead Fungal Biomass." American-Eurasian Journal of Botany, Vol.1, No.2, pp 17-31.
- Abo, Farha S.A., 2010. *Photocatalytic Degradation of Monoazo and Diazo Dyes in Wastewater on Nanometer-Sized TiO₂*. Journal of American Science, 6(11), pp 130-142.
- Anonim_ (1). http://www.wikidoc.org/index.php/Methyl_violet diakses tanggal 20 Januari 2012.
- Anonim_ (2). http://en.wikipedia.org/wiki/Gas_chromatography-mass_spectrometry diakses tanggal 24 Mei 2012.
- Astuti, F., 2008. "Pengaruh Kombinasi Basis Polietilen Glikol 1000 dan Polietilen 6000 Terhadap Sifat Fisika dan Pelepasan Asam Mefenamat Pada Sediaan Supositoria." *Skripsi*, Universitas Muhammadiyah, Surakarta, Indonesia, 2008.
- Azmi, W., Rajesh, K.S., Banerjee, U.C., 1998. *Biodegradation of Triphenylmethane Dyes*. Enzyme and Microbial Technology Elsevier Science, Vol.22, pp 185-191.
- Behnajady, M.A., Modirshahla, N., Shokri, M., Rad, B., 2007. *Enhancement of Photocatalytic Activity of TiO₂ Nanoparticles by Silver Doping: Photodeposition Versus Liquid Impregnation Methods*. Global NEST Journal, Vol.10, No. 1, pp 1-7.
- Chen, R.F., dan Zhang, C.X., 2008, *Preparation and Photocatalytic Activity of TiO₂ Films on Silica Glass Substrate by Assembly Technique*. Journal of the Chinese Chemical Society, Vol.55, No.5, pp 1055-1061.