

**DEGRADASI ZAT WARNA *RHODAMIN B* MENGGUNAKAN KATALIS
TiO₂ DENGAN METODE FOTOSONOLISIS**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains



Oleh :
WENTI AULIA
18036026/2018

PROGRAM STUDI KIMIA
DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2022

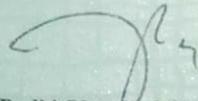
PERSETUJUAN SKRIPSI

DEGRADASI ZAT WARNA *RHODAMIN B* MENGGUNAKAN KATALIS
 TIO_2 DENGAN METODE FOTOSONOLISIS

Nama : Wenti Aulia
NIM : 18036026
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 23 Agustus 2022

Mengetahui:
Kepala Departemen Kimia



Budhi Oktavia, S.Si, M.Si, Ph.D
NIP. 19721024 199803 1 001

Disetujui oleh:
Pembimbing



Hary Sanjaya, S.Si, M.Si
NIP. 19830428 200912 1 007

PENGESAHAN UJIAN SKRIPSI

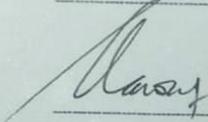
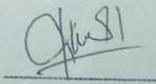
Nama : Wenti Aulia
NIM : 18036026
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**DEGRADASI ZAT WARNA *RHODAMIN B* MENGGUNAKAN
KATALIS TIO_2 DENGAN METODE FOTOSONOLISIS**

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 23 Agustus 2022

Tim Penguji

	Nama	Tanda tangan
Ketua	: Hary Sanjaya, M.Si	
Anggota	: Dr. Mawardi, M.Si	
Anggota	: Trisna Kumala Sari, M.Si.,Ph.D	

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Wenti Aulia
NIM : 18036026
Tempat/Tanggal lahir : Abai Siat / 10 November 2000
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : **Degradasi Zat Warna Rhodamin B Menggunakan Katalis TiO_2 Dengan 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, 23 Agustus 2022
Yang menyatakan


Wenti Aulia
NIM. 18036026

Degradasi Zat Warna *Rhodamin B* Menggunakan Katalis TiO₂ Dengan Metode Fotosonolisis

Wenti Aulia

ABSTRAK :

Penelitian tentang degradasi zat warna *rhodamin B* dilakukan dengan katalis TiO₂ secara fotosonolisis. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan waktu dan massa optimal katalis TiO₂ yang digunakan untuk mendegradasi *rhodamin B*. Persentase degradasi *rhodamin B* diperoleh dari nilai absorbansi yang diukur dengan alat Spektroskopi UV-Vis. Panjang gelombang maksimum *rhodamin B* yang diperoleh dari spektroskopi UV-Vis adalah 553,8 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu optimal untuk mendegradasi *rhodamin B* adalah 210 menit dengan persen degradasi 95,39%. Sedangkan pada pengaruh penambahan massa katalis TiO₂, massa TiO₂ yang optimal adalah 0,05 gram dengan persentase degradasi 93,44%.

Kata Kunci : Degradasi, Fotosonolisis, *Rhodamin B*, Katalis TiO₂

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “ **Degradasi Zat Warna Rhodamin B menggunakan Katalis TiO₂ dengan Metode Fotosonolisis** “.

Skripsi ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi persyaratan kelulusan dalam rangka memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Dalam menyempurnakan skripsi ini penulis telah melibatkan banyak pihak yang telah memberikan saran, sumbangan pemikiran, dan masukan yang bermanfaat. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Hary Sanjaya, M.Si selaku Pembimbing dan Penasehat Akademik yang telah memberikan bimbingan serta pengarahan selama penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Mawardi, M.Si dan Ibu Trisna Kumala Sari, M.Si, Ph.D selaku Dosen penguji yang telah memberikan arahan dan masukan hingga selesainya skripsi ini.
3. Bapak Budhi Oktavia, M.Si, Ph.D selaku Kepala Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

4. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan dan do'a dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Sahabat dan teman dekat yang telah memberikan masukan dan semangat hingga selesainya skripsi ini.
6. Teman-teman kimia satu angkatan yang banyak membantu dalam membuat skripsi ini.

Untuk kesempurnaan skripsi ini penulis mengharapkan masukan dan saran yang membangun dari berbagai pihak. Atas masukan dan saran yang diberikan penulis mengucapkan terima kasih.

Padang, Agustus 2022

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	VI
DAFTAR ISI.....	VIII
DAFTAR GAMBAR.....	X
DAFTAR LAMPIRAN.....	XI
DAFTAR TABEL.....	XII
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	4
C. Batasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah.....	4
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Zat warna <i>Rhodamin B</i>	6
B. Titanium Dioksida (TiO ₂).....	9
C. Fotokatalis.....	12
D. Fotolisis.....	16
E. Sonolisis.....	17
F. Fotosonolisis	20
G. Spektrofotometer Uv-Vis.....	21
H. Spektrofotometer FTIR (<i>Fourier Transform Infrared</i>).....	24
BAB III METODE PENELITIAN	26
A. Waktu dan Tempat.....	26
B. Objek Penelitian.....	26
C. Variabel Penelitian.....	26
D. Alat dan Bahan.....	27
1. Alat.....	27
2. Bahan	27

E. Prosedur Penelitian	27
1. Pembuatan Larutan Zat Warna <i>Rhodamin B</i>	27
2. Penentuan Panjang Gelombang (λ) Maksimum dengan Spektrofotometer	28
3. Degradasi <i>Rhodamin B</i> dengan Metode Fotosonolisis.....	28
4. Karakterisasi sampel dengan FT-IR.....	29
5. Teknik Analisa Data	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
A. Degradasi <i>Rhodamin B</i> Secara Fotosonolisis.....	30
1. Degradasi <i>Rhodamin B</i> variasi waktu radiasi menggunakan metode fotosonolisis dengan bantuan katalis TiO_2	31
2. Degradasi <i>Rhodamin B</i> variasi massa katalis TiO_2 menggunakan metode Fotosonolisis	34
B. Karakterisasi <i>Rhodamin B</i> Sebelum Dan Setelah Degradasi Menggunakan FTIR....	36
BAB V PENUTUP	39
1. Kesimpulan	39
2. Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN.....	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Serbuk <i>rhodamin B</i>	6
Gambar 2. 2. Struktur kimia senyawa <i>rhodamin B</i>	7
Gambar 2.3 Proses Fotodegradasi <i>rhodamin B</i>	9
Gambar 2. 4. Kristal TiO ₂	10
Gambar 2.5. Struktur kristal Rutile (A), Anatase (B), dan Brookite (C).....	11
Gambar 2.6 Skema Fotoeksitasi Yang Diikuti Oleh Deeksitasi Pada Permukaan Semikonduktor	14
Gambar 2.7. Skema alat fotosonolisis.....	21
Gambar 2. 8. Skema alat spektrofotometer UV-Vis	22
Gambar 2.9. Skema alat spektrometer FTIR.....	25
Gambar 4. 1 Panjang Gelombang Maksimum <i>Rhodamin B</i>	30
Gambar 4.2 Kurva Variasi Waktu <i>Rhodamin B</i> Dengan Katalis Tio ₂ Secara Fotosonolisis	32
Gambar 4.3 Kurva Variasi Massa <i>Rhodamin B</i> Dengan Katalis Tio ₂ Secara Fotosonolisis	35
Gambar 4. 4 Spektrum IR (A) <i>Rhodamin B</i> Sebelum Degradasi Dan (B) <i>Rhodamin B</i> Setelah Degradasi.....	36

DAFTAR LAMPIRAN

lampiran 1. Pembuatan larutan zat warna <i>rhodamin B</i>	45
lampiran 2. Degradasi larutan <i>rhodamin B</i> dengan variasi waktu secara fotosonolisis	46
Lampiran 3. Degradasi larutan <i>Rhodamin B</i> dengan variasi massa secara fotosonolisis	47
Lampiran 4. skema penelitian	48
lampiran 5. Gambar Alat Fotosonolisis	49
Lampiran 6. Hasil Pengujian Panjang Gelombang Maksimum Zat Warna Rhodamin B Konsentrasi 10 Ppm Menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis	50
Lampiran 7. Data Absorbansi Rhodamin B Setelah Degradasi Variasi Waktu Radiasi Dengan Katalis TiO_2 Secara Fotosonolisis Menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis	51
Lampiran 8. Perhitungan % Degradasi <i>Rhodamin B</i> Variasi Waktu Dengan Katalis TiO_2 Secara Fotosonolisis	52
Lampiran 9. Hasil Degradasi Zat Warna <i>Rhodamin B</i> Variasi Waktu Radiasi Secara Fotosonolisis	56
Lampiran 10. Data Absorbansi <i>Rhodamin B</i> Setelah Didegradasi Variasi	57
Lampiran 11. Perhitungan % Degradasi Zat Warna <i>Rhodamin B</i> Variasi Massa Katalis TiO_2 Dengan Waktu Optimum Secara Fotosonolisis	57
Lampiran 12. Hasil Degradasi Zat Warna <i>Rhodamin B</i> Variasi Massa Dengan Waktu Optimum Secara Fotosonolisis	57
Lampiran 13. Spektra Ftir <i>Rhodamin B</i> Sebelum Degradasi	57
lampiran 14. Spektra FTIR <i>rhodamin B</i> setelah degradasi	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan Sifat TiO_2 <i>Rutile</i> , <i>Anatase</i> , <i>Dan Brookite</i>	11
Tabel 2. 2 Radiasi Cahaya Tampak Dan Warna Komplementer	23
Tabel 4.1 Hasil pengujian gugus fungsi pada rhodamin B sebelum dan setelah degradasi menggunakan spektroskopi FTIR	37

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri tekstil yang ada di Indonesia semakin berkembang pesat akibatnya, produksi limbah cair zat warna organik tekstil juga terus bertambah. Kebanyakan limbah tekstil dibuang tanpa melalui proses pengolahan dan penyaringan sebelum dibuang, hal ini mempunyai peran yang cukup besar dalam permasalahan pencemaran bagi air dan lingkungan. (Suwarsa, 1998). Limbah yang dihasilkan oleh industri merupakan senyawa yang sukar terurai yang dapat menimbulkan masalah bagi air, lingkungan dan berbahaya bagi manusia (Fernandez, 2011). Limbah dari zat warna tekstil memiliki struktur aromatik yang sukar terdegradasi. Struktur aromatik pewarna memiliki kemampuan untuk menahan pengaruh lingkungan, seperti pH, suhu, dan pengaruh mikroba (Trevino dkk, 2014)

Salah satu pewarna tekstil yang digunakan secara luas dalam industri yaitu *rhodamin B*. Industri tekstil dan kertas biasanya menggunakan *rhodamin B* didalam proses pencelupan dan pewarnaan tekstil, sebagian besar zat warna akan terbuang menjadi limbah. Keberadaan *rhodamin B* dalam lingkungan dapat merusak keindahan lingkungan sehingga dibutuhkan upaya

pengolahan limbah sebelum dibuang ke sistem perairan atau pembuangan akhir (Arief, 2007).

Harga yang murah dan dapat menghasilkan warna yang menarik serta praktis saat digunakan merupakan alasan industri menggunakan *rhodamin B*. Pemanfaatan *rhodamin B* dalam industri menyebabkan limbah cair banyak dijumpai sehingga dampak yang ditimbulkan oleh limbah ini yaitu menurunkan kualitas air dan juga bahaya bagi kesehatan manusia karena bisa menimbulkan penyakit seperti kanker, kerusakan pada ginjal serta gangguan fungsi hati (Departement of labor Occupational Safety and Health Administration).

Banyak metode dan teknologi konvensional yang saat ini digunakan dalam penghilangan limbah berwarna dalam air. Industri bersifat klasik dan tidak mengarah pada penghancuran total pewarna yang tinggi dapat kita lakukan untuk menanggulangi limbah zat warna tekstil atau buatan. Oleh karena itu, perlu dikembangkan suatu metode pengolahan baru yang lebih efektif dalam menghilangkan zat warna dari air limbah. Proses oksidasi lanjutan (AOP) adalah teknik alternatif untuk menghancurkan pewarna dalam air industri dan proses ini relatif baru. Mereka dikembangkan untuk memenuhi permintaan yang meningkat dari pengolahan air limbah yang efektif, antara lain yang pertama metode fisika seperti adsorpsi, pengendapan osmosis terbalik, yang kedua metode kimia seperti ozonasi, klorinasi, dan fotolisis. Berdasarkan metode tersebut, metode fotolisis merupakan

termasuk salah satu metode Advance Oxidation Processes (AOPs) yaitu dengan menggabungkan antara salah satu metode fotolisis dan metode sonolisis dengan penambahan katalis dalam proses fotosonolisisnya (Sanjaya, 2018).

Metoda yang menggunakan suatu katalis berupa semikonduktor yang berfungsi menghilangkan atau mendegradasi secara cepat, efektif dan efisien disebut juga sebagai metoda fotosonolisis. Metoda ini dapat menghasilkan bentuk radikal hidroksil yang menyerang zat warna menjadi senyawa yang mudah di degradasi menjadi lebih sederhana (Safni, 2008).

Fotolisis menghasilkan interaksi antara molekul air dengan radiasi sinar ultraviolet, sementara sonolisis menghasilkan gelombang mekanik yang berpengaruh pada efek kavitasi. Penggunaan katalis semikonduktor bisa mendegradasi air limbah lebih cepat (Salehi, 2012).

Katalis semikonduktor yang umum digunakan yaitu titanium dioksida (TiO_2). TiO_2 merupakan semikonduktor yang paling efektif dalam proses fotokatalis (Joshi dan Shirivastva, 2010). Keunggulan TiO_2 (titanium dioksida) yaitu memiliki *band gap* (celah pita) 3,2 eV, tidak beracun, harga relatif murah, mudah ditemukan di alam, mempunyai stabilitas yang tinggi pada pH besar serta bisa mendekomposisikan polutan beracun yang sukar terurai (Andhari dan Wardhani, 2014).

B. Identifikasi Masalah

Dari penjabaran diatas dapat di identifikasi beberapa masalah, yaitu :

1. *Rhodamin B* merupakan jenis pewarna sintetik yang digunakan oleh industri tekstil yang mengandung limbah berbahaya dan dapat merusak lingkungan serta gangguan terhadap tubuh manusia.
2. Salah satu faktor yang mempengaruhi proses degradasi *rhodamin B* adalah penambahan katalis dengan menggunakan metode fotosonolisis.

C. Batasan Masalah

Batasan masalah yang terdapat pada penelitian ini diantaranya :

1. Pendegradasian *rhodamin B* dilakukan dengan metode fotosonolisis. Fotosonolisis merupakan gabungan dari metode fotolisis dan metode sonolisis.
2. Variasi waktu radiasi pada proses degradasi *rhodamin B* yang digunakan yaitu 30, 60 ,90, 120 dan 150 menit.
3. Massa katalis TiO_2 yang divariasikan adalah 0,05; 0,1 ; 0,15; 0,2 dan 0,25 gram.

D. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu radiasi yang digunakan terhadap degradasi zat warna *rhodamin B* ?
2. Bagaimana pengaruh variasi massa katalis TiO_2 terhadap degradasi zat warna *rhodamin B* ?

E. Tujuan Penelitian

1. Mendegradasi limbah zat warna *rhodamin B* menggunakan metode fotosonolisis.
2. Menentukan waktu optimum dari proses degradasi zat warna *rhodamin B* menggunakan metode fotosonolisis dengan bantuan katalis TiO_2 .
3. Menentukan pengaruh penambahan massa katalis TiO_2 terhadap degradasi zat warna *rhodamin B* menggunakan metode fotosonolisis.

F. Manfaat Penelitian

Berdasarkan hasil dari penelitian ini penulis berharap bisa menambah wawasan baru dalam Ilmu Pengetahuan terutama dalam bidang fotokatalis yang mengembangkan metode fotosonolisis guna mendegradasi *rhodamin B* dengan cara yang efisien dan efektif serta dijadikan sebagai referensi untuk penelitian berikutnya agar pendegradasian ini dapat digunakan dalam industri skala besar.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Zat warna *Rhodamin B*

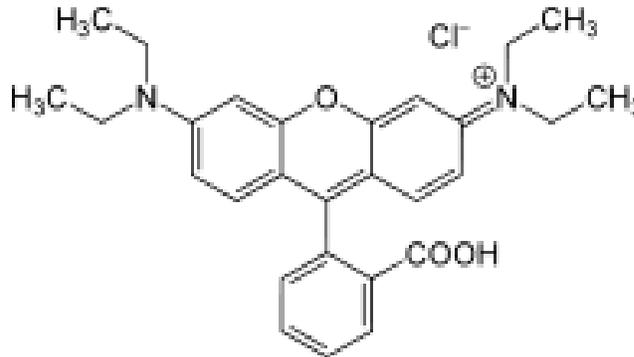
Zat warna dapat digolongkan berdasarkan struktur kimianya antara lain: zat warna azo, zat warna quinolin, zat warna xanten, dan zat warna trifenilmetana (Hardeli, et al.,2014). *Rhodamin B* merupakan salah satu pewarna xanten yang umum digunakan karena murah dan mudah didapat. Selain itu penggunaan *rhodamin B* sangat diperlukan dalam industri besar seperti industri tekstil, industri kertas guna menghasilkan warna kertas yang menarik (Melysa dan Syarif, 2016).



Gambar 2.1. Serbuk *Rhodamin B*

Rhodamin B ($C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$) atau nama kimianya N-[9-(carboxyphenyl)-6-diethylamino-3-H-xanten-3ylidene]-N-ethylamonium clorida memiliki berat molekul 479,02 g/mol merupakan pewarna sintetik yang terbuat dari *dipanel alanin dan metanlinilat*. *Rhodamin B* dalam bentuk

kristal (serbuk) memiliki warna kehijauan, sedangkan dalam wujud larutan jika dalam konsentrasi tinggi akan menjadi warna merah keunguan serta warna merah terang saat konsentrasi rendah (Barka, 2008).



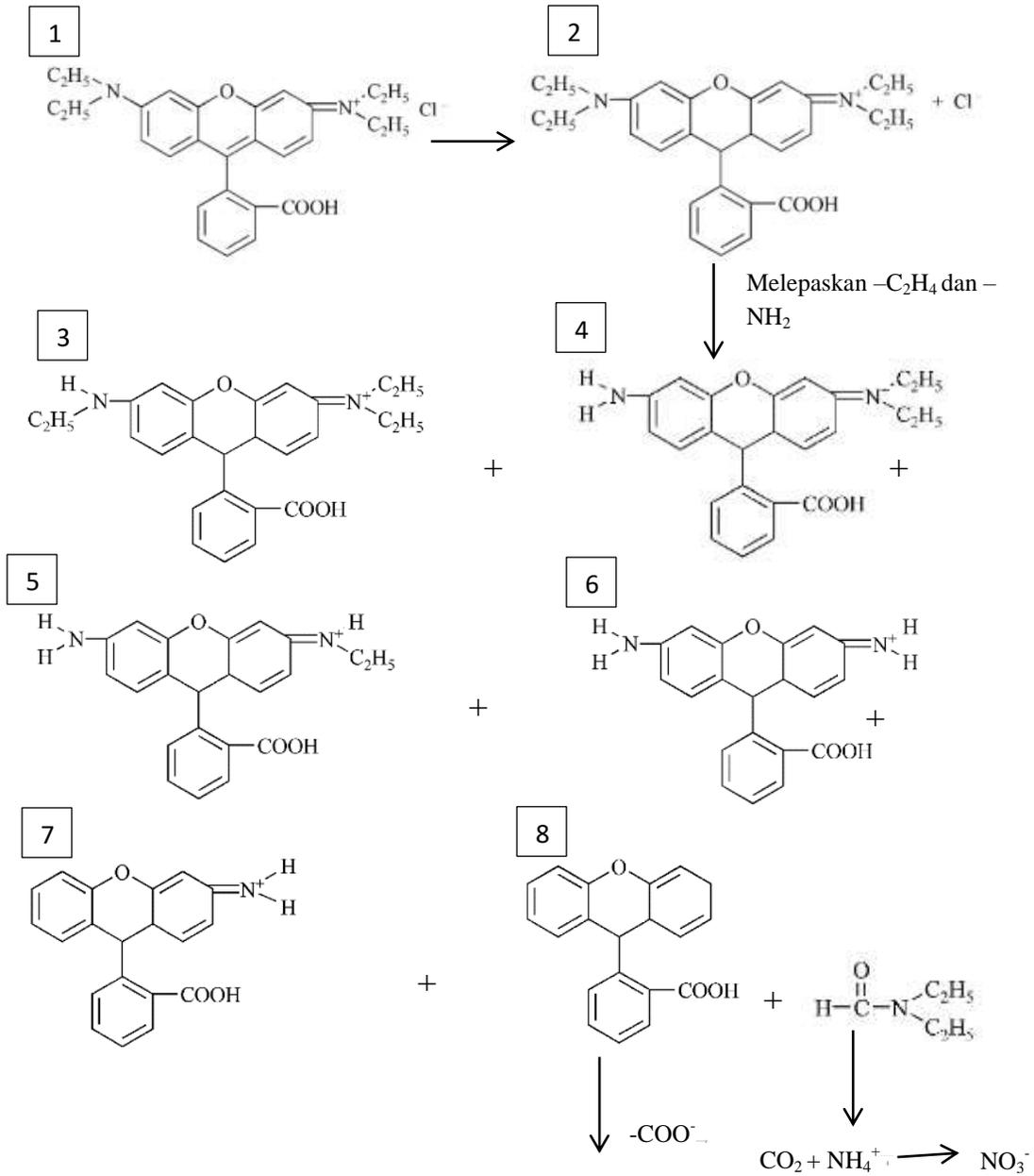
Gambar 2. 2. Struktur kimia senyawa *rhodamin B*

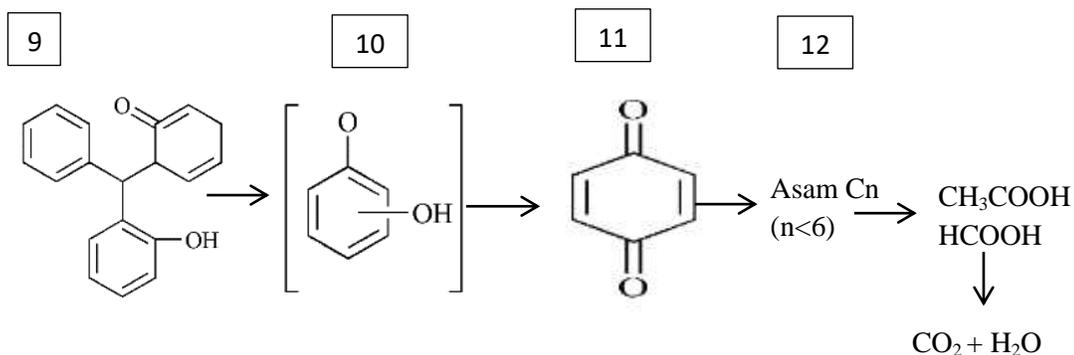
Rhodamin B termasuk senyawa atau molekul yang memberikan warna akibat adanya gugus kromofor. Kuantitas warna yang ditimbulkan *rhodamin B* sangat tajam, hal ini disebabkan oleh adanya dua gugus auksokrom, dimana gugus auksokrom tersebut adalah dimetil amin.

Rhodamin B termasuk senyawa yang berbahaya karena dapat mengakibatkan iritasi jika terkena kulit dan mata. Senyawa *rhodamin B* termasuk senyawa yang radikal. Senyawa radikal merupakan senyawa yang memiliki struktur tidak stabil. *Rhodamin B* mengandung senyawa halogen (klorin) yang sifatnya mempunyai reaktivitas tinggi dan mudah bereaksi. Oleh karena itu senyawa radikal tersebut akan berusaha mencapai kestabilan dalam tubuh dengan cara berikatan dengan senyawa – senyawa lain yang akan

menyebabkan kanker pada manusia (*Departement of Labor Occupational safety and Health Administration, US*).

Menurut Yang dkk (2003), aktivitas fotokatalis TiO_2 salah satunya dapat dipelajari melalui degradasi zat warna *rhodamin B*. *Rhodamin B* mengalami fotodegradasi dengan reaksi berikut:





Gambar 2.3 Proses Fotodegradasi Rhodamin B

Menurut (Yang dkk, 2013), terjadinya proses degradasi dari *rhodamin B* diawali dengan reaksi antara *rhodamin B* dengan $\bullet\text{OH}$ dari fotokatalis TiO_2 , kemudian *rhodamin B* mengalami degradasi oksidatif berdasarkan gambar 2.5 dengan langkah-langkah berikut: (a) de-etilasi *rhodamin B* mengakibatkan terbentuknya senyawa 3 sampai 6; (b) deaminasi senyawa 6 mengakibatkan terbentuknya senyawa 7 dan 8; (c) dekarboksilasi senyawa 8 mengakibatkan terbentuknya senyawa 9; (d) pembelahan cincin kromofor mengakibatkan terbentuknya senyawa 11 dan 12; (e) pembelahan cincin aromatik yang menghasilkan asam seperti asam format dari pembelahan ikatan N-C, kemudian NO_3^- dari proses oksidasi lanjut NH_4^+ oleh $\bullet\text{OH}$ (Yang dkk, 2013)

B. Titanium Dioksida (TiO_2)

Titanium dioksida (TiO_2) mempunyai wujud padat serbuk putih, berat molekul 79,90 g/mol titik leleh sebesar 18.70 °C memiliki massa jenis 4,23 g/cc, TiO_2 tidak larut dalam asam klorida, asam nitrat namun larut dalam asam sulfat pekat serta sifat yang sukar larut dalam air dan amfoter. Titanium dioksida digunakan sebagai katalis guna mendekomposisikan senyawa – senyawa organik bersifat toksik misalnya zat warna (Gunlazuardi, 2002).

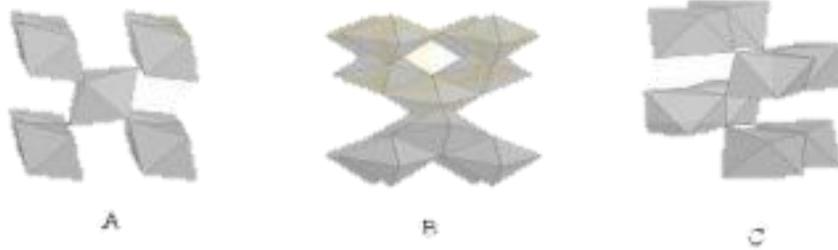


Gambar 2. 4. Kristal TiO₂

Limbah organik zat warna dapat diubah menjadi senyawa yang tidak berbahaya dengan cara pengolahan alternatif yang memanfaatkan TiO₂ sebagai katalisnya. Titanium dioksida merupakan suatu bahan semikonduktor dengan aktivitas fotokatalis yang cukup tinggi, tidak berbahaya dan stabil secara kimia (Riyani et al., 2012). Titanium dioksida (TiO₂) mempunyai energi *gap* sebesar 3,2 eV yang bisa aktif dibawah sinar radiasi UV (Kavitha & Palanisamy,2010).

Wujud kristal TiO₂ mempunyai 3 fase, yaitu anatase, rutile, dan brookite. Rutile adalah bentuk yang paling stabil, karena kristal ini dalam bentuk yang murni mudah didapatkan. Struktur kristal anatase merupakan struktur kristal yang sangat reaktif jika terkena sinar. Struktur ini bisa terbentuk karena adanya pemanasan dengan rentang suhu 400 C- 600 C. jika pemanasan dilanjutkan hingga suhu 700 C maka akan terjadi perubahan struktur menjadi rutile, untuk struktur brookite kristal ini sangat sulit diamati karena sulitnya dilakukan pemurnian pada kristal (Silviyanti, 2012). Struktur anatase TiO₂ lebih fotoaktif dibandingkan struktur rutile dikarenakan struktur

anatase memiliki luas permukaan yang lebih besar daripada rutile oleh sebab itu anatase memiliki sisi aktif yang lebih besar. Struktur anatase mempunyai nilai band gap yaitu 3,2 eV (Chan et al., 2011) dan rutile sebesar 3,0 eV.



Gambar 2.5. Struktur kristal Rutile (A), Anatase (B), dan Brookite (C)

Tabel 2. 1 Perbedaan Sifat TiO_2 Rutile, Anatase, Dan Brookite (University Of Colorado)

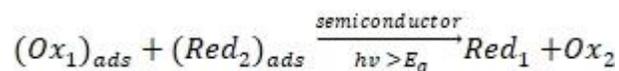
Sifat	<i>Rutile</i>	<i>Anatase</i>	<i>Brookite</i>
Bentuk kristal	tetragonal	tetragonal	ortogonal
a(Å)	4,58	3,78	9,18
b(Å)	-	-	5,45
c(Å)	2,95	9,5	5,14
Berat jenis	4,27	3,89	4,12
Volume molar	18,69	20,16	19,38
Kekerasan	6,0-7,0	5,5-6,0	6,0-6,5
Titik didih	1855°C	Berubah menjadi rutile pada suhu 915°C	Berubah menjadi rutile pada suhu 750°C

Pada bidang industri senyawa TiO₂ banyak digunakan sebagai pigmen, adsorben, dan bahan semikonduktor. Senyawa ini memiliki beberapa keunggulan antara lain tidak beracun, stabil, tidak korosif, dan ramah lingkungan (Wijaya et al., 2005).

C. Fotokatalis

Metoda AOPs (*Advanced Oxidation Processes*) merupakan metoda yang menggunakan katalis untuk menghasilkan radikal hidroksil yang memiliki efektivitas tinggi dalam proses oksidasi senyawa organik. Mekanisme AOP dapat diklasifikasikan sebagai fotokatalisis homogen atau heterogen. Fotokatalis homogen menggunakan oksidator seperti ozon (O₃) dan hidrogen peroksida (H₂O₂). Sebaliknya, katalis heterogen menggunakan semikonduktor sebagai fotokatalis. Semikonduktor yang umum digunakan seperti kadmium sulfida (CdS), seng oksida (ZnO), dan titanium dioksida (TiO₂) (Otmir- Kirk, 1994). Fotokatalis menghasilkan produk berupa pengolahan limbah yang tidak berbahaya bagi lingkungan yakni CO₂ dan H₂O. sumber cahaya pada proses fotokatalis ini berupa sinar matahari dan lampu ultraviolet (UV). Katalis yang digunakan umumnya adalah bahan semikonduktor karena mampu menyerap foton (Linsebigler et al., 1995).

Secara umum reaksi fotokatalis yaitu:



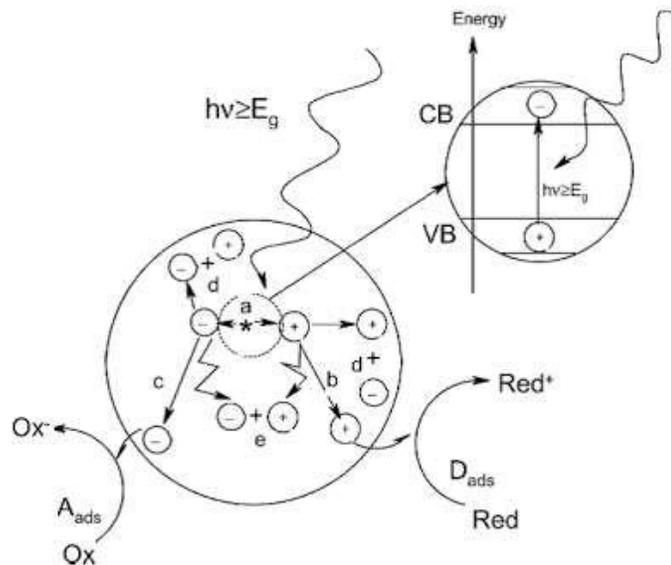
Metoda degradasi secara fotokatalitik memiliki kelebihan diantaranya terdekomposisinya kontaminan organik secara keseluruhan dan cepat, berkurangnya sifat beracun (toksik) dari logam berat, sumber sinar bisa berasal dari matahari serta bersifat *soft* artinya bisa dilakukan dalam tekanan dan temperatur rendah (Ming-Chun dan Chiu-Ping, 2007)

Fotokatalis biasanya diartikan sebagai proses perubahan kimia dengan bantuan cahaya dan katalis. Fotokatalis saat bereaksi melibatkan pasangan *electron-hole* (e^- dan h^+). Fotokatalis memanfaatkan cahaya (foton) guna mengaktifkan katalis lalu bereaksi dengan senyawa kimia yang berada di permukaan katalis dan senyawa kimia lain yang berada disekitar katalis. Material katalis dapat digunakan dalam proses penjernihan air dari dari pencemaran limbah organik dan juga limbah atau polutan anorganik menjadi senyawa yang tidak berbahaya bagi lingkungan maupun kesehatan manusia (Sutanto & Wibowo, 2015). Fotokatalis selama prosesnya akan mengubah energi cahaya menjadi energi kimia serta menghasilkan hiidroksil yang radikal. Hidroksil radikal ini akan bereaksi redoks dengan polutan(senyawa organik), sehingga air akan jernih kembali disebabkan oleh terpisahnya dari limbah cair (Suahya et al., 2016).

Limbah yang dihasilkan dari fase fotokatalis tidak berbahaya dan untuk penggunaan bahan kimia jauh lebih hemat serta menghemat energi merupakan kelebihan dari proses fotokatalis. Kemampuan fotokatalis yang bertindak sebagai reduktor dan oksidator menjadikan fotokatalis sangat

berpotensi dalam mengolah limbah senyawa organik maupun non organik serta efektif dan efisien dalam proses fotokatalis (Naimah et al., 2014).

Secara umum, fenomena fotokatalitik pada permukaan semikonduktor dapat dipahami dengan penjelasan seperti ditunjukkan oleh gambar 2.6 Jika suatu semikonduktor tipe n dikenai cahaya ($h\nu$) dengan energi yang sesuai, mengakibatkan elektron (e^-) pada pita valensi akan pindah ke pita konduksi, dan meninggalkan lubang positif (*hole*, disingkat sebagai h^+) pada pita valensi. Sebagian besar pasangan e^- dan h^+ akan mengalami rekombinasi, baik dipermukaan atau di dalam *bulk* partikel. Sebagian pasangan e^- dan h^+ dapat bertahan sampai pada permukaan semikonduktor. h^+ dapat menginisiasi reaksi oksidasi dan dilain pihak e^- akan menginisiasi reaksi reduksi zat kimia yang ada disekitar permukaan semikonduktor.



Gambar 2.6 Skema fotoeksitasi yang diikuti oleh deeksitasi pada permukaan semikonduktor (Mills Dan Hunte,1997).

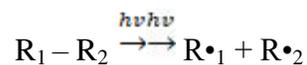
Mekanisme fotodegradasi senyawa organik dengan adanya radiasi $h\nu$ melalui reaksi redoks dapat dilihat pada persamaan berikut (Chin & Law,2018).



D. Fotolisis

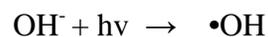
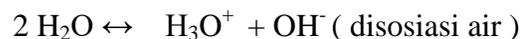
Fotolisis ialah proses pemecahan suatu senyawa atau zat dengan adanya cahaya yang membantu proses degradasi tersebut. Ketika suatu material fotolisis disinari cahaya, maka material tersebut menyerap energi foton menyebabkan terjadinya reaksi kimia serta kompleks logam dan katalis. Penyerapan sinar UV oleh partikel fotokatalis membentuk 2 pasang electron dan *hole*. Fotolisis merupakan metode penting dalam mendegradasi polutan organik yang ada pada air limbah serta diterapkan pada pengolahan air limbah tersebut (Li, H.,2020)

Reaksi fotolisis langsung (*direct photolysis*) yang terlibat dapat dituliskan secara skematis sebagai berikut:



Hasil akhir dari reaksi-reaksi fotolisis yaitu sebuah produk berupa ion ataupun radikal yang dapat dipakai lebih jauh untuk reaksi-reaksi penyisihan (degradasi) pencemar atau polutan dalam media yang dimaksudkan yakni fasa gas atau fasa cair.

Mekanisme reaksi fotolisis (Joseph,2015) dapat dituliskan sebagai berikut :



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 memiliki prinsip yang hampir sama dengan fotolisis yaitu merupakan metode yang digunakan untuk mendegradasi zat warna dalam bentuk media air yang menggunakan getaran ultrasonik. Dalam proses sonolisis ini akan dihasilkan radikal hidroksil dan efek kavitasi. Gelombang ultrasonik dalam limbah air memiliki kemampuan mendegradasi senyawa yang sukar terurai karena prosesnya akan menghasilkan radikal hidroksil dan efek kavitasi (Stock, 2001).

Efek kavitasi terjadi karena akustik yang diberikan adalah energi mekanik yang tidak diserap oleh molekul. Proses kavitasi tersebut dari pembentukan, pertumbuhan dan mengembang mengempisnya gelembung pada larutan (Hiskia, 2001).

Sonolisis adalah sebuah metode yang digunakan untuk mendegradasi suatu senyawa organik dalam media air dengan memanfaatkan gelombang

ultrasonik. Metoda ini menggunakan iradiasi ultrasonik pada frekuensi 20-500 kHz (Destailats et al., 2001).

Pada kondisi suhu dan tekanan pada permukaan dalam gelembung akan menjadi sangat tinggi, sehingga mampu memecah molekul air menjadi radikal hidrogen dan radikal hidroksil yang dihasilkan melalui fenomena kavitasi. Reaksi antara radikal OH dan molekul polutan dapat terjadi di dalam gelembung (*pyrolysis*) atau antarmuka gelembung-cair atau di *bulk* tergantung pada sifat dari polutan (Elvinawati, 2009). Proses kavitasi ultrasonik terdiri atas tiga tahapan proses, diantaranya:

1. Tahap pembentukan gelembung (Nukelasi)

Tahap nukleasi terjadi karena adanya gelembung mikro yang terperangkap didalam celah mikro partikel dalam air.

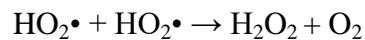
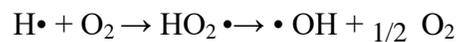
2. Tahap pertumbuhan gelembung

Akibat terdapatnya intensitas gelombang ultrasonik yang tinggi, gelembung- gelembung mikro akan semakin besar. Dengan dilakukannya ultrasonikasi pada intensitas tinggi, maka gelembung mikro akan berkembang dengan cepat. Sebaliknya pada intensitas rendah, laju pertumbuhan dari gelembung akan menjadi lebih lambat. Hal tersebut terjadi karena gelembung akan melewati beberapa siklus akustik terlebih dahulu sebelum akhirnya membesar

3. Tahap pecahnya gelembung (*Implosive collapse*)

Setelah gelembung partikel yang membesar itu menerima gelombang ultrasonik, yang mana melebihi ambang batas (20 kHz untuk larutan) maka akan terjadi pembesaran gelembung partikel secara terus menerus hingga gelembung tersebut tidak mampu lagi untuk menyerap energi yang dihasilkan dari gelombang ultrasonik secara efisien dan akhirnya akan pecah. Akibat terjadinya pemecahan gelembung pada tahap ini, maka akan menghasilkan radikal bebas yang nantinya bisa mendegradasi senyawa organik. Tahapan ini juga disebut dengan *catastrophic collapse* (Mahvi.A.H,2009).

Reaksi yang terjadi dalam proses sonolisis sebagai berikut :



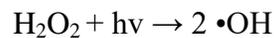
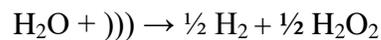
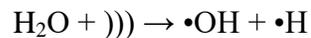
Proses sonolisis ini akan membentuk radikal hidroksil dan adanya efek kavitasi. Radikal-- radikal yang reaktif akan terbentuk didalam air yang akan teroksidasi saat proses sonolisis berlangsung, radikal reaktif yang terbentuk adalah $\text{OH}\cdot, \text{H}\cdot$ dan $\text{OH}_2\cdot$. Dampak dari sonolisis pada air yaitu terpecahnya

molekul H₂O menjadi OH• dan H• yang mana radikal tersebut bisa merusak struktur senyawa organik. Dengan rusaknya senyawa organik tersebut akan dihasilkan senyawa – senyawa organik intermediet dan jika proses sonolisis diteruskan maka akan terjadi mineralisasi menjadi CO₂, H₂O, HNO₃ dan sebagainya (Safni et al., 2009).

F. Fotosonolisis

Fotosonolisis adalah suatu metode kimia yang banyak digunakan dalam proses degradasi zat warna pada limbah cair yang mana merupakan kombinasi dari metode fotolisis dan sonolisis yang dianggap lebih efisien dan efektif dalam mendegradasi zat warna (Sanjaya, 2018).

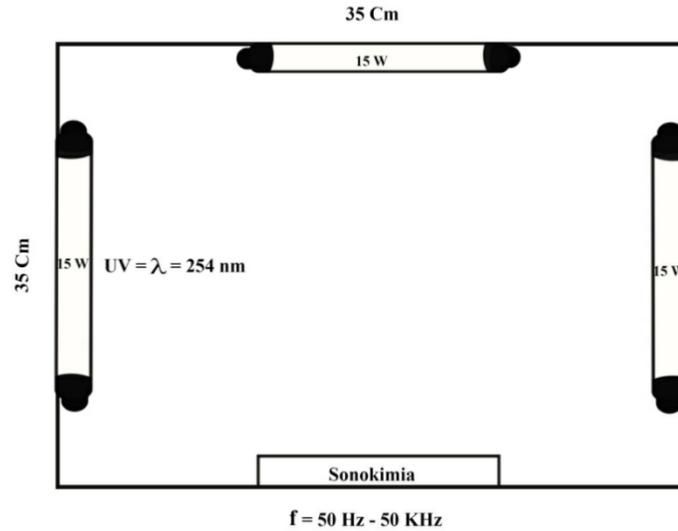
Persamaan reaksi dari proses fotosonolisis menurut (Joseph, 2015) :



$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \bullet\text{OH}$, dimana H_2O_2 menunjukkan proses sonikasi dan $h\nu$ menunjukkan proses radiasi sinar ultraviolet (UV).

Fotosonolisis adalah rangkaian reaksi yang dipicu oleh penggunaan gabungan iradiasi sinar ultraviolet (UV) dan ultrasonikasi (US) dengan atau tanpa adanya katalis (Serpone, 1989). Penggunaan katalis semikonduktor dalam metode fotosonolisis bisa meningkatkan kemampuan dalam

mendegradasi atau menghilangkan limbah zat cair warna lebih cepat. (Salehi, 2012).



Gambar 2.7. Skema alat fotosonolisis

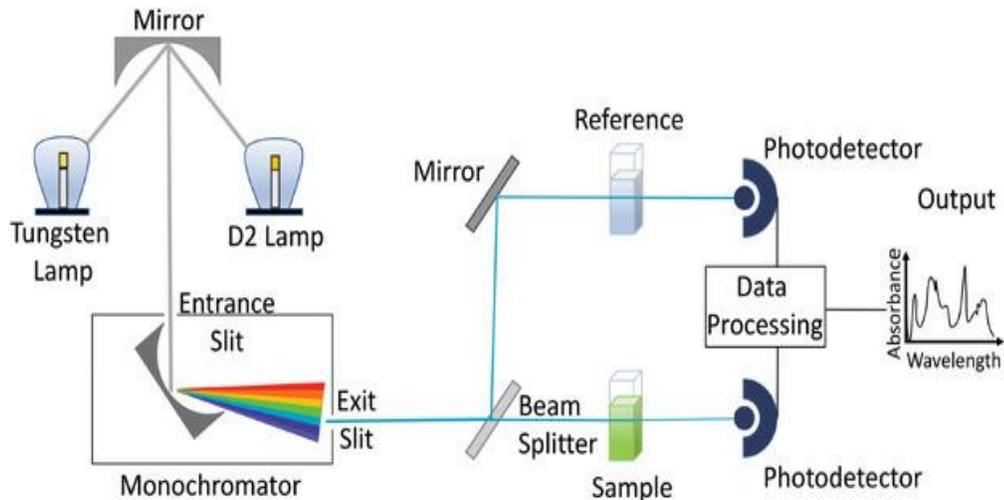
Skema alat sederhana yang digunakan dalam proses fotosonolisis dapat dilihat pada gambar diatas.

G. Spektrofotometer Uv-Vis

Spektrosfotometri serapan Ultraviolet dan Visible adalah teknik yang didasarkan pada interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan zat atau molekul yang dianalisis dengan instrumen spektrofotometer UV-Vis. Radiasi ini, memiliki rentang spektral sekitar 190-800 nm, yang juga berbeda dalam hal rentang energi, dan jenis eksitasi dari daerah terkait lainnya. Hasil interaksi ini dari refleksi, hamburan gangguan atau absorpsi. Namun, pengukuran interaksi yang akurat dapat dilakukan hanya dengan mencatat

absorbansi. Dalam beberapa batasan, absorbansi sebanding dengan konsentrasi analit untuk menentukan dan dengan jarak cahaya saat melewati sampel selama penyinaran (Passos & Saraiva,2018).

Skema alat spektrofotometer UV- Vis dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 8. Skema alat spektrofotometer UV-Vis

Pengukuran dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis kebanyakan digunakan untuk analisis kuantitatif dari pada untuk analisis kualitatif. Metode ini sensitif dan sangat cocok untuk tujuan analisis. Spektrofotometri UV-Vis bersifat sangat kuantitatif dan jumlah sinar yang akan terserap pada sampel dikemukakan pada hukum *Lambert-beer*.

Hukum *Lambert-Beer* mengemukakan bahwa proporsi berkas cahaya yang akan terserap suatu bahan atau medium tidak tergantung kepada interaksi berkas cahaya yang akan datang. Hukum *Lambert-Beer* hanya

berlaku apabila tidak ada terjadi reaksi kimia (proses fisis) yang terpengaruh berkas cahaya datang tersebut.

$$A = \epsilon b c$$

Dimana :

A = absorbansi

ϵ = arbsorbktivitas 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)

(Day & underwood,1972).

Tabel 2. 2 Radiasi Cahaya Tampak Dan Warna Komplementer (Tony, 2000).

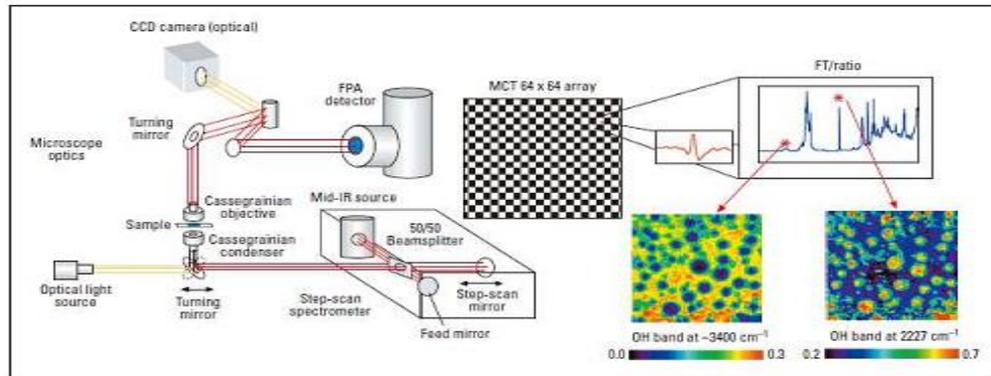
Panjang Gelombang (nm)	Warna yang diserap	Warna yang ditransmisikan
<380	Ultraviolet	-
380-435	Ungu tua	Kuning kehijauan
435-480	Biru	Kuning
480-490	Biru muda	orange
490-500	Hijau muda	merah
500-560	Hijau	merah muda
560-595	Kuning kehijauan	ungu muda
595-650	Orange	biru muda
650-780	Merah	hijau muda
>780	inframerah	-

H. Spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Aplikasi spektroskopi inframerah sangat luas baik untuk menganalisa kualitatif maupun kuantitatif. Penggunaan yang paling umum adalah pada daerah pertengahan dengan kisaran bilangan gelombang $4000 - 670 \text{ cm}^{-1}$ atau dengan panjang gelombang 2,5 sampai $15 \mu\text{m}$. Fungsi utamanya adalah untuk mengidentifikasi senyawa organik karena spektrumnya yang sangat kompleks terdiri dari banyak puncak-puncak. Banyak senyawa organik menyerap radiasi pada daerah tampak dan ultraviolet maka elektron akan tereksitasi dari keadaan dasar ke tingkat energi yang lebih tinggi (Suarsa, 2017)

Spektroskopi Inframerah (IR) adalah teknik untuk menganalisis material yang menghasilkan sidik jari dari sampel dengan puncak serapan yang saling berhubungan dengan frekuensi vibrasi antara ikatan atom – atom yang menyusun material. Setiap material memiliki kombinasi atom yang unik, tidak ada dua senyawa yang menghasilkan spectrum IR yang sama. Spektroskopi IR digunakan untuk mengidentifikasi material atau analisis kualitatif dari setiap material. Ukuran puncak dalam spectrum secara langsung menunjukkan jumlah material yang terdapat dalam sampel. Software algoritma moder, IR merupakan alat ekselen untuk analisis kualitatif (Nizar et al.,2018).

Skema alat spektrometer FTIR dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.9. Skema alat spektrometer FTIR

Spektrometer FT-IR merupakan alat yang biasa digunakan dalam analisis spektroskopi inframerah. Alat ini dapat mengirimkan data yang akurat dan bisa digunakan untuk menganalisis material. Spektrometer FTIR bisa menembakan sinar inframerah hingga kedalaman 550 nm dan mempunyai *spectral range* optimal pada $7800- 350 \text{ cm}^{-1}$ serta mempunyai *spectral resolution* lebih baik dari 0,4 *wavenumber* (Aji Pambudi et al., 2017).

Dalam prosedur analisis FTIR, sampel akan mengalami kontak dengan radiasi inframerah (IR). Radiasi IR akan berdampak pada vibrasi atom atau molekul dalam sampel dan akan menghasilkan absorpsi spesifik atau transmisi energi. Setiap gugus fungsi dalam molekul umumnya memiliki karakteristik sendiri sehingga spektroskopi FTIR digunakan untuk mendeteksi gugus spesifik dari molekul (Kirk dan Othmer, 1953).

BAB V

PENUTUP

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Waktu optimum untuk degradasi *rhodamin B* 10 ppm secara fotosonolisis dengan bantuan katalis TiO_2 adalah 210 menit dengan persentase degradasi sebesar 95,39% .
- 2) Massa optimum katalis TiO_2 untuk mendegradasi *rhodamin B* secara fotosonolisis selama 210 menit adalah sebanyak 0,05 gram dengan persentase degradasi sebesar 93,44 %.

2. Saran

- 1) Mempelajari degradasi *rhodamin B* menggunakan metode fotosonolisis dengan katalis berbeda.
- 2) Mempelajari penggunaan katalis yang digunakan dalam mendegradasi zat warna.

DAFTAR PUSTAKA

- A.Hiskia, M. Ecke, A.troupis, A. Kokorakis, H. Hennig, E. Papaconstatinou. *Sonolytic, Photolytic, and Photocatalytic Decomposition of Atrazin In presence of Polyoxometalates. J. Environ. Sci. Tech.*, 35(11): 2358-2364 (2001).
- A.L. Underwood, R. A. DAay. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Terjemahan Hnadayana, Pudjaatmaka, Edisi 4. Erlangga : Jakarta.1998. p 201-227
- Andari, N.D. dan Sri Wardani.2014. *Fotokatalis Tio2-Zeolit Untuk Degradasi Metilen Biru*. Chem. Prog 7 (1) : 9 – 14.
- Arief, S., Safni, Roza, P., 2007. *Degradasi Senyawa Rhodamin B Secara Sonolisis dengan Penambahan TiO2 Hasil Sintesa Melalui Proses Sol-Gel, Jurnal Riset Kimia*, Vol.1, No.1, 64-70, Padang.
- Barka, N., Qourza, S., Assabbane, A., Nounah, A., Ait-Ichou, Y., 2008, *Factors Influencing the Photocatalytic Degradation of Rhodamine B by TiO2-Coated Non-Woven Paper* ,*Journal of Photochemistry and Photobiology A : Chemistry*, No. 195, 346-351, Maroc.
- Chin, B. O., & Law, Y. N. (2018). Abdul Wahab Mohammad. A Review of ZnO nanoparticles as solar photocatalysts: Synthesis, mechanisms and Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81,536.
- Dewa Ayu Wismayanti, Ni Putu Diantariani, dan Sri Rahayu Santi.2015. *Pembuatan Komposit Zno-Arang Aktif sebagai Fotokatalis Untuk Mendegradasi Zat Warna Metilen Biru*. Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali. *Jurnal Kimia* 9 (1), Januari 2015: 109-116
- Dini, E. W. P., & Wardhani, S. (2014). Degradasi Metilen Biru menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit. *Chem Prog*, 7.
- Ferinda, S. (2017). *Degradasi Rhodamin B Menggunakan Katalis ZnO TiO2 Dengan Metode Fotosonilisis*. 10(2), 46–50.
- Fernandez, BR.2011. *Sintesis Nanopartikel. Metode Sintesis Nanopartikel*.
- Fitria D. 2016. Degradasi Methyl Green Secara Fotolisis dan Sonolisis Menggunakan Katalis TiO2-PEG. Skripsi. Universitas Negeri Padang