



**KINERJA FOTOKATALIS Fe/TiO_2 *NANOTUBE* (Fe/TNT)
TERHADAP *REMAZOL RED DYE* DENGAN PENGARUH VARIASI
DOSIS DOPAN Fe^{3+}**

SKRIPSI

Oleh

Cherlian Triandini Putri

221810301006

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
JURUSAN KIMIA
JEMBER**

2026



**KINERJA FOTOKATALIS Fe/TiO_2 NANOTUBE (Fe/TNT)
TERHADAP REMAZOL RED DYE DENGAN PENGARUH VARIASI
DOSIS DOPAN Fe^{3+}**

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada
program studi kimia (S1)*

SKRIPSI

Oleh

Cherlian Triandini Putri

221810301006

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
JURUSAN KIMIA**

JEMBER

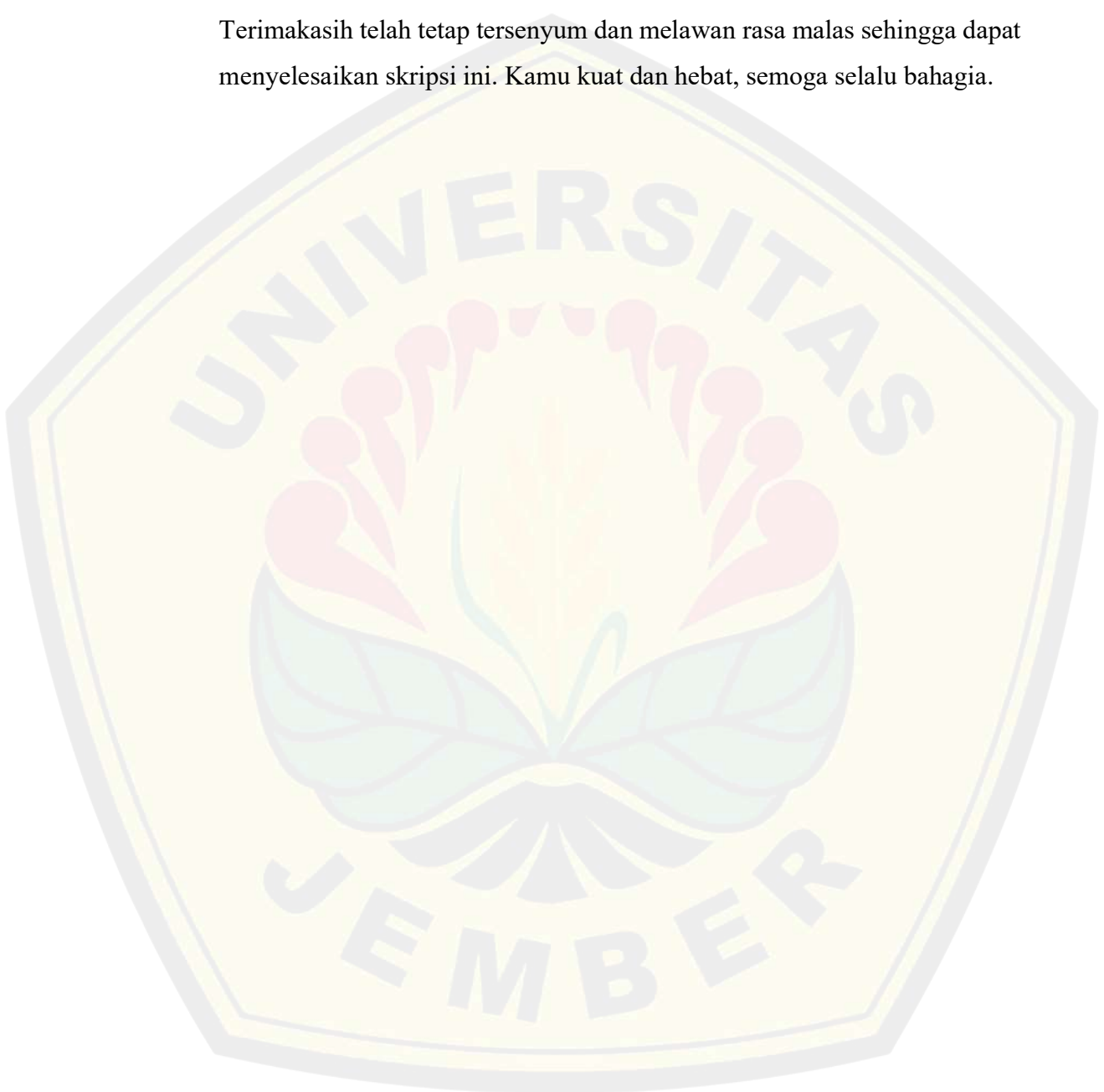
2026

PERSEMBAHAN

Dengan penuh Syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan limpahan Rahmat dan hidayah-Nya dengan rasa bangga skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Allah SWT atas segala nikmat yang telah diberikan dan karunia-Nya untuk mempermudah dalam pengerjaan skripsi. Junjungan Nabi Muhammad SAW atas ajaran, syafaat, dan cinta serta kasih sayang terhadap seluruh umatnya.
2. Teristimewa dan tercinta kepada Bapak Djumadi dan Ibu Endang Wahyuni yang selalu memberikan doa, semangat, kasih sayang, cinta, kepercayaan, dan dukungan moral maupun materi yang tak terhingga, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
3. Kedua kakak kandung saya, Rico Prasetya Putra dan Dwi Putra Wahyudi yang selalu memberikan semangat, pujian, dan kepercayaan. Terimakasih, karena sudah menjadi bagian dalam proses penyusunan skripsi.
4. Bapak/Ibu Dosen Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah mendidik, memberikan bimbingan, dan memberikan ilmu yang bermanfaat.
5. Almamater tercinta yaitu Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
6. Mochammad Figo Ayala dan keluarga, yang tidak kalah penting perannya. terimakasih atas bantuan, doa, dan dukungannya. Terimakasih atas waktu yang telah diberikan untuk mendengarkan keluh kesah dan menjadi penyemangat dalam proses penyelesaian skripsi.
7. Sahabat tersayang dari masa Sekolah Dasar hingga saat ini Annisa Dora, Nissa Ariella, Rizky Noer, Indah Agustin, Maulina, terimakasih sudah saling membantu, mendukung, dan saling mengerti satu sama lain.
8. Teman seperjuangan penelitian keris anorganik, Syalaisha Rahadatul Aisy, dan Andika Dwi Ramadhan, yang telah berjuang bersama dalam proses penulisan skripsi.

9. Keluarga besar Cation Angkatan 2022 yang mulai dari maba hingga sekarang berjuang bersama untuk mendukung satu sama lain.
10. Kepada diri saya sendiri Cherlian Triandini Putri yang telah berjuang dan bertahan dari banyaknya pikiran buruk yang muncul selama pengerjaan skripsi. Terimakasih telah berjuang dan selalu semangat dalam proses ini. Terimakasih telah tetap tersenyum dan melawan rasa malas sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Kamu kuat dan hebat, semoga selalu bahagia.



MOTTO

“Dan katakanlah: Ya Tuhanku, tambahkanlah kepadaku ilmu pengetahuan.”

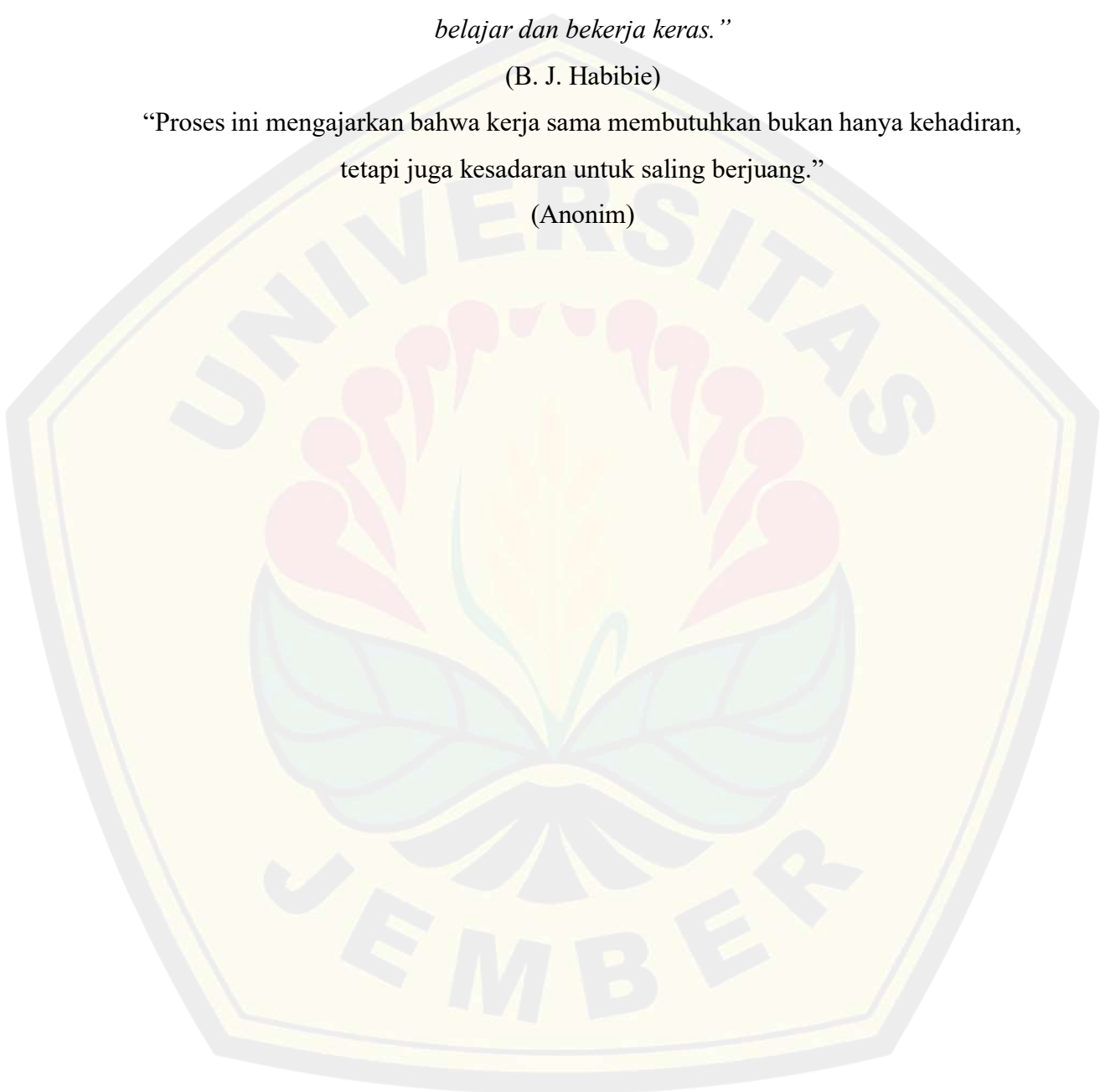
(QS. Taha: 114 Al-Qur'an)

“Kesuksesan bukanlah milik orang yang pintar, tetapi milik orang yang terus belajar dan bekerja keras.”

(B. J. Habibie)

“Proses ini mengajarkan bahwa kerja sama membutuhkan bukan hanya kehadiran, tetapi juga kesadaran untuk saling berjuang.”

(Anonim)



PERNYATAAN ORSINILITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Cherlian Triandini Putri

NIM : 221810301006

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul "Kinerja Fotokatalisis Fe/TiO₂ Nanonotube (fe/TNT) Terhadap Remazol Red Dye Dengan Pengaruh Variasi Dosis Dopan Fe³⁺", adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disesuaikan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan skripsi ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 08 Juli 2026

Yang Menyatakan,



Cherlian Triandini Putri

NIM 221810301006

HALAMAN PERSETUJUAN

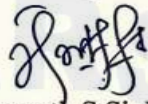
Skripsi berjudul “Kinerja Fotokatalisis Fe/TiO₂ Nanonotube (fe/TNT) Terhadap *Remazol Red Dye* Dengan Pengaruh Variasi Dosis Dopan Fe³⁺⁺” telah diuji dan disetujui pada :

Hari : **KAMIS**

Tanggal : **09 JUL 2026**

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Tim Penguji
Ketua,



Tanti Haryati, S.Si.,M.Si
NIP.198010292005012002

Anggota 1.



Suwardiyanto, S.Si.,M.Si.,Ph.d
NIP. 197501191998021001

Anggota 2.



Asnawati, S.Si.,M.Si
NIP. 196808141999032001

ABSTRACT

The chemical composition of Remazol Red, a synthetic dye, comprises a stable azo structure, which renders it resistant to natural degradation and potentially hazardous to the environment. One method that can be applied to address this issue is photocatalysis using Fe^{3+} -doped TiO_2 nanotubes (Fe/TNT). The present study aims to determine the effect of varying Fe^{3+} dopant concentrations on the adsorption and photocatalytic activity of Fe/ TiO_2 nanotubes (Fe/TNT) in degrading Remazol Red, as well as to evaluate the effects of pH, catalyst dosage, and reusability on photocatalytic performance. The synthesis of Fe/TNT was accomplished through the utilisation of the hydrothermal method, employing Fe dopant concentrations ranging from 0 to 2%. The adsorption and photocatalytic activities of the samples were examined using a 25 mg/L Remazol Red solution, with illumination provided by a 100-watt visible-light LED lamp. Variations in Fe dopant concentration, pH, catalyst dosage, and reusability were systematically investigated. The results demonstrated that variations in Fe dopant concentration influenced the adsorption and photocatalytic activities of Fe/TNT. The Fe/TNT sample, with a composition of 1%, demonstrated optimal performance, exhibiting an adsorption time of 30 minutes and a photocatalytic time of 90 minutes, resulting in a removal efficiency of 34.63%. This increase in activity was supported by the highest specific surface area of 134.02 m^2/g , well-preserved nanotube morphology, a dominant anatase phase, and a reduction in the bandgap energy to 2.89 eV. The optimal photocatalytic conditions were achieved at a pH of 3, with a removal efficiency of 38.26%, and at a catalyst dose of 100 mg (4 g/L), with a removal efficiency of 50.08%. Reusability tests demonstrated that 1% Fe/TNT retained its photocatalytic activity up to the fifth cycle, exhibiting a removal efficiency of 42.09%. The findings of this study suggest that 1% Fe/TNT is the most effective dopant composition and has the potential to be utilised as a visible-light-based photocatalyst for the degradation of Remazol Red in synthetic dye wastewater.

Keywords: Photocatalysis, Fe/TNT, Remazol Red, pH, Dosage, Reusabilitas

RINGKASAN

Kinerja Fotokatalisis Fe/TiO₂ Nanonotube (fe/TNT) Terhadap Remazol Red Dye Dengan Pengaruh Variasi Dosis Dopan Fe³⁺; Cherlian Triandini Putri, 221810301006, 2026, 38 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Limbah zat warna sintetis *Remazol Red* dari industri batik memiliki struktur azo yang stabil sehingga sulit terdegradasi secara alami dan berpotensi mencemari lingkungan. Metode yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut salah satunya adalah fotokatalisis menggunakan TiO₂ nanotube (TNT). Modifikasi TNT dengan dopan Fe³⁺ dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik melalui penurunan energi band gap sehingga lebih responsif terhadap cahaya tampak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi dosis dopan Fe³⁺ terhadap aktivitas adsorpsi dan fotokatalitik Fe/TiO₂ nanotube (Fe/TNT) dalam mendegradasi *Remazol Red* serta mengevaluasi pengaruh pH, dosis katalis, dan reusabilitas terhadap kinerja fotokatalis tersebut.

Fe/TNT disintesis menggunakan metode hidrotermal dengan variasi dopan Fe sebesar 0; 0,1; 0,3; 1; dan 2%. Material yang digunakan merupakan hasil sintesis penelitian sebelumnya dan digunakan untuk menguji aktivitas adsorpsi serta fotokatalitik terhadap larutan *Remazol Red* 25 mg/L. Pengujian dilakukan menggunakan lampu LED visibel 100 watt dengan mengevaluasi pengaruh variasi dosis dopan Fe, pH larutan, dosis katalis, dan reusabilitas terhadap persen *removal Remazol Red*. Konsentrasi *Remazol Red* sebelum dan sesudah perlakuan ditentukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 518 nm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi dosis dopan Fe memengaruhi aktivitas adsorpsi dan fotokatalitik Fe/TNT. Fe/TNT 1% memberikan kinerja terbaik dengan waktu optimum adsorpsi 30 menit dan waktu optimum fotokatalisis 90 menit yang menghasilkan persen *removal* sebesar 34,63%. Peningkatan aktivitas tersebut didukung oleh luas permukaan terbesar sebesar 134,02 m²/g, morfologi nanotube yang masih terjaga, memiliki fase anatase, serta penurunan energi band

gap menjadi 2,89 eV. Kondisi optimum fotokatalisis diperoleh pada pH 3 dengan persen *removal* sebesar 38,26% dan dosis katalis 4 g/L dengan persen *removal* sebesar 50,08%. Uji reusabilitas menunjukkan bahwa Fe/TNT 1% masih mampu mempertahankan aktivitas fotokatalitik hingga siklus ke-5 dengan persen *removal* sebesar 42,09%.

Hasil penelitian, variasi dosis dopan Fe³⁺ berpengaruh terhadap karakteristik material dan aktivitas fotokatalitik Fe/TNT dalam mendegradasi *Remazol Red*. Fe/TNT 1% merupakan komposisi dopan yang paling optimum karena menunjukkan aktivitas dan stabilitas fotokatalitik terbaik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Fe/TNT berpotensi diaplikasikan sebagai fotokatalis berbasis cahaya tampak untuk pengolahan limbah zat warna sintetis yang mengandung *Remazol Red*.

PRAKATA

Puji Syukur saya ucapkan atas kehadiran Allah SWT atas limpahan Rahmat dan hidayah-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Kinerja Fotokatalisis Fe/TiO₂ *Nanonotube* (fe/TNT) Terhadap *Remazol Red Dye* Dengan Pengaruh Variasi Dosis Dopan Fe³⁺”. Skripsi ini di susun untuk memenuhi salah satu syarat untuk penyelesaian pendidikan strata satu (S1) pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

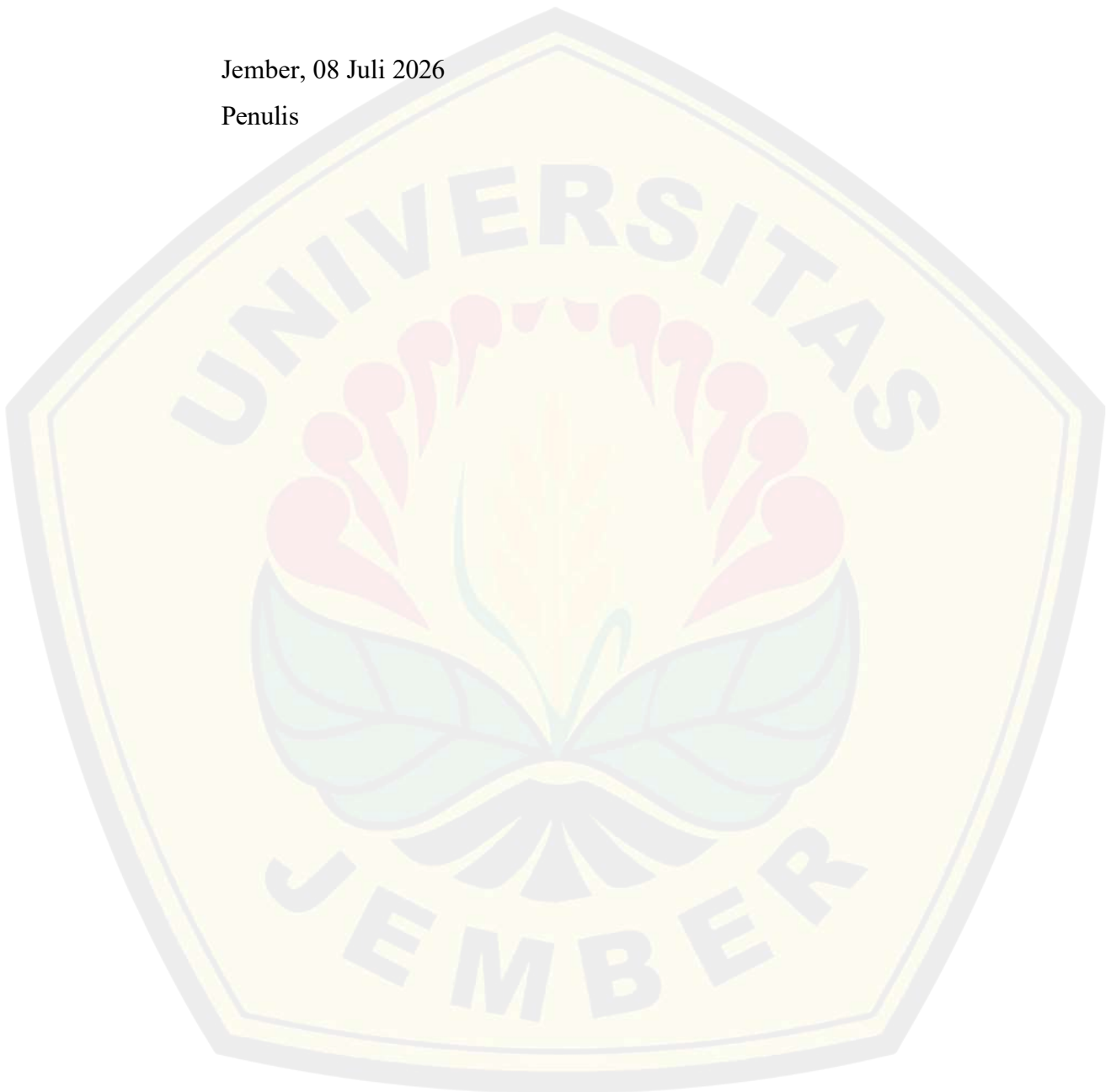
Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada :

1. Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember;
2. Prof. Dr. Anak Agung Istri Ratnadewi, S.Si., M.Si. selaku ketua jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember;
3. Tanti Haryati S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan telah sabar dalam membimbing penulis dalam penyusunan skripsi;
4. Suwardiyanto, S.Si.,M.Si.,Ph.D selaku dosen penguji utama dan Asnawati S.Si.,M.Si selaku dosen penguji anggota yang telah meluangkan waktu dan memberikan kritik serta saran dalam membangun skripsi ini;
5. Dr.Muhammad Reza, S.Si.,M.Si selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing dan memberikan arahan selama penulis menjadi seorang mahasiswa;
6. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan pengalaman yang dapat dijadikan bekal di masa depan;
7. Seluruh teknisi laboratorium Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember yang telah membantu penulis melakukan penelitian di dalam laboratorium;
8. Semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini

9. Penulis meminta maaf jika dalam skripsi ini terdapat kekeliruan, hal ini tidak lepas dari sifat manusia yang tidak sempurna dan sering melakukan kesalahan. Penulis menerima segala bentuk kritik dan saran dari semua pihak untuk menyempurnakan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Jember, 08 Juli 2026

Penulis



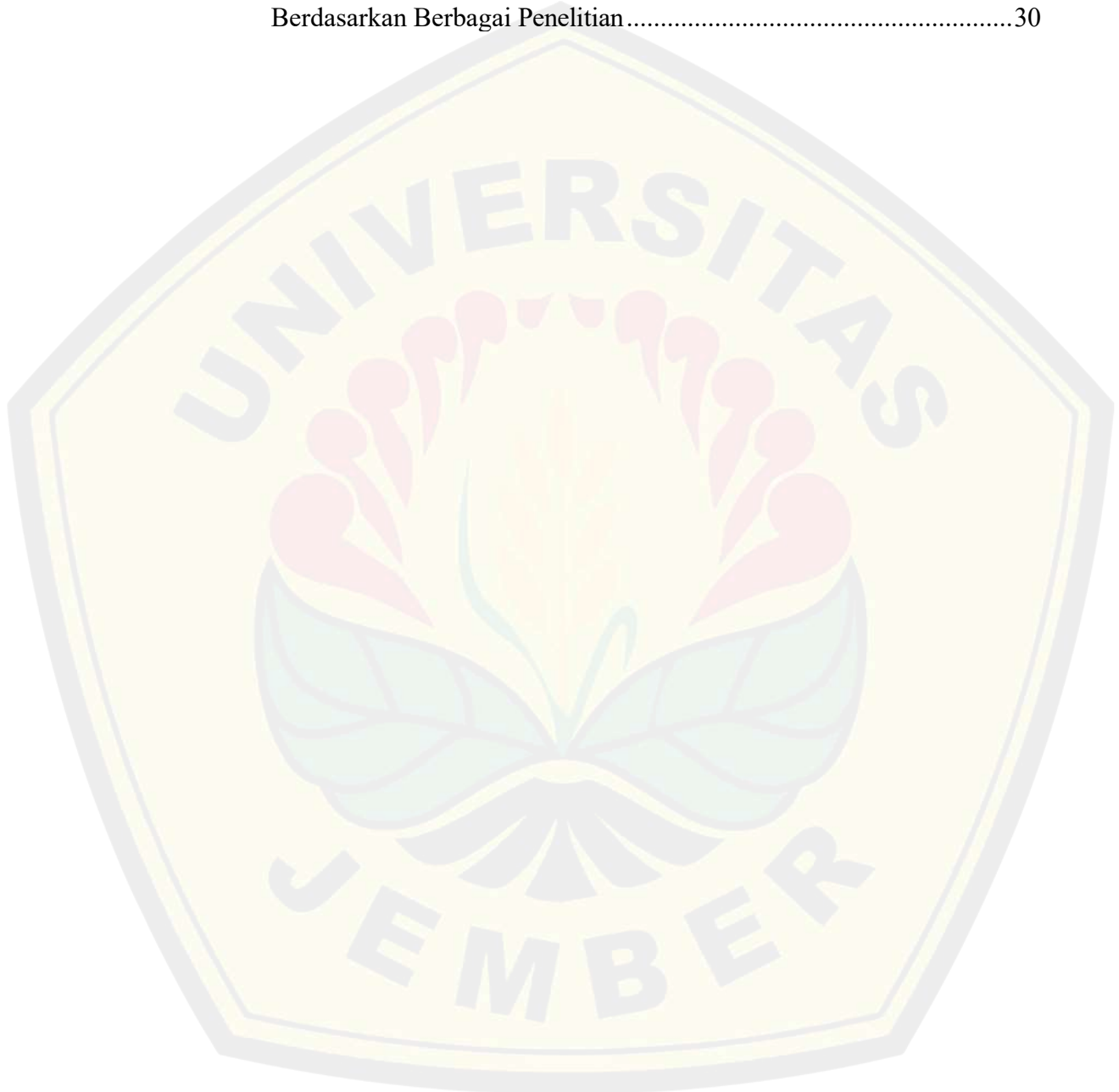
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iv
PERNYATAAN ORSINILITAS	v
HALAMAN PERSETUJUAN	vi
ABSTARCT	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI	xvii
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2. TINJUAN PUSTAKA	5
2.1. Pewarna Batik	5
2.2. <i>Remazol Red Dye</i>	5
2.3. Fotokatalis Fe/TNT	6
2.4. Variasi yang Mempengaruhi Aktivitas Fotokatalis.....	8
2.5. Spektrofotometer UV-Vi.....	11
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	13
3.2. Alat dan Bahan.....	13

3.2.1	Alat.....	13
3.2.2	Bahan	13
3.3.	Prosedur Penelitian.....	13
3.3.1	Sintesis Fe/TiO ₂ <i>Nanotube</i> (Fe/TNT)	13
3.3.2	Uji Aktivitas Fotokatalis TNT dengan Dopan Fe	14
3.3.3	Uji Reusabilitas Katalis	16
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1.	Pengaruh Variasi Persen Massa Dopan Fe ³⁺ Pada TiO ₂ Nanotube (Fe/TNT) Terhadap Aktivitas Fotokatalis <i>Remazol Red</i>	17
4.2.	Pengaruh pH, Dosis Katalis, dan Reusabilitas terhadap Kinerja Fotokatalis Fe/TNT dalam Mendegradasi <i>Remazol Red</i>	22
BAB 5.	PENUTUP	33
5.1.	Kesimpulan.....	33
5.2.	Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA		34
LAMPIRAN		37

DAFTAR TABEL

Tabel. 4.1 Pengaruh Variasi Persen Massa Fe terhadap Aktivitas Fotokatalitik Fe/TNT Berdasarkan Persentase <i>Removal Remazol Red</i>	21
Tabel. 4.2 Perbandingan Jenis Fotokatalis dan Kinerja Degradasi Zat Warna Berdasarkan Berbagai Penelitian.....	30

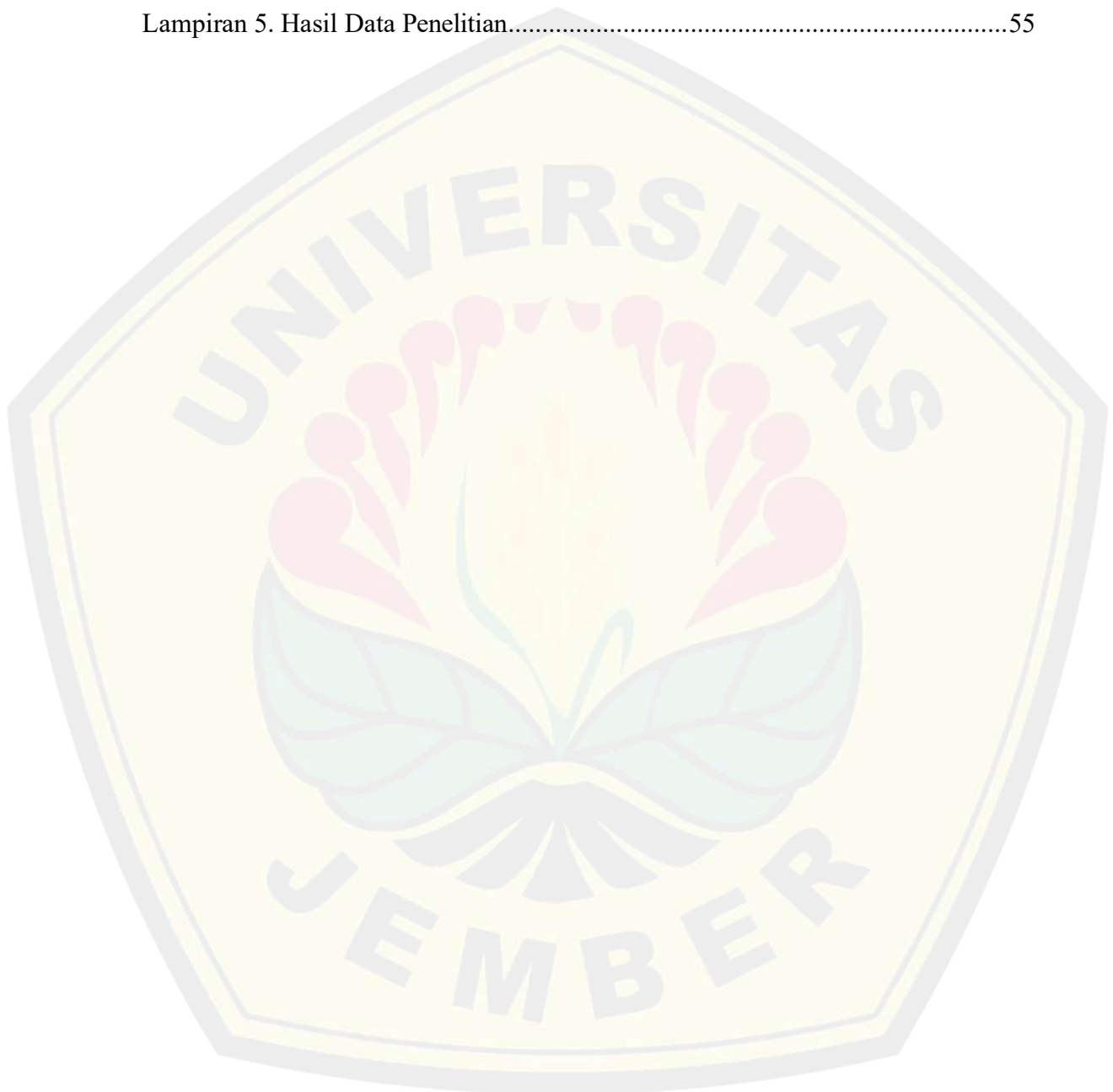


DAFTAR GAMBAR

2.1 Gambar Struktur <i>Remazol Red</i>	6
4.1 Grafik hubungan waktu terhadap larutan <i>dye remazol red</i> pada kondisi tanpa penyinaran dari Fe/TNT	19
4.2 Grafik hubungan waktu terhadap larutan <i>dye remazol red</i> pada lama penyinaran dari Fe/TNT dengan nilai % <i>removal</i>	21
4.3 Grafik spektra <i>remazol red</i> sisa dari variasi pH	22
4.4 Grafik hubungan pH terhadap larutan <i>dye remazol red</i> menggunakann Fe/TNT dengan nilai % <i>removal</i>	23
4.5 Grafik hubungan dosis katalis terhadap larutan <i>dye remazol red</i> menggunakann Fe/TNT dengan nilai % <i>removal</i>	25
4.6 Grafik absorbansi larutan <i>remazol red</i> terhadap panjang gelombang pada setiap siklus reusabilitas katalis Fe/TNT	28
4.7 Grafik hubungan reusabilitas katalis terhadap larutan <i>dye remazol red</i> menggunakann Fe/TNT dengan nilai % <i>removal</i>	28

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 2. Hasil Karakterisasi Peneliti Sebelumnya	39
Lampiran 3. Metodologi Penelitian	45
Lampiran 4. Perhitungan	47
Lampiran 5. Hasil Data Penelitian.....	55



DAFTAR NOTASI

C_0	= Konsentrasi awal <i>remazol red</i> (ppm)
C_t	= Konsentrasi <i>remazol red</i> terhadap waktu
A_0	= Absorbansi awal <i>remazol red</i> pada λ_{maks}
A_t	= Absorbansi <i>remazol red</i> terhadap waktu
y	= Nilai absorbansi pada kurva kalibrasi
x	= Konsentrasi larutan <i>remazol red</i>
m	= kemiringan kurva kalibrasi
c	= Intersep kurva kalibrasi
% Removal	= presentase degradasi <i>remazol red</i>
$h\nu$	= Energi foton cahaya
e^-	= Elektron pada pita konduksi
h^+	= Elektron pada pita valensi
$\bullet OH$	= Radikal hidroksil
$O_2\bullet^-$	= Radikal superoksida
$Ti-OH_2^+$	= Permukaan TiO_2 terprotonasi (muatan positif)
$Ti-O^-$	= Permukaan TiO_2 bermuatan negative
λ	= Panjang gelombang (nm)
λ_{maks}	= Panjang Gelombang maksimum serapan <i>remazol red</i>
eV	= Elektron volt (satuan energi band gap)
m^2/g	= Luas permukaan spesifik kaalis
ppm	= Part per million (mg/L)

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

Singkatan/Istilah	Arti dan Keterangan
TiO ₂	Titanium dioksida
TNT	Titanium dioxide nanotube
Fe/TNT	Fe-doped TiO ₂ nanotube
Fe ³⁺	Ion besi (III)
Fe ²⁺	Ion besi (II)
NaOH	Natrium hidroksida
HCl	Asam Klorida
H ₃ PO ₄	Asam fosfat
KH ₂ PO ₄	Kalium dihydrogen fosfat
Na ₂ HPO ₄	Dinatrium hydrogen fosfat
AOPs	Advance Oxidation Processes
COD	Chemical Oxygen Demand
BOD	Biological Oxygen Demand
UV	Ultraviolet
LED	Light Emitting Diode
RB	Reactive Red
RR	Remazol Red
Rpm	Rotation per minute
λ _{max}	Panjang gelombang maksimum
Na ⁺	Ion natrium
Cl ⁻	Ion klorida
OH ⁻	Ion hidroksida
H ⁺	Ion hydrogen
e ⁻ /h ⁺	Pasangan elektron- <i>hole</i>
λ (nm)	Panjang gelombang dalam nanometer
mL	Mililiter
g/L	Gram per liter
°C	Derajat celcius

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Batik merupakan warisan budaya Indonesia yang diakui UNESCO, menjadi identitas dan penopang ekonomi (Mutiarra *et al.* 2022). Produksi batik banyak menggunakan zat warna sintetis seperti *Remazol Red*, *Procion*, *Indigosol*, dan *Naphthol* karena ketahanan dan warnanya yang cerah, namun menghasilkan limbah sulit terdegradasi (Utami *et al.* 2023). Rentang 10–15% zat warna terbuang ke lingkungan dan dapat meningkatkan pH serta nilai COD dan BOD yang berpotensi mencemari perairan (Mutiarra *et al.* 2023; Sutisna *et al.* 2017). Pewarna yang sering digunakan salah satunya *Remazol Red*, golongan *reactive dye* yang memiliki struktur azo ($-N=N-$) stabil sehingga sulit terdegradasi (Ibrahim *et al.* 2020; Astuti *et al.* 2023). Metode pengolahan konvensional seperti koagulasi, flokulasi dan adsorpsi hanya memindahkan polutan tanpa menguraikannya, sehingga dikembangkan *Advanced Oxidation Processes* (AOPs), terutama fotokatalisis berbasis TiO_2 *nanotube* yang terbukti efektif mendegradasi zat warna azo yang bersifat karsinogenik (Gartner *et al.* 2023; Ibrahim *et al.* 2020).

Metode *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) menghasilkan radikal hidroksil ($\cdot OH$) dan superoksida ($O_2^{\cdot -}$) yang mampu menguraikan senyawa organik kompleks menjadi senyawa sederhana. Metode AOP yang banyak diteliti adalah fotokatalisis berbasis TiO_2 , yang terbukti efektif mendegradasi zat warna azo pada limbah batik (Lata *et al.* 2024; El-Dossoki *et al.* 2021). TiO_2 memiliki tiga fase kristal utama yaitu anatase, rutil, dan brookite. Fase anatase banyak digunakan fotokatalisis karena memiliki aktivitas yang besar serta band gap yang sesuai untuk menghasilkan radikal hidroksil. Struktur TiO_2 *nanotube* memiliki luas permukaan besar dan aktivitas cahaya lebih tinggi, sehingga efektif untuk mendegradasi zat warna azo pada limbah batik (Subramaniam *et al.* 2017). Modifikasi TiO_2 dengan doping logam seperti ion Fe^{3+} dapat memperluas penyerapan cahaya ke daerah tampak serta menekan rekombinasi elektron–hole (El-Dossoki *et al.* 2021; Abbas, 2021). Ion Fe^{3+} berperan sebagai elektron trap yang meningkatkan transfer muatan,

membentuk level energi baru, serta memperluas penyerapan cahaya ke daerah visibel sehingga aktivitas fotokatalitik TiO_2 meningkat (Zhang *et al.* 2020).

Sintesis fotokatalis Fe/ TiO_2 (Fe/TNT) telah dilakukan sebelumnya oleh Nailul (2025). Sintesis menggunakan metode hidrotermal dengan mereaksikan TiO_2 mikropowder dan NaOH 10 M. Sintesis ini juga dilakukan dengan variasi persen massa dopan Fe^{3+} . Qattali *et al.* (2024) melaporkan bahwa Fe/TNT dengan variasi dopan 0–2,0 wt% menghasilkan degradasi *Methyl Orange* sebesar 93% pada 2,0 wt%, sedangkan Wei *et al.* (2013) menunjukkan bahwa Fe/TNT dengan variasi dopan 0–4,87 wt% menghasilkan degradasi limbah tekstil sebesar 96,5% pada 1,22 wt%. Hasil difraktogram pada peneliti Nailul (2025), menunjukkan bahwa semua variasi katalis memiliki fase anatase. *Scanning Electron Microscope* (SEM) menunjukkan morfologi *nanotube (fiber)* berdiameter 1-100 nm dengan permukaan kasar. *Transmission Electron Microscopy* (TEM) menunjukkan hasil berbentuk tabung memanjang dengan diameter dalam 6,89 nm, diameter luar 2,82 nm dan ketebalan dinding 2,65 nm. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) menunjukkan vibrasi O–H di kisaran $3400\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$, Ti–O di kisaran $600\text{--}700\text{ cm}^{-1}$, Ti–O–Ti di kisaran $850\text{--}950\text{ cm}^{-1}$, gugus Fe–O–Ti dikisaran panjang gelombang 432 cm^{-1} . *Brunauer, Emmett and Teller* (BET) menunjukkan luas permukaan tertinggi pada Fe/TNT 1% sekitar $100\text{ m}^2/\text{g}$, menandakan struktur mesopori stabil. *Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS) menunjukkan pergeseran serapan ke visibel dengan band gap turun dari 3,2 menjadi 2,87 eV (Nailul, 2025).

Kinerja fotokatalis Fe/TNT dipengaruhi oleh pH larutan, konsentrasi awal zat warna, lama penyinaran, dan dosis katalis. Pengaruh parameter tersebut telah banyak dikaji dalam penelitian terdahulu. Uji aktivitas menggunakan katalis TiO_2 anatase nanopartikel terhadap degradasi *Remazol Red* dengan adsorpsi (tanpa cahaya) selang 10 menit hingga mencapai waktu 60 menit (El-Dossoki *et al.* 2021 Fotokatalisis dengan selang waktu 30 menit hingga mencapai 180 menit Zafar dan Kim, 2020). Kondisi pH memengaruhi adsorpsi *dye* pada kondisi asam ion H^+ membuat permukaan TiO_2 atau Fe/TNT bermuatan positif sehingga interaksi dengan gugus anionik *dye* meningkat. Kondisi basa ion OH^- menyebabkan

permukaan katalis bermuatan negatif sehingga adsorpsi dan efisiensi fotodegradasi menurun. Abbas (2021) menggunakan katalis TiO_2 dengan kondisi optimum pH di pH 3 dan El-Dossoki *et al.* (2021) dengan TiO_2 nanomaterial mendapatkan pH optimum yaitu pH 5 untuk *Remazol Red B*. Ibrahim *et al.* (2021) menggunakan jenis katalis Fe-W-3w nanomaterial pada *Remazol Red RB* 133, diperoleh pH optimum di pH 3. Dosis katalis menentukan jumlah situs aktif semakin besar dosis katalis semakin banyak *electron-hole* yang terbentuk. Dosis yang terlalu tinggi menyebabkan aglomerasi dan *scattering* cahaya sehingga efisiensi reaksi menurun. El dossoki *et al.* (2020) menggunakan jenis katalis TiO_2 dengan variasi 0,1- 0,6 g/L. Reddy *et al.* (2016) menggunakan jenis katalis Fe- TiO_2 variasi dosis katalis yang digunakan yaitu 0,2 – 5 g/L optimum di 4 g/L(Fe) dan 3 g/L (TiO_2). Abbas (2021) menggunakan jenis katalis Fe- TiO_2 dengan variasi dosis katalis 0,5–3,0 g/L menghasilkan kondisi optimum pada 2,0 g/L. Reusabilitas untuk mengetahui kemampuan katalis dalam mempertahankan aktivitasnya setelah digunakan berulang kali. Fe/TNT di beberapa penelitian masih mampu mempertahankan aktivitasnya hingga tiga sampai lima siklus penggunaan, yang dipengaruhi oleh kestabilan struktur TiO_2 dan ikatan dopan Fe pada permukaan katalis (El dossoki *et al.* 2020; Ibrahim *et al.* 2020; Zafar dan Kim 2020).

Penelitian kali ini akan melakukan sintesis fotokatalis Fe/TNT (Nailul, 2025) dan uji aktivitas fotokatalis terhadap degradasi zat warna *Remazol Red*. Sintesis dilakukan dengan metode hidrotermal menggunakan dopan Fe^{3+} sebesar 0–2% wt (Nailul, 2025). Uji aktivitas diawali dengan adsorpsi tanpa cahaya dengan selang waktu 10 menit hingga 50 menit untuk mengetahui kemampuan adsorpsi awal kemudian dilanjutkan dengan pengujian fotokatalitik dengan selang waktu 30 menit hingga 180 menit (Abbas, 2021; Ibrahim *et al.* 2021). Variasi pH *dye* dilakukan pada rentang 2,3,4,5,8, (El-Dossoki *et al.* 2021; Abbas, 2021; Ibrahim *et al.* 2020). Konsentrasi awal *dye* 25 mg/L berdasarkan penelitian Chen *et al.* (2012). Lama penyinaran selang 30 menit hingga 180 menit (Santhi *et al.* 2015; Zafar dan Kim, 2020). Dosis katalis 1,2,3,4,5,6 g/L berdasarkan penelitian Reddy *et al.* (2016). Aktivitas fotokatalis diuji reusabilitas berdasarkan penelitian (El Dossoki *et al.* 2020; Ibrahim *et al.* 2020; Zafar dan Kim 2020).

1.1 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh persen massa dopan Fe^{3+} terhadap aktivitas fotokatalis TiO_2 *nanotube* (Fe/TNT) dalam mendegradasi *Remazol Red* ?
2. Bagaimana pengaruh pH dan dosis katalis terhadap aktivitas fotokatalisis Fe/TNT dalam mendegradasi zat warna *Remazol Red* ?
3. Bagaimana kemampuan reusabilitas fotokatalisis Fe/TNT dalam mendegradasi *Remazol Red* setelah penggunaan berulang ?

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh persen massa dopan Fe^{3+} terhadap aktivitas fotokatalis TiO_2 *nanotube* (Fe/TNT) dalam mendegradasi *Remazol Red* .
2. Mengetahui pengaruh pH dan dosis katalis terhadap aktivitas fotokatalisis Fe/TNT dalam mendegradasi zat warna *Remazol Red*.
3. Mengetahui kemampuan reusabilitas fotokatalisis Fe/TNT dalam mendegradasi *Remazol Red* setelah penggunaan berulang.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini larutan zat warna *Remazol Red* sebagai sistem model yang merepresentasikan senyawa pewarna sintetis, untuk mengkaji aktivitas fotokatalis Fe/TNT dalam proses degradasi.

1.5 Manfaat penelitian

Penelitian ini diharapkan berkontribusi secara ilmiah dalam pengembangan fotokatalis Fe/TNT untuk mendegradasi pewarna sintetis serta menjadi dasar pengembangan teknologi pengolahan limbah tekstil yang lebih efektif dan ramah lingkungan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

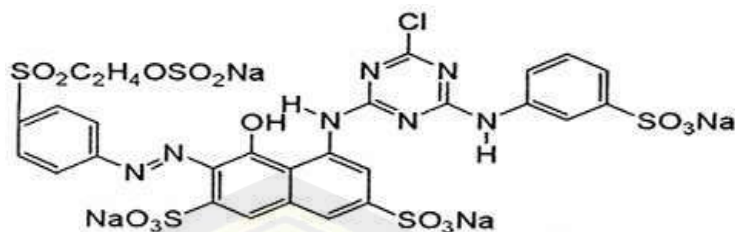
2.1. Pewarna Batik

Pewarna batik merupakan zat kimia yang digunakan dalam proses pembuatan batik untuk menentukan estetika motif pada kain (Paryanto *et al.* 2021). Pewarna batik dibagi menjadi 2 jenis yaitu pewarna batik sintesis dan pewarna batik alami (Abbas, 2021). Pewarna batik sintesis dikenal mampu menghasilkan warna cerah atau tajam dan memiliki intensitas cahaya yang tinggi seperti pewarna indigosol, *Remazol Red*, dan *Naphthol* (El-Dossoki *et al.* 2021). Kelemahan pewarna sintetis adalah ikatan yang tidak selalu sempurna dengan serat kain, sehingga sebagian zat warna terbuang ke lingkungan berupa limbah cair (Abbas, 2021; El-Dossoki *et al.* 2021). Pewarna alami berasal dari berbagai tumbuhan seperti daun jati, akar mengkudu, kulit kayu secang, dan daun indigo, menghasilkan warna coklat, merah, kuning, atau biru. Kelemahan pewarna batik alami meliputi warna yang kurang stabil, mudah luntur, dan kurang cerah dibandingkan pewarna sintetis.

2.2. *Remazol Red* (RR)

Remazol Red adalah zat warna reaktif golongan *reactive azo dye* bersifat anionik yang banyak digunakan pada industri batik karena dapat membentuk ikatan kovalen dengan serat selulosa melalui gugus vinilsulfonil, menghasilkan warna merah cerah dan stabil (Ibrahim *et al.* 2020). *Remazol Red* secara fisik berupa serbuk berwarna merah tua yang mudah larut dalam air karena adanya gugus sulfonat ($-\text{SO}_3^-$) (BenchChem, 2023; Pubchem, 2023). Senyawa ini memiliki struktur kompleks dengan ikatan azo ($-\text{N}=\text{N}-$) (Gurse *et al.* 2023), rumus molekul $\text{C}_{27}\text{H}_{18}\text{ClN}_7\text{Na}_4\text{O}_{16}\text{S}_5$ dan berat molekul sekitar 984,2 g/mol. *Remazol Red* memiliki panjang gelombang di rentang 517-525 nm (Ibrahim *et al.*, 2020). Sifat kimia dari *Remazol Red* dapat dilihat dari struktur *Remazol Red* yang memiliki cincin aromatik, gugus azo, gugus hidroksi, dan gugus vinilsulfon yang bersifat reaktif (Ibrahim *et al.* 2020). Stabilitas ikatan aromatik dan azo menyebabkan limbah cair yang mengandung *Remazol Red* sulit terdegradasi alami, memiliki warna pekat,

nilai COD dan BOD tinggi, serta bersifat toksik terhadap organisme air (Mutuara *et al.* 2020).



Gambar 2.1 Struktur Remazol Red RB 133

(Sumber : Ibrahim *et al.*, 2020)

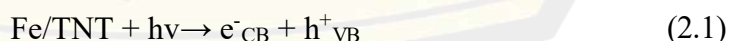
2.3. Fotokatalis Fe/TNT

Titanium dioksida (TiO_2) memiliki celah pita yang besar yaitu 3,02 eV pada fase rutile dan 3,2 eV pada fase anatase. Titanium dioksida (TiO_2) dapat berfungsi sebagai fotokatalis semikonduktor prototipe yang baik karena menghasilkan elektron-hole yang dapat mempengaruhi proses fotokatalitik (Guo *et al.* 2019). TiO_2 nanotube merupakan bahan nano yang digunakan untuk sistem fotokatalitik dan sebagai agen untuk menganalisis lingkungan, TiO_2 nanotube (TNT) memiliki luas permukaan yang berkisar antara 100 m^2/g hingga 400 m^2/g (Subramaniam *et al.* 2017). TiO_2 nanotube menggunakan dopan Fe salah satu dopan yang paling efektif pada proses fotokatalitik. Fe^{3+} merupakan dopan yang efektif pada TiO_2 karena memiliki jari-jari ionik yang hampir sama dengan Ti^{4+} , sehingga dapat menggantikan posisi Ti^{4+} dalam kisi kristal TiO_2 . Tingkat energi $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ yang berada dekat dengan $\text{Ti}^{3+}/\text{Ti}^{4+}$ memungkinkan terbentuknya perangkap elektron dan hole yang dapat menghambat rekombinasi pasangan elektron-hole. Pemisahan muatan menjadi lebih efektif sehingga aktivitas fotokatalitik TiO_2 meningkat (Borji *et al.* 2014). Penelitian yang dilakukan Qattali *et al.* (2024) mengenai sintesis TiO_2 nanotube menghasilkan energi band gap paling kecil yaitu 2,84 eV pada variasi 2,0 wt% $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Penelitian yang dilakukan Wei *et al.* (2013) mengenai sintesis TiO_2 nanotube menurunkan energi band gap hingga 2,75 eV pada variasi dopan 4,87 wt% $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Yuan *et al.* (2014) melakukan penelitian mengenai sintesis

TiO₂ *nanotube* menggunakan dopan Fe dengan metode hidrotermal dan menghasilkan energi band gap 3,05 eV pada variasi dosis Fe 3,48 wt%.

Penelitian Nailul (2025) juga menunjukkan bahwa doping Fe pada Fe/TNT memberikan perubahan signifikan pada sifat kristalinitas, morfologi, dan optik, ditunjukkan dengan pergeseran bandgap dari 3,2 eV menjadi 2,7–2,8 eV serta struktur *nanotube* berpori yang memperbesar kontak antara fotokatalis. Hasil tersebut menegaskan bahwa material Fe/TNT berpotensi besar sebagai fotokatalis efektif untuk pengolahan limbah cair batik. Hasil Karakterisasi dari peneliti sebelumnya Nailul (2025) dilihat pada hasil difraktogram pada menunjukkan semua sampel memiliki fasa anatase lampiran 2.1. *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada Lampiran 2.2 memperlihatkan morfologi *nanotube*, di mana TNT murni memiliki diameter lebih besar dibandingkan Fe/TNT, sedangkan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX) mengidentifikasi keberadaan Fe pada lampiran 2.3. *Transmission Electron Microscopy* (TEM) pada Lampiran 2.4 menunjukkan *nanotube* dengan diameter luar 6,89 nm, diameter dalam 2,82 nm dan ketebalan dinding 2,65 nm pada Fe/TNT 1%. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) pada lampiran 3.5 menunjukkan vibrasi O–H di kisaran 3400–3600 cm⁻¹, Ti–O di kisaran 600–700 cm⁻¹, Ti–O–Ti di kisaran 850–950 cm⁻¹, gugus Fe–O–Ti dikisaran panjang gelombang 432 cm⁻¹. BET lampiran 2.6 menunjukkan luas permukaan TNT murni 122,8 m²/g, meningkat hingga 134,02 m²/g pada Fe/TNT 1%, lalu menurun pada konsentrasi lebih tinggi. *Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS) menunjukkan band gap menyempit dari 3,20 eV (TNT) menjadi 2,81 eV (Fe/TNT 2%) pada lampiran 2.7, sehingga lebih aktif di bawah cahaya tampak.

Mekanisme fotokatalisis Fe/TNT dimulai ketika foton cahaya diserap oleh permukaan fotokatalis, sehingga elektron (e⁻) pada pita valensi tereksitasi ke pita konduksi dan meninggalkan *hole* (h⁺) pada pita valensi :



Hole (h⁺) selanjutnya mengoksidasi H₂O atau OH⁻ membentuk radikal hidroksil (•OH)



sementara elektron (e^-) mereduksi O_2 menjadi anion superoksida ($O_2^{\bullet-}$):



Kedua spesies reaktif ini bereaksi dengan molekul zat warna organik seperti *Remazol Red*, memutus ikatan azo ($-N=N-$) dan cincin aromatik hingga terdegradasi menjadi CO_2 dan H_2O . Doping Fe^{3+} berperan menurunkan band gap, memperlambat rekombinasi e^-h^+ melalui siklus Fe^{2+}/Fe^{3+} , sehingga meningkatkan efisiensi degradasi senyawa organik (Abbas, 2021).

2.4 Variasi yang Mempengaruhi Aktivitas Fotokatalis

2.4.1 Variasi Jenis Katalis

Jenis katalis berperan penting dalam menentukan efisiensi fotodegradasi *Remazol Red*. TiO_2 anatase murni stabil namun hanya aktif di wilayah UV (<400 nm), sehingga diperlukan modifikasi doping logam (Fe, Cu, Mg, Al) atau nonlogam (N, C) untuk memperluas aktivitas ke cahaya tampak. Doping adalah unsur yang ditambahkan ke dalam struktur semikonduktor untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik. Peneliti Teng *et al.* (2013) melaporkan bahwa Fe/TNT hasil sintesis hidrotermal memiliki morfologi tubular berpori yang mendukung aktivitas fotokatalitik. Fe/TNT mampu mendegradasi *Methyl Orange* hingga 59% dalam 1 jam, lebih tinggi dibandingkan TNT tanpa doping (14%), menunjukkan bahwa doping Fe meningkatkan aktivitas fotokatalitik di bawah cahaya tampak. Peneliti lainnya seperti El-Dossoki *et al.* (2021) menunjukkan bahwa TiO_2 anatase nanopartikel mampu mendegradasi *Remazol Red B* hingga 85% dalam 45 menit. Hasil tersebut, Fe/TNT dinilai potensial sebagai katalis efektif karena kombinasi struktur *nanotube* dan doping Fe mampu meningkatkan efisiensi fotokatalitik di bawah cahaya tampak.

2.4.2 Variasi Lama Penyinaran

Waktu penyinaran mempengaruhi efisiensi fotokatalisis *Remazol Red* karena menentukan jumlah radikal hidroksil yang terbentuk. Penyinaran awal terjadi degradasi cepat lalu melambat mengikuti kinetika orde pertama (Abbas, 2021). Penelitian El-Dossoki *et al.* (2021) melaporkan bahwa TiO_2 anatase nanopartikel mampu mendegradasi *Remazol Red B* hingga 99% dalam selang waktu 10 menit dan mencapai kesetimbangan pada waktu 80 menit. Peneliti (Zafar & Kim,

2020) juga melaporkan bahwa Fe-TiO₂ hasil sintesis hidrotermal menunjukkan aktivitas tinggi sekitar 180 menit dengan melakukan lama penyinaran 60-180 menit, sehingga terbentuk radikal hidroksil yang lebih banyak. Peneliti Santhi *et al.* 2015, katalis TiO₂ dengan *Remazol Brown* melakukan lama penyinaran 0-120 menit dan optimum di 90 menit. Jenis katalis Fe/TNT berpotensi memberikan efisiensi tertinggi terhadap *Remazol Red* dengan waktu penyinaran optimum sekitar 90 menit di bawah cahaya tampak.

2.4.3 Variasi pH Larutan *Remazol Red*

pH larutan *Remazol Red* merupakan degradasi fotokatalitik yang mempengaruhi spesiasi ionik, spesiasi ionik zat warna, muatan permukaan fotokatalis, serta gaya antar molekul yang terjadi selama adsorpsi. Penelitian Abbas (2021) menggunakan TiO₂ anatase nanopartikel pada rentang pH 2–12 dan menunjukkan bahwa kondisi asam (pH 3) memberikan adsorpsi tertinggi akibat permukaan katalis bermuatan positif yang tertarik pada gugus -SO₃⁻ dari *Remazol Red RB*. Penelitian lain El-Dossoki *et al.*, (2021) yang menggunakan TiO₂ anatase nanopartikel dengan rentang pH 2–12 bahwa kondisi asam (pH 5) menurunkan efisiensi degradasi antara katalis dan anion *dye* terhadap *Remazol Red B*. Menurut Ibrahim *et al.* (2020), penggunaan fotokatalis MgO/Fe₂O₃ pada degradasi *Remazol Red* dengan variasi pH 3–11 juga menunjukkan bahwa kondisi asam pH 3, memberikan aktivitas degradasi yang paling optimal.

2.4.4 Variasi Dosis Fotokatalis TiO₂

Dosis fotokatalis berperan penting dalam menentukan efisiensi degradasi *Remazol Red* karena berkaitan dengan jumlah situs aktif pada permukaan katalis. Menurut Penelitian Reddy *et al.* (2016) menggunakan katalis Fe dan TiO₂ dengan variasi dosis 0,2 -5 g/L optimum 4 g/L (Fe) dan 3 g/L (TiO₂). Penelitian Abbas (2021) menggunakan TiO₂ anatase nanopartikel dengan dosis 0,1–2,0 g/L, dan melaporkan bahwa peningkatan degradasi pada dosis 0,5 g/L terhadap *Remazol Red RB*. Menurut El-Dossoki *et al.* (2021) menggunakan TiO₂ anatase nanopartikel dengan dosis 0,1–1,0 g/L mencapai efisiensi optimum 0,4 g/L yang mampu mendegradasi *Remazol Red B*. Dosis optimum berada pada kisaran 0,4–0,8 g/L, dan

katalis dengan morfologi TiO₂ dinilai efektif karena memiliki luas permukaan besar dan porositas tinggi.

2.4.5 Konsentrasi *Remazol Red*

Konsentrasi awal zat warna mempengaruhi efisiensi fotodegradasi *Remazol Red* karena menentukan tingkat interaksi antara molekul *dye* dan permukaan katalis. Konsentrasi pada kondisi larutan encer, molekul *dye* lebih mudah berinteraksi dengan permukaan katalis, sedangkan pada larutan pekat, penyerapan cahaya berkurang dan laju degradasi menurun. Menurut El-Dossoki *et al.* (2021) dengan TiO₂ anatase nanopartikel menjelaskan bahwa hasil optimum konsentrasi *Remazol Red B* pada 10–25 ppm. Konsentrasi tersebut terjadi reaksi fotokatalitik berlangsung optimal karena pembentukan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) lebih efisien. Peneliti Abbas *et al.*, (2021) menggunakan TiO₂ anatase nanopartikel menunjukkan penurunan efisiensi pada konsentrasi tinggi (≥ 50 mg/L) akibat kejenuhan permukaan terhadap *Remazol Red RB*. Lata *et al.* (2024) dengan modifikasi TiO₂ nanokomposit, melaporkan hasil optimum pada konsentrasi 20–30 mg/L terhadap *Remazol Red RB*.

2.4.6 Variasi Struktur Kristal dan Morfologi

Struktur kristal, morfologi, dan ukuran partikel sangat mempengaruhi kinerja fotokatalis. Fase anatase TiO₂ lebih aktif dibanding rutil atau brookite karena mobilitas elektron lebih tinggi dan rekombinasi lebih rendah, sedangkan kombinasi anatase–rutil dapat memberi efek sinergis melalui transfer muatan (Abbas, 2021). Peneliti Abbas, (2021) menggunakan TiO₂ anatase nanopartikel untuk fotodegradasi *dye red 80*. Peneliti El-Dossoki *et al.*, (2021) melaporkan bahwa TiO₂ anatase nanopartikel efektif mendegradasi *Remazol Red B* pada konsentrasi optimum 10–25 mg/L di bawah sinar UV.

2.4.7 Variasi Suhu Reaksi

Suhu reaksi digunakan menentukan fotokatalisis. Peningkatan suhu dalam rentang 25–50 °C meningkatkan efisiensi karena mempercepat transfer muatan serta interaksi katalis dengan molekul polutan. Penelitian (Chen *et al.* 2019). Menggunakan TiO₂ nanorod termodifikasi Fe dan melaporkan bahwa peningkatan suhu dari 25 hingga 50 °C meningkatkan efisiensi degradasi *Remazol Red B* dengan

hasil optimum pada kisaran 40–45 °C. (Khan *et al.* 2024) yang menggunakan TiO₂ nanokomposit menjelaskan bahwa suhu tinggi di atas 50–60 °C justru menurunkan efisiensi terhadap *Remazol Red B*. Suhu rendah, difusi molekul dan pembentukan radikal oksidatif berjalan lambat, sedangkan peningkatan suhu hingga kondisi optimum sekitar suhu ruang hingga 50°C dapat mempercepat transfer muatan sehingga degradasi meningkat (Khan *et al.* 2024).

2.4.8 Uji Reusabilitas

Uji reusabilitas fotokatalis merupakan metode yang bertujuan menilai kestabilan dan ketahanan katalis setelah digunakan berulang kali. Fotokatalis yang baik harus menunjukkan penurunan efisiensi minimal pada siklus berulang. Penelitian El-Dossoki *et al.* (2021) melakukan uji reusabilitas dengan jenis katalis TiO₂ murni hingga tiga siklus penggunaan untuk mempertahankan efisiensi degradasi *Remazol Red* dengan hasil persen *removal* 85%. Peneliti Ibrahim *et al.* (2020) melaporkan Fe-W-3w pada reusabilitas diperoleh persen *removal* 91% pada siklus keempat, hasil tersebut menunjukkan bahwa Fe-W-3w memiliki daya guna ulang yang sangat baik untuk degradasi *Remazol Red*. Zafar dan Kim (2020), mendapatkan hasil dari uji reusabilitas pada Fe/TNT *nanotube* dengan persen *removal* 75 % sebanyak empat siklus. Keberhasilan uji recycle bergantung pada sifat katalis, tetapi juga pada optimasi kondisi reaksi seperti pH, konsentrasi, dan dosis agar efisiensi degradasi tetap stabil.

2.5 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis merupakan instrumen analisis yang digunakan untuk mengukur serapan cahaya oleh suatu sampel dengan panjang gelombang daerah ultraviolet 200–400 nm dan tampak 400–800 nm. Spektroskopi UV-Vis merupakan metode utama untuk memantau degradasi dan konsentrasi zat warna dalam limbah tekstil, dengan prinsip pengukuran serapan cahaya pada 400–600 nm di mana gugus kromofor azo seperti *Remazol Red* menyerap pada λ maks tertentu (El-Dossoki *et al.* 2021). Konsentrasi pewarna pada waktu tertentu (Ct) ditentukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis melalui kurva kalibrasi linear $y = mx + c$, di mana y adalah absorbansi, x konsentrasi, m kemiringan garis, dan c intersep, sesuai hukum Lambert–Beer. Konsentrasi sisa pewarna (Ct) diperoleh

dari kurva kalibrasi menggunakan persamaan (2.1). Hubungan antara absorbansi dan konsentrasi relatif dinyatakan pada persamaan (2.2). Nilai C_t yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung efisiensi fotodegradasi, sebagaimana dilakukan oleh Lata et al. (2024).

$$C_t = \frac{y - c}{m} \quad (2.1)$$

(El-Dossoki *et al.*, 2021)

Hubungan antara konsentrasi relatif dan adsorbansi menggunakan rumus:

$$\frac{A_t}{A_0} = \frac{C_t}{C_0} \quad (2.2)$$

Rasio C_t/C_0 menunjukkan konsentrasi relative atau fraksi zat warna yang masih tersisa dalam larutan setelah proses adsorpsi maupun fotodegradasi berlangsung. Nilai C_t/C_0 semakin besar jumlah zat warna berhasil teradsorpsi atau terdegradasi

Efisiensi degradasi fotokatalitik kemudian dihitung dengan rumus:

$$\%removal = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (2.3)$$

Keterangan :

- y = Nilai adsorbansi pada panjang gelombang maksimum
- m = Kemiringan (*slope*) dari persamaan kurva kalibrasi
- c = Intersep dari persamaan kurva kalibrasi
- C_0 = Konsentrasi awal *Remazol Red* (ppm)
- C_t = Konsentrasi sisa *Remazol Red* pada waktu t (ppm)
- A_0 = Absorbansi pada panjang gelombang maksimum (nm)
- C_t = Absorbansi pada waktu (nm)
- C_t/C_0 = Konsentrasi zat warna yang tersisa terhadap konsentrasi awal.
- $\% Removal$ = Persentase degradasi atau efisiensi penghilangan zat warna

(El-Dossoki *et al.*, 2021)

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Instrumen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember. Karakterisasi Spektrofotometer Uv-Vis yang dilakukan di Universitas Jember Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, laboratorium kimia. Kalsinasi dilakukan pada laboratorium Fisika Material. Waktu penelitian dilaksanakan mulai dari bulan Desember 2025 sampai Juni 2026.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *beaker glass* 100 mL(Iwaki), anak stirrer, *ball* pipet, batang pengaduk, botol semprot, corong, *hot plate*, kaca arloji, labu ukur 5 mL (Iwaki), labu ukur 100 mL (Iwaki), set reaktor fotokatalis, lampu visibel (Hannosch LED 100 watt) (350-700 nm), furnace (Carbolite CWF 13/13), neraca analitik, oven (memmert), pH meter (Eutech pH 5+), pipet tetes, pipet mohr 5 mL (Iwaki), pipet volume 20 mL (Iwaki), spatula, spektrofotometer UV-Vis (*Thermo Scientific Genesys 10S UV-Vis* (Barcov)).

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu akuades, TiO_2 micropowder, NaOH (*Merck*), HCl 37% (*Merck*), H_3PO_4 (*Merck*), Na_2HPO_4 (*Merck*), KH_2PO_4 (*Merck*), $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (*Merck*), aluminium foil, dye *Remazol Red* by PT.Dystar Indonesia, minyak goreng, kertas pH, kertas *Whathman 42* (Cytiva).

3.3 Prosedur Percobaan

3.3.1 Sintesis Fe/TiO₂ Nanotube (Fe/TNT)

Penelitian ini menggunakan dua prosedur Sintesis TNT dan Uji aktivitas fotokatalis pada Lampiran 3. Sintesis TNT dilakukan dengan metode hidrotermal satu tahap menggunakan TiO_2 mikropowder (1,69 g) dan NaOH 10 M (85 mL; rasio mol 0,025:1), diaduk 300 rpm selama 30 menit hingga homogen, lalu ditambahkan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan variasi dopan 0%; 0,1%; 0,3%; 1,0%; dan 2,0% (Qattali *et al.* 2024). Campuran diaduk kembali 30 menit, kemudian dimasukkan ke dalam *autoclave* baja berlapis teflon (100 mL, keterisian 85%) dengan stirrer 3 cm,

dipanaskan dalam *oil bath* pada 130 °C selama 24 jam dengan pengadukan berkala 20 menit/jam pada 400 rpm (Haryati *et al.* 2023). Pendinginan yang telah dilakukan, padatan hasil hidrotermal didiamkan 3 jam pada suhu ruang hingga terbentuk 2 fasa, kemudian didekantasi, dicuci dengan HCl 1 M hingga pH 3, didiamkan kembali 3 jam, lalu dicuci dengan akuades sampai pH netral. Padatan dikeringkan dalam oven 80 °C selama 12 jam, kemudian dikalsinasi pada 400 °C selama 2 jam.

3.3.2 Uji Aktivitas Fotokatalis TNT dengan Dopan Fe

a. Pembuatan Kurva Kalibrasi

Kurva kalibrasi dibuat dengan menyiapkan larutan stok. *Remazol Red* ditimbang sebanyak 0,1 gram (100 mg), lalu dilarutkan dengan sedikit akuades. Larutan tersebut kemudian dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL lalu ditambah akuades hingga tanda batas (1000 ppm) (Ibrahim *et al.* 2020). Variasi konsentrasi yang digunakan ada 10 dan 1 blanko (0 ppm). Variasi yang digunakan yaitu (1 ppm; 2 ppm; 3 ppm; 4 ppm; 5 ppm; 10 ppm; 15 ppm; 20 ppm; 25 ppm, 30 ppm). Sampel kemudian dilakukan *scanning* dengan panjang gelombang 400 - 600 nm dengan interval 1 nm (Ibrahim *et al.*, 2020). Konsentrasi 15 ppm digunakan sebagai acuan untuk mencari panjang gelombang maksimum. Hasil absorbansi dicatat lalu dibuat grafik atau kurva absorbansi terhadap variasi konsentrasi larutan standar untuk mengetahui garis linearnya dan regresinya (El-Dossoki *et al.* 2021).

b. Adsorpsi Fotokatalis Fe/TNT

Larutan *Remazol Red* 25 ppm sebanyak 25 mL dimasukkan ke dalam gelas kimia 50 mL, lalu ditambah dosis katalis Fe/TNT setiap variasi dosis katalis (0-2%0) sebanyak 50 mg. Campuran diaduk dengan stirrer 800 rpm dalam kondisi gelap. Adsorpsi dilakukan dengan interval waktu 10 menit hingga 50 menit, kemudian disentrifugasi 400 rpm selama 15 menit, dilanjutkan dengan proses penyaringan berulang sebanyak 2 kali untuk memperoleh filtrat, kemudian dianalisis menggunakan UV-Vis pada rentang panjang gelombang 400–600 nm untuk menentukan konsentrasi awal degradasi. Perlakuan ini dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan. Nilai adsorpsi dinyatakan sebagai perbandingan C_t/C_0 berdasarkan Persamaan 2.2 (El-Dossoki *et al.* 2021; Ibrahim *et al.* 2020).

- c. Pengaruh Variasi Persen Dosis $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ terhadap Fotokatalis Remazol Red dengan Lama Penyinaran

Larutan *Remazol Red* 25 ppm sebanyak 25 mL dimasukkan ke dalam gelas kimia 50 mL, lalu ditambahkan Fe/TNT 50 mg setiap variasi dosis katalis (0-2%) (Nailul,2025). Campuran diaduk 800 rpm dalam fotoreaktor tertutup berlapis aluminium foil, kemudian dilakukan adsorpsi tanpa cahaya hasil maksimal dari poin b. Langkah selanjutnya dilakukan fotokatalisis tanpa katalis dan menggunakan katalis dengan penyinaran lampu LED Hannochs 100 watt (350–700 nm) pada interval 30 menit hingga 180 menit. Sampel hasil fotodegradasi dilakukan sentrifugasi, penyaringan, dan analisis spektrofotometer UV-Vis sama seperti prosedur sebelumnya serta dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan. Hasil optimum yang diperoleh digunakan untuk menentukan nilai C_t/C_0 berdasarkan Persamaan 2.2 dan persen *removal* berdasarkan Persamaan 2.3 (El-Dossoki *et al.* 2021; Ibrahim *et al.*2020; Lata *et al.*2024).

- d. Pengaruh Variasi pH Larutan *Remazol Red* dye terhadap Aktivitas Fotokatalis

Larutan *Remazol Red* 25 ppm sebanyak 25 mL dimasukkan ke dalam gelas kimia 50 mL. Larutan diatur pH menggunakan larutan buffer non organik H_3PO_4 , KH_2PO_4 , HCl (asam) ditambah NaOH, NaH_2PO_4 (basa) pada lampiran 3.2 dengan variasi pH 2,3,4,5,8. Katalis Fe/TNT maksimal poin c ditambahkan sebanyak 50 mg. Prosedur selanjutnya dilakukan adsorpsi optimum tanpa cahaya dari poin b, dilanjutkan fotokatalisis dengan waktu optimum poin c, lalu dilakukan sentrifugasi, penyaringan dan dianalisis spektrofotometer UV-Vis sama seperti prosedur sebelumnya serta dilakukan 3 kali pengulangan (Abbas, 2021; El-Dossoki *et al.*2021; Ibrahim *et al.*2020; Lata *et al.*2024). Hasil yang optimum digunakan untuk menentukan persen *removal* pada persamaan 2.3.

- e. Pengaruh Variasi Dosis Katalis terhadap Aktivitas Fotokatalis

Larutan dye *Remazol Red* 25 ppm sebanyak 25 mL dengan pH optimum pada poin d. Katalis Fe/TNT maksimal poin c ditambahkan sesuai variasi dosis 1,2,3,4,5, dan 6 g/L. Prosedur selanjutnya dilakukan adsorpsi optimum (tanpa cahaya) poin b, dilanjutkan fotokatalisis dengan waktu optimum pada poin c, lalu

dilakukan sentrifugasi, penyaringan dan dianalisis spektrofotometer UV-Vis sama seperti prosedur sebelumnya serta dilakukan 3 kali pengulangan (El-Dossoki *et al.* 2021; Ibrahim *et al.* 2020; Reddy *et al.* 2016). Hasil yang optimum digunakan untuk menentukan persen *removal* pada persamaan 2.3.

3.3.3 Uji Reusabilitas Katalis

Uji daur ulang katalis dilakukan untuk mengevaluasi stabilitas dan reusabilitasnya setelah beberapa siklus fotokatalisis. Fotokatalis pada kondisi optimum poin b,c,d,e, campuran disentrifugasi 400 rpm, 15 menit untuk memisahkan katalis lalu diukur analisis UV-Vis 400–600 nm (El-Dossoki *et al.* 2021). Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan. Endapan katalis dicuci dimana setiap siklus 30 mL akuades (2 kali pencucian) dan etanol 20 mL (1 kali pencucian) (Zafar dan Kim, 2020), lalu disentrifugasi, disaring dan dikeringkan 105 °C selama 8 jam di oven lalu sampel didesikator. Katalis kering ditimbang dan digunakan kembali pada siklus fotokatalisis berikutnya hingga beberapa siklus. Setiap siklus dibandingkan dengan siklus pertama untuk menilai penurunan aktivitas katalis (El-Dossoki *et al.* 2021; Ibrahim *et al.* 2020). Data absorbansi yang diperoleh digunakan untuk membuat grafik hubungan panjang gelombang terhadap absorbansi serta menentukan persen *removal* pada persamaan 2.3.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis TiO_2 *nanotube* (TNT) dilakukan menggunakan metode hidrotermal satu tahap dengan penambahan dopan Fe^{3+} sebesar 0–2% dosis. Proses sintesis diawali dengan pencampuran TiO_2 mikropowder dan NaOH 10 M untuk membentuk natrium titanat sebagai prekursor *nanotube*. Penambahan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dilakukan sebelum proses hidrotermal untuk memodifikasi sifat elektronik TiO_2 sehingga aktivitas fotokatalitik material meningkat. Proses hidrotermal pada suhu $130\text{ }^\circ\text{C}$ selama 24 jam menghasilkan struktur *nanotube* yang kemudian dicuci menggunakan HCl hingga pH 3 dan akuades hingga pH 7 untuk menghilangkan ion Na^+ dan Cl^- yang tersisa. Material selanjutnya dikalsinasi pada suhu $400\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam untuk membentuk struktur kristal anatase. Hasil sintesis Fe/TNT menunjukkan adanya perubahan warna dari putih menjadi putih kekuningan seiring meningkatnya variasi persen massa Fe yang digunakan. Perubahan warna tersebut mengindikasikan bahwa Fe telah berhasil terdoping pada material TNT. Warna kekuningan yang semakin pekat kemungkinan disebabkan oleh terbentuknya Fe_2O_3 amorf dalam jumlah kecil pada permukaan TiO_2 *nanotube* (Nailul, 2025).

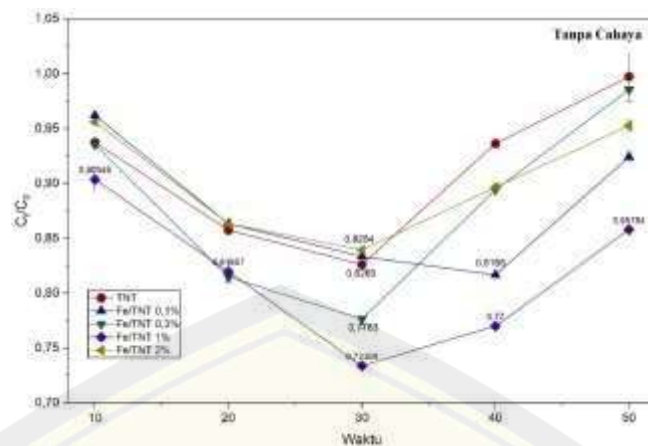
4.1 Pengaruh Variasi Persen Dosis Dopan Fe^{3+} Pada TiO_2 Nanotube (Fe/TNT) Terhadap Aktivitas Fotokatalis Remazol Red

Pengaruh variasi persen massa dopan Fe^{3+} pada TiO_2 *nanotube* (Fe/TNT) bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan dopan Fe terhadap aktivitas fotokatalitik dalam mendegradasi *Remazol Red* berdasarkan kemampuan adsorpsi dan efektivitas fotodegradasi pada berbagai lama penyinaran. Pengujian diawali dengan pembuatan kurva kalibrasi untuk menentukan hubungan antara konsentrasi larutan zat warna *Remazol Red* dengan nilai absorbansinya, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan konsentrasi sampel pada proses adsorpsi maupun fotokatalisis. Hasil kurva kalibrasi yang didapatkan pada lampiran 5 gambar 5.1 yaitu *Remazol Red* berada pada panjang gelombang 518 nm dengan persamaan garis linier $y = 0,02713x - 0,0038$ dengan nilai $R^2 = 0,9996$. Hasil panjang gelombang *Remazol Red* telah sesuai dengan penelitian yang dilakukan

Ibrahim *et al.* (2020) menyatakan bahwa *Remazol Red* berada pada panjang gelombang 518 nm.

Pengujian kedua yaitu uji adsorpsi dilakukan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi katalis terhadap larutan *Remazol Red* sebelum proses fotokatalisis. Proses adsorpsi dipengaruhi oleh jumlah situs aktif, luas permukaan, dan waktu kontak antara katalis dengan larutan. Adsorpsi berlangsung melalui tahap adsorpsi cepat pada awal kontak, kemudian laju adsorpsi menurun akibat berkurangnya situs aktif hingga tercapai kesetimbangan adsorpsi–desorpsi. Permukaan katalis sebagian besar telah terisi oleh molekul zat warna (Ibrahim *et al.* 2020). Nilai C_t/C_0 yang semakin kecil menunjukkan kemampuan adsorpsi yang semakin baik karena semakin banyak molekul zat warna yang terikat pada permukaan katalis (Lata *et al.* 2024).

Gambar 4.1 menunjukkan semua katalis mencapai waktu optimum adsorpsi pada menit ke-30, kecuali Fe/TNT 0,1% mencapai waktu optimum pada menit ke-40 yang membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai kondisi optimum karena jumlah dopan Fe yang masih rendah sehingga peningkatan situs aktif belum berlangsung maksimal. Pola grafik tersebut menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung cepat pada awal kontak dan mulai mencapai kesetimbangan setelah kondisi optimum tercapai. Fe/TNT 1% menunjukkan kemampuan adsorpsi paling baik dibandingkan variasi lainnya. Hasil BET menunjukkan bahwa Fe/TNT 1% mempengaruhi luas permukaan material sehingga jumlah situs aktif adsorpsi meningkat pada Lampiran 2 Gambar 2.2. Kondisi tersebut menyebabkan molekul zat warna lebih mudah teradsorpsi pada permukaan katalis. Fe/TNT 2%, kemampuan adsorpsi kembali menurun akibat terjadinya aglomerasi partikel Fe yang terlihat pada hasil SEM berupa gumpalan partikel sehingga sebagian pori dan situs aktif tertutup. Kondisi tersebut ditunjukkan oleh penurunan luas permukaan dan morfologi yang semakin tidak teratur akibat penggumpalan partikel Fe. Keberadaan gugus hidroksil (–OH) pada hasil FTIR juga mendukung proses adsorpsi karena dapat membantu interaksi antara permukaan katalis dan molekul zat warna (Ibrahim *et al.* 2020).



Gambar 4.1 Grafik hubungan waktu terhadap larutan dye remazol red pada kondisi tanpa penyinaran dari Fe/TNT

Hasil penelitian ini juga sejalan dengan El-Dossoki *et al.* (2021) yang melaporkan bahwa katalis TiO_2 nanomaterial dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi terhadap *Remazol Red B* dengan waktu kesetimbangan adsorpsi sekitar 30 menit. Fe/TNT 1% pada penelitian ini menunjukkan adsorpsi paling baik daripada variasi yang lain dan sesuai dengan luas permukaan. Perbedaan waktu optimum tersebut menunjukkan bahwa keberadaan dopan Fe dan struktur *nanotube* mempengaruhi proses interaksi antara katalis dan molekul zat warna. Hasil ini didukung oleh teori Qattali *et al.* (2024), bahwa doping Fe pada TiO_2 *nanotube* mampu meningkatkan kemampuan adsorpsi pada konsentrasi optimum, namun akan menurun pada konsentrasi dopan yang terlalu tinggi akibat aglomerasi partikel dan penutupan pori material. Perubahan luas permukaan dan volume adsorpsi sangat mempengaruhi kemampuan adsorpsi material terhadap molekul zat warna.

Uji fotodegradasi Fe/TNT dilakukan untuk mengetahui aktivitas fotokatalitik persen degradasi dari *Remazol Red* yang telah ditambahkan katalis dan penyinaran. Perlakuan ini dilakukan dengan hasil katalis optimum dari proses adsorpsi sebelumnya, kemudian dilanjutkan dengan lama penyinaran 30, 60, 90, 120, 150, 180 menit. Lampiran 5, Gambar 5.3 menunjukkan hubungan nilai C_t/C_0 terhadap lama penyinaran, di mana penurunan nilai C_t/C_0 menunjukkan bahwa konsentrasi *Remazol Red* semakin berkurang selama proses fotokatalisis. Lama waktu penyinaran semakin lama maka jumlah radikal aktif yang terbentuk semakin

banyak sehingga persen *removal* meningkat hingga mencapai kondisi optimum (El-Dossoki *et al.*, 2021; Ibrahim *et al.*, 2020). Variasi katalis menunjukkan kondisi optimum pada 120 menit kecuali Fe/TNT 1% yang mencapai optimum 90 menit. Fe/TNT 1% menunjukkan aktivitas fotokatalitik terbaik dibandingkan variasi lainnya.

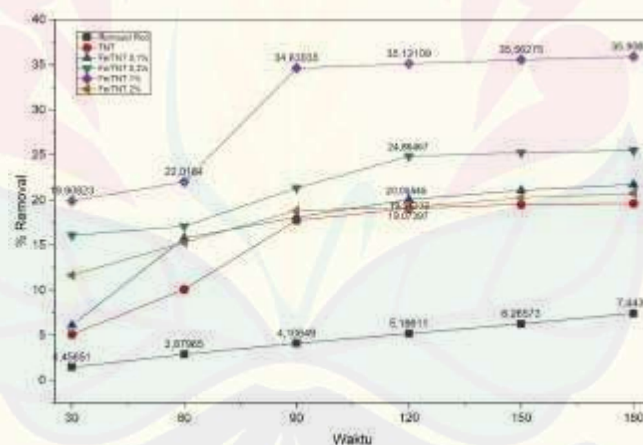
Gambar 4.3 dan Tabel 4.1 menunjukkan bahwa persen *removal* meningkat seiring bertambahnya waktu penyinaran hingga mencapai kondisi optimum. Beberapa katalis menunjukkan peningkatan persen *removal* secara bertahap hingga mencapai kondisi optimum 120 menit, sedangkan Fe/TNT 1% mencapai kondisi optimum lebih cepat pada 90 menit dengan persen *removal* 34,63%. Kondisi optimum yang tercapai terjadi peningkatan persen *removal* yang cenderung melambat dan relatif stabil hingga akhir waktu penyinaran, yang menunjukkan proses fotodegradasi mencapai waktu kesetimbangan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa doping Fe pada konsentrasi optimum mampu meningkatkan aktivitas fotokatalitik TiO₂ *nanotube*. Peningkatan aktivitas fotokatalitik Fe/TNT 1% berhubungan dengan karakteristik permukaannya berdasarkan hasil BET, yang menunjukkan luas permukaan spesifik sebesar 134,02 m²/g. Hasil UV-Vis DRS menunjukkan energi band gap Fe/TNT 1% menurun menjadi 2,89 eV sehingga material lebih mudah tereksitasi oleh cahaya tampak dan menghasilkan radikal aktif lebih banyak.

Kondisi Fe/TNT 2% menunjukkan penurunan aktivitas fotokatalitik dengan persen *removal* sebesar 19,17% akibat kelebihan dopan Fe yang menyebabkan aglomerasi partikel, penurunan luas permukaan, serta meningkatnya pusat rekombinasi elektron–*hole* sehingga proses fotokatalisis menjadi kurang efektif (Ibrahim *et al.* 2020). Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fotokatalis mengandung dopan Fe memiliki aktivitas fotokatalitik yang lebih tinggi dibandingkan TNT tanpa dopan. Keberadaan Fe berperan dalam meningkatkan pemanfaatan energi cahaya dan mempercepat pembentukan spesies oksidatif yang berkontribusi terhadap proses degradasi *Remazol Red*. Penambahan Fe yang berlebihan dapat menurunkan efektivitas fotokatalis. Kecenderungan tersebut menunjukkan bahwa optimasi konsentrasi dopan merupakan faktor penting dalam

memperoleh aktivitas fotokatalitik yang maksimal, karena tidak hanya memengaruhi sifat optik material, tetapi juga karakteristik permukaan dan efisiensi pemisahan pasangan *elektron-hole*.

Tabel 4.1 Pengaruh Variasi Persen Dosis Fe terhadap Aktivitas Fotokatalitik Fe/TNT Berdasarkan Persentase *Removal Remazol Red*

Waktu Penyinaran (menit)	% Removal					Fotolisis Dye
	TNT	Fe/TNT 0,1%	Fe/TNT 0,3%	Fe/TNT 1%	Fe/TNT 2%	
30	5,08	6,11	16,08	19,90	11,66	1,33
60	10,09	15,78	17,11	22,08	15,29	2,80
90	17,74	18,09	21,33	34,63	18,82	4,05
120	19,07	20,05	24,86	35,12	19,17	5,01
150	19,51	21,08	25,25	35,56	20,25	6,33
180	19,61	21,72	25,50	35,90	20,74	7,88



Gambar 4.2 Grafik hubungan waktu terhadap larutan *Remazol Red* pada lama penyinaran dari Fe/TNT dengan nilai persen *removal*

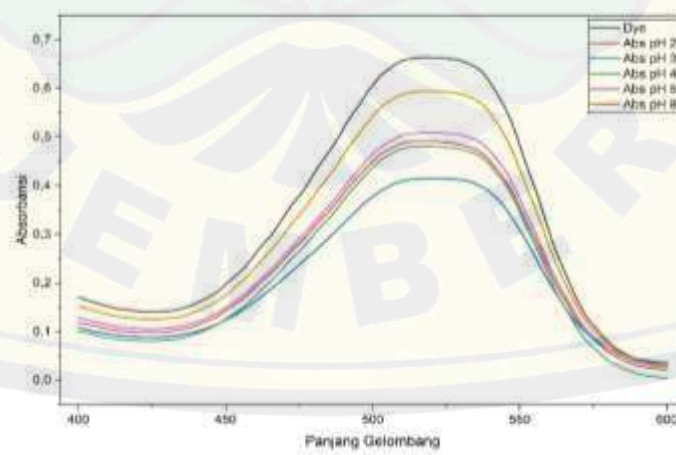
Tabel 4.1 dan gambar 4.2 fotolisis *Remazol Red* menunjukkan pengujian kontrol untuk mengetahui pengaruh penyinaran cahaya terhadap degradasi *Remazol Red* tanpa adanya bantuan fotokatalis. Hasil menunjukkan bahwa persen *removal* meningkat secara bertahap dari 1,33% pada menit ke-30 menjadi 7,89% pada menit ke-180. Nilai degradasi yang relatif rendah (kurang dari 10%) menunjukkan bahwa

proses fotolisis oleh cahaya saja hanya mampu menguraikan sebagian kecil molekul *Remazol Red*. Peningkatan degradasi yang terjadi selama penyinaran menunjukkan adanya pemutusan ikatan kimia zat warna secara langsung oleh energi cahaya, namun jumlah spesies oksidatif yang terbentuk masih sangat terbatas (Hernández-Gordillo *et al.* 2019).

Hasil penelitian Astuti *et al.* (2021) menunjukkan bahwa katalis TiO_2 mampu mendegradasi *Remazol Red* dengan efisiensi *removal* sebesar 32% pada waktu optimum 90 menit, sedangkan Dwiyana *et al.* (2021) melaporkan persen *removal* sebesar 40% pada waktu optimum 120 menit menggunakan katalis Co doped TiO_2 terhadap *Remazol Black*. Pada penelitian ini, Fe/TNT 1% menghasilkan persen *removal* sebesar 34,63% pada waktu optimum 90 menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa doping Fe pada TiO_2 nanotube efektif meningkatkan aktivitas fotokatalitik dibandingkan sistem tanpa katalis yang hanya menghasilkan persen *removal* sebesar 7,89%. Hasil ini sesuai dengan teori Qattali *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa doping Fe pada konsentrasi optimum dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik, namun akan menurun pada konsentrasi dopan yang terlalu tinggi akibat aglomerasi partikel dan meningkatnya rekombinasi elektron–hole.

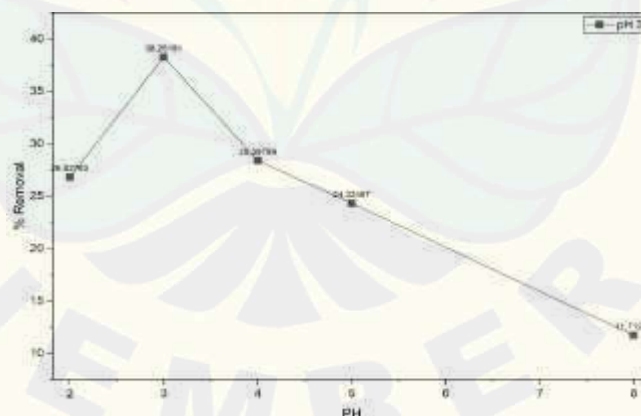
4.2 Pengaruh pH, Dosis Katalis, dan Reusabilitas terhadap Kinerja Fotokatalis Fe/TNT dalam Mendegradasi Remazol Red

4.2.1 Pengaruh pH terhadap Kinerja Fotokatalis Fe/TNT dalam Mendegradasi Remazol Red



Gambar 4.3 Grafik spektra *remazol red* sisa dari variasi pH

Uji variasi pH dilakukan untuk mengetahui kondisi pH optimum agar proses adsorpsi dan fotokatalisis berlangsung secara maksimal, karena pH larutan berpengaruh terhadap muatan permukaan katalis, ketersediaan situs aktif, dan pembentukan spesies reaktif yang mendukung proses degradasi *Remazol Red*. Gambar 4.3 menunjukkan spektrum UV-Vis *Remazol Red* setelah perlakuan fotokatalisis pada berbagai pH. Variasi semua sampel masih menunjukkan puncak serapan maksimum pada 518 nm tanpa adanya pergeseran panjang gelombang yang signifikan. Peristiwa ini menunjukkan bahwa perubahan pH tidak menyebabkan perubahan spesies *Remazol Red* yang dominan dalam larutan. Perbedaan yang terlihat terutama berupa penurunan intensitas absorbansi, di mana pH 3 menghasilkan absorbansi paling rendah dibandingkan pH lainnya. Penurunan absorbansi tersebut mengindikasikan berkurangnya konsentrasi *Remazol Red* akibat proses degradasi yang berlangsung lebih efektif pada kondisi asam. Nilai absorbansi yang diperoleh semakin rendah maka konsentrasi *Remazol Red* yang tersisa dalam larutan setelah proses fotokatalisis semakin sedikit. Hasil spektrum UV-Vis tersebut juga menunjukkan kecenderungan yang sejalan dengan nilai persen *removal*, sehingga perubahan intensitas absorbansi dapat digunakan sebagai indikator keberhasilan proses fotodegradasi pada setiap variasi pH.



Gambar 4.4 Grafik hubungan pH terhadap larutan *Remazol Red* menggunakan Fe/TNT dengan nilai persen *removal*

Pengaruh pH terhadap aktivitas fotokatalitik Fe/TNT dianalisis berdasarkan nilai persen *removal Remazol Red* pada variasi pH 2, 3, 4, 5, dan 8. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa persen *removal Remazol Red* meningkat dari pH

2 hingga mencapai kondisi optimum pada pH 3, kemudian menurun secara bertahap pada pH 4, 5, dan 8. Pola tersebut menunjukkan bahwa perubahan pH memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap aktivitas fotokatalitik Fe/TNT dalam mendegradasi *Remazol Red*. Persen *removal* tertinggi diperoleh pada pH 3 sebesar 38,26%.

Optimasi pH dilakukan sebelum optimasi variasi dosis Fe karena pH merupakan faktor ekstrinsik yang mengendalikan interaksi antara fotokatalis dan *Remazol Red*, sedangkan variasi dosis Fe merupakan faktor intrinsik material. Dasar optimasi pH pada penelitian ini ditentukan oleh dua mekanisme yang saling memengaruhi, yaitu perubahan muatan permukaan fotokatalis berdasarkan *point of zero charge* (PZC) dan perubahan spesiasi ionik *Remazol Red* berdasarkan nilai pKa. PZC merupakan pH ketika jumlah muatan positif dan negatif pada permukaan fotokatalis sama besar. Abbas (2021) TiO₂ memiliki nilai pHPZC 6,3, El-Dossoki et al. (2021) TiO₂ memiliki nilai pHPZC 7,2, dan Ibrahim et al. (2020), TiO₂ memiliki nilai pHPZC 7,8 sehingga pada pH di bawah nilai tersebut permukaan katalis didominasi gugus Ti–OH₂⁺ yang bermuatan positif, sedangkan pada pH di atasnya berubah menjadi Ti–O[–] yang bermuatan negatif. *Remazol Red* merupakan zat warna azo yang mengandung gugus sulfonat (–SO₃H), amino, dan hidroksil aromatik. *Remazol Red* didominasi oleh gugus sulfonat memiliki nilai pKa sangat rendah, sekitar (–2,8) (Binnemans, K dan Jones,P.T,2024), sehingga pada rentang pH penelitian (2–8) gugus tersebut telah terdisosiasi menjadi –SO₃[–] dan tetap bersifat anionik. Perubahan pH lebih banyak memengaruhi muatan permukaan Fe/TNT dibandingkan perubahan spesiasi utama *Remazol Red*.

Hubungan antara pHPZC fotokatalis dan pKa *Remazol Red* menentukan besar kecilnya gaya elektrostatik yang terjadi selama proses adsorpsi sebelum fotodegradasi berlangsung. Kondisi pH di bawah pHPZC, permukaan Fe/TNT bermuatan positif (Ti–OH₂⁺), sedangkan *Remazol Red* tetap didominasi gugus sulfonat bermuatan negatif (–SO₃[–]). Perbedaan muatan tersebut menghasilkan gaya tarik elektrostatik yang meningkatkan adsorpsi molekul *Remazol Red* pada permukaan katalis sehingga pembentukan radikal •OH dan •O₂[–] berlangsung lebih efektif. Kondisi pH yang mendekati atau melebihi pHPZC, permukaan Fe/TNT

berubah menjadi Ti-O^- sehingga terjadi gaya tolak elektrostatik dengan Remazol Red anionik yang menurunkan adsorpsi dan aktivitas fotokatalitik.

pH 2 berada di bawah nilai pHPZC sehingga permukaan fotokatalis tetap bermuatan positif, aktivitas fotokatalitiknya lebih rendah dibandingkan pH 3. Hal ini disebabkan konsentrasi ion H^+ yang terlalu tinggi menyebabkan protonasi permukaan secara berlebihan sehingga sebagian situs aktif tertutupi dan pembentukan spesies reaktif menjadi kurang optimal. Kondisi paling asam tidak selalu menghasilkan aktivitas fotokatalitik tertinggi karena optimasi pH merupakan hasil keseimbangan antara perubahan muatan permukaan fotokatalis dan perubahan spesiasi ionik *Remazol Red*.

pH 3 merupakan kondisi optimum karena menghasilkan interaksi elektrostatik paling efektif antara permukaan Fe/TNT dan *Remazol Red*. Kondisi pH ini permukaan Fe/TNT masih berada di bawah nilai pHPZC sehingga didominasi oleh gugus Ti-OH_2^+ yang bermuatan positif, sedangkan *Remazol Red* tetap didominasi oleh gugus sulfonat ($-\text{SO}_3^-$) yang bermuatan negatif. Perbedaan muatan tersebut menghasilkan gaya tarik elektrostatik yang kuat sehingga adsorpsi *Remazol Red* pada permukaan katalis meningkat. konsentrasi ion H^+ pada pH 3 masih berada pada kondisi optimum sehingga tidak menyebabkan protonasi permukaan secara berlebihan seperti pada pH 2. Kondisi tersebut memungkinkan lebih banyak situs aktif tetap tersedia untuk pembentukan radikal $\bullet\text{OH}$ dan $\bullet\text{O}_2^-$, sehingga proses fotodegradasi berlangsung lebih efektif.

Kondisi pH 4 dan 5 menunjukkan penurunan aktivitas karena tingkat protonasi permukaan mulai berkurang dan pH larutan semakin mendekati nilai pHPZC TiO_2 sehingga jumlah gugus Ti-OH_2^+ berkurang dan gaya tarik elektrostatik terhadap *Remazol Red* menjadi lebih lemah. Kondisi tersebut menyebabkan gaya tarik elektrostatik antara permukaan katalis dan gugus sulfonat ($-\text{SO}_3^-$) pada *Remazol Red* melemah, sehingga jumlah molekul zat warna yang teradsorpsi berkurang. Peristiwa ini menyebabkan pembentukan radikal aktif $\bullet\text{OH}$ dan $\bullet\text{O}_2^-$ serta proses fotodegradasi berlangsung kurang efektif dibandingkan pada kondisi optimum pH 3.

Kondisi basa pada pH 8, nilai pH telah berada di atas pHPZC sehingga permukaan Fe/TNT mengalami deprotonasi menjadi Ti-O^- , sedangkan *Remazol Red* tetap didominasi gugus sulfonat ($-\text{SO}_3^-$) bermuatan negatif dan sebagian kecil gugus fenol mulai mengalami deprotonasi menjadi fenolat (Ar-O^-). Kesamaan muatan tersebut menimbulkan gaya tolak elektrostatik yang menghambat *adsorpsi Remazol Red* pada permukaan katalis sehingga aktivitas fotokatalitik menjadi paling rendah. Reaksi deprotonasi permukaan katalis dapat dituliskan sebagai berikut:



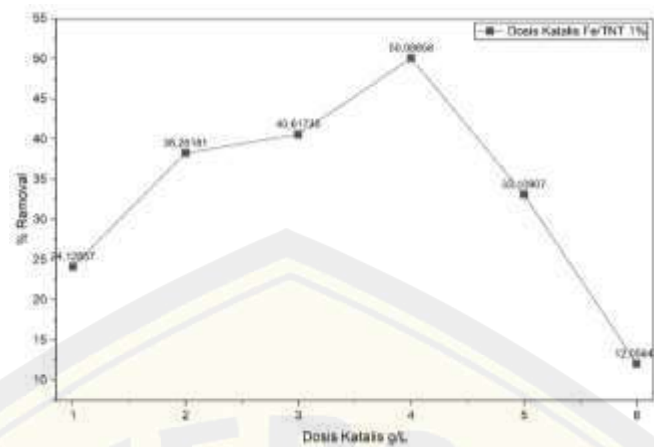
Peningkatan aktivitas fotokatalitik pada kondisi asam juga didukung oleh keberadaan gugus hidroksil permukaan berdasarkan hasil FTIR pada bilangan gelombang 3317 cm^{-1} dan 1630 cm^{-1} yang berperan dalam pembentukan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) selama proses fotokatalisis. Kondisi pH 2, persen *removal* menurun akibat kelebihan ion H^+ yang dapat menutupi sebagian situs aktif katalis melalui proses protonasi berlebih:



Hasil penelitian ini sejalan dengan beberapa penelitian Abbas (2021) memperoleh kondisi optimum pada pH 3 untuk degradasi *Direct Red 80* menggunakan TiO_2 dengan persen degradasi 99%. Peneliti El-Dossoki *et al.* (2021) memperoleh pH optimum 5 pada degradasi *Remazol Red RB 133* menggunakan nanomaterial TiO_2 dengan persen degradasi 48%. Pada penelitian ini, kondisi optimum juga diperoleh pada pH 3 menggunakan katalis Fe/TNT 1% dengan efisiensi persen *removal* 38,2%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa modifikasi TiO_2 *nanotube* dengan dopan Fe mampu mempertahankan aktivitas fotokatalitik optimum pada kondisi asam untuk degradasi *Remazol Red*.

4.2.2 Pengaruh Dosis terhadap Kinerja Fotokatalis Fe/TNT dalam Mendegradasi *Remazol Red*

Uji variasi dosis katalis untuk mengetahui jumlah optimum katalis yang diperlukan agar proses adsorpsi dan fotokatalisis berlangsung secara maksimal. Jumlah katalis berpengaruh terhadap ketersediaan situs aktif serta kemampuan penyerapan dan pemanfaatan cahaya selama reaksi berlangsung.



Gambar 4.5 Grafik hubungan dosis katalis terhadap larutan *Remazol Red* menggunakan Fe/TNT dengan nilai persen *removal*

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa persen *removal Remazol Red* meningkat seiring bertambahnya dosis katalis dari 1 g/L hingga mencapai kondisi optimum pada massa 4 g/L, kemudian menurun pada dosis 5 g/L mg dan 6 g/L. Pola grafik tersebut menunjukkan bahwa jumlah katalis memberikan pengaruh yang signifikan terhadap aktivitas fotokatalitik Fe/TNT dalam mendegradasi *Remazol Red*. Persen *removal* tertinggi diperoleh pada dosis katalis 4 g/L sebesar 50,08%. Optimasi dosis katalis dilakukan setelah kondisi pH optimum diperoleh karena dosis merupakan parameter operasional yang memengaruhi efisiensi fotokatalisis pada kondisi reaksi yang telah ditetapkan. Dasar optimasi dosis didasarkan pada dua mekanisme, yaitu peningkatan jumlah situs aktif dan hamburan cahaya (*light scattering*). Suspensi koloid, semakin tinggi konsentrasi partikel Fe/TNT maka hamburan cahaya antarpartikel semakin dominan sehingga cahaya tidak dapat dimanfaatkan secara efektif oleh seluruh permukaan katalis. Optimasi dosis dilakukan untuk memperoleh jumlah katalis yang menghasilkan aktivitas fotokatalitik paling optimum.

Peningkatan persen *removal* pada dosis 1-4 g/L menunjukkan bahwa penambahan jumlah katalis meningkatkan ketersediaan situs aktif untuk proses adsorpsi dan fotodegradasi *Remazol Red*. Hasil SEM dan TEM juga menunjukkan bahwa Fe/TNT 1% masih memiliki struktur *nanotube* dan morfologi fiber yang

cukup jelas sehingga transfer massa dan kontak antara katalis dengan molekul *Remazol Red* berlangsung lebih efektif. Dosis 4 g/L, jumlah situs aktif dan intensitas cahaya yang mencapai permukaan katalis berada pada kondisi yang seimbang sehingga menghasilkan aktivitas fotokatalitik optimum.

Dosis 5 g/L dan 6 g/L, aktivitas fotokatalitik mulai menurun karena konsentrasi partikel katalis dalam koloid menjadi semakin tinggi. Kondisi tersebut meningkatkan kekeruhan larutan sehingga cahaya yang dipancarkan lebih banyak mengalami hamburan (*light scattering*) sebelum mencapai permukaan katalis, sehingga sebagian situs aktif tertutup dan pembentukan pasangan elektron–hole menjadi kurang efektif. Peristiwa ini mengakibatkan efisiensi fotodegradasi *Remazol Red* menurun meskipun jumlah katalis yang digunakan lebih banyak (Reddy et al., 2016).

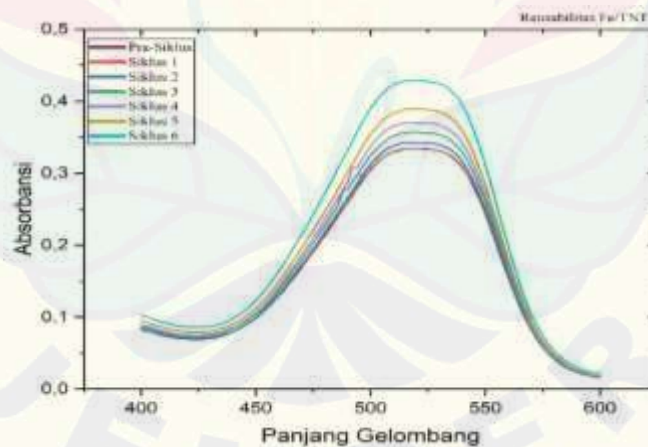
Hasil penelitian ini sejalan dengan beberapa penelitian Abbas (2021) memperoleh dosis optimum TiO₂ sebesar 3 g/L (42%), El-Dossoki *et al.* (2021) melaporkan dosis optimum nanomaterial TiO₂ sebesar 0,4 g (45%) untuk *Remazol Red B*, sedangkan Reddy et al. (2016) memperoleh dosis optimum katalis Fe 3g/L (50%) dan TiO₂ sebesar 4 g/L (58%). Penelitian ini, optimum diperoleh pada massa katalis Fe/TNT 1% sebesar 4 g/L dengan persen *removal* 50,08%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan jumlah katalis hingga kondisi optimum mampu meningkatkan ketersediaan situs aktif untuk proses fotokatalisis.

4.2.3 Uji Reusabilitas Katalis Fe/TNT

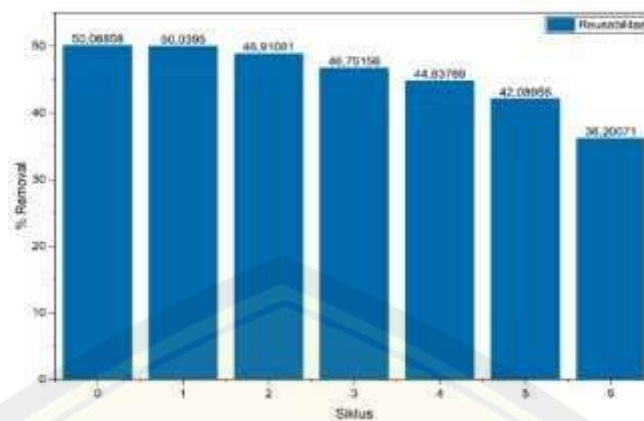
Uji reusabilitas dilakukan untuk mengevaluasi kestabilan dan kemampuan penggunaan ulang katalis Fe/TNT 1% pada kondisi optimum adsorpsi, fotokatalisis, dan pH yang telah diperoleh sebelumnya. Evaluasi dilakukan berdasarkan perubahan absorbansi, persen *removal*, massa katalis, dan *removal* per massa katalis pada setiap siklus penggunaan. Berdasarkan data pada Lampiran 5 Tabel 5.23, massa katalis Fe/TNT 1% menurun dari 0,100 gram pada pra-siklus menjadi 0,087 gram pada siklus ke-6 akibat proses pemisahan dan pencucian berulang. Penurunan massa tersebut diikuti dengan penurunan persen *removal* dari 50,08% menjadi 36,20%, sedangkan nilai *removal* per massa, yaitu perbandingan antara persen *removal* dengan massa katalis yang tersisa, juga menunjukkan kecenderungan

menurun. Hasil tersebut menunjukkan bahwa katalis Fe/TNT 1% masih cukup stabil dan dapat digunakan kembali meskipun mengalami kehilangan massa secara bertahap.

Gambar 4.6, hasil spektrum UV-Vis menunjukkan seluruh spektrum UV-Vis memiliki pola yang relatif sama dengan puncak serapan maksimum yang tetap berada pada panjang gelombang 518 nm pada setiap siklus penggunaan katalis. Grafik tersebut Tidak munculnya puncak baru menunjukkan bahwa struktur utama Remazol Red tetap sama dan proses reusabilitas tidak menghasilkan senyawa baru yang dominan. Intensitas absorbansi meningkat secara bertahap dari siklus 0 hingga siklus 6, yang menunjukkan semakin besarnya konsentrasi Remazol Red yang tersisa setelah fotokatalisis sehingga aktivitas fotokatalitik Fe/TNT menurun setelah digunakan berulang kali. Penurunan aktivitas tersebut diduga berkaitan dengan berkurangnya jumlah situs aktif akibat kehilangan massa katalis serta penutupan sebagian permukaan katalis oleh produk antara hasil degradasi. Gambar 4.9 juga menunjukkan bahwa nilai absorbansi cenderung meningkat pada setiap siklus penggunaan katalis, yang menandakan aktivitas fotokatalitik Fe/TNT mulai menurun setelah digunakan berulang kali (Zafar dan Kim 2020).



Gambar 4.6 Grafik absorbansi larutan remazol red terhadap panjang gelombang pada setiap siklus reusabilitas katalis Fe/TNT



Gambar 4.7. Grafik hubungan reusabilitas terhadap larutan *Remazol Red* menggunakan Fe/TNT dengan nilai persen *removal*

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa persen *removal* *Remazol Red* relatif stabil pada siklus 0 (prasiklus) dan siklus 1, kemudian menurun secara bertahap hingga siklus ke-5. Pola tersebut menunjukkan bahwa Fe/TNT 1% masih mampu mempertahankan aktivitas fotokatalitiknya pada penggunaan awal, namun efektivitasnya mulai berkurang setelah digunakan berulang kali. Penurunan persen *removal* tersebut juga diikuti oleh penurunan nilai *removal* per massa katalis, yang menunjukkan bahwa kemampuan setiap satuan massa Fe/TNT dalam mendegradasi *Remazol Red* semakin berkurang pada setiap siklus penggunaan. Stabilitas ini dipengaruhi oleh struktur *nanotube* TiO_2 yang masih stabil serta keberadaan Fe sebagai pusat aktif yang membantu pembentukan pasangan elektron-hole (e^-/h^+) dan radikal aktif seperti $\bullet\text{OH}$ serta $\bullet\text{O}_2^-$ (El-Dossoki *et al.* 2021). Penurunan aktivitas pada siklus berikutnya diduga disebabkan oleh penutupan sebagian situs aktif oleh intermediate hasil degradasi yang teradsorpsi pada permukaan katalis, aglomerasi ringan partikel (Zafar dan Kim, 2020; El-Dossoki *et al.* 2021).

Hasil penelitian ini sejalan dengan beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa katalis berbasis TiO_2 tetap mampu mempertahankan aktivitas fotokatalitik setelah beberapa siklus penggunaan meskipun efisiensi degradasinya menurun. Zafar dan Kim (2020) melaporkan bahwa katalis Fe- TiO_2 *nanotube* mempertahankan efisiensi degradasi sekitar 75% hingga siklus ke-4, sedangkan Ibrahim *et al.* (2020) melaporkan persen *removal* sebesar 91% hingga siklus ke-4.

El-Dossoki et al. (2021) melaporkan katalis TiO_2 terdoping logam mempertahankan efisiensi degradasi sebesar 85% hingga siklus ke-3, sedangkan Dwiyana et al. (2021) melaporkan persen *removal* Co-doped TiO_2 sebesar 54% hingga siklus ke-4. Pada penelitian ini, katalis Fe/TNT 1% mempertahankan aktivitas fotokatalitik hingga siklus ke-5 dengan persen *removal* sebesar 42,09%. Hasil yang diperoleh nilainya lebih rendah dibandingkan penelitian terdahulu, Fe/TNT 1% tetap menunjukkan stabilitas yang cukup baik hingga siklus ke-5. Penurunan aktivitas pada setiap siklus diduga disebabkan oleh berkurangnya massa katalis, penutupan sebagian situs aktif oleh produk antara hasil degradasi, serta aglomerasi partikel selama penggunaan berulang.

Lampiran 5 Tabel 5.12, berbagai penelitian telah dilakukan menggunakan zat warna dan fotokatalis yang berbeda. Abbas (2020) menggunakan TiO_2 mikropowder untuk mendegradasi *Direct Red 80* dengan kondisi optimum pada pH 3 dan dosis 1 g/L menggunakan sinar UV dengan rentang panjang gelombang 315-400 nm. Astuti et al. (2021) menggunakan TiO_2 anatase tersupport AgI untuk degradasi *Remazol Red* dengan lampu xenon 100 watt dan memperoleh *removal* sebesar 32% dengan rentang panjang gelombang 200-800 nm. Dwiyanra et al. (2021) melaporkan bahwa Co-doped TiO_2 mampu mendegradasi *Remazol Black* sebesar 40% menggunakan kombinasi empat lampu UV 20 W dan empat lampu visibel 20 watt dengan total daya 160 W serta reusabilitas hingga 4 siklus. El-Dossoki et al. (2021) menggunakan TiO_2 nanopartikel untuk degradasi *Remazol Red B* dengan penyinaran UV pada rentang 280–400 nm dan memperoleh efisiensi degradasi sebesar 90%, meskipun daya lampu tidak dilaporkan. Peneliti Ibrahim et al. (2020) memperoleh *removal* tertinggi sebesar 100% menggunakan nano-hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) terdoping tungsten terhadap *Remazol Red RB 133* melalui mekanisme adsorpsi tanpa penyinaran. Santhi et al. (2015) melaporkan degradasi *Remazol Red Brown* sebesar 96,6% menggunakan TiO_2 nanokristalin dengan lampu UV merkuri 16 watt pada panjang gelombang 254 nm. Peneliti Zafar dan Kim (2020) memperoleh *removal* sebesar 70% menggunakan Fe/TNTs yang disinari lampu fluoresen 32 watt pada rentang cahaya tampak 400–750 nm dengan reusabilitas hingga 5 siklus.

Penelitian ini, fotokatalis Fe/TNT hasil sintesis hidrotermal digunakan untuk mendegradasi *Remazol Red* menggunakan lampu Hannochs 100 watt dengan rentang panjang gelombang 350–700 nm yang mencakup sebagian daerah UV dan cahaya tampak. Doping Fe pada TiO_2 *nanotube* berperan dalam memperluas respon cahaya material ke daerah panjang gelombang yang lebih tinggi sehingga fotokatalis tetap dapat aktif meskipun tidak menggunakan sumber UV murni. Kondisi optimum diperoleh pada pH 3, dosis katalis 4 g/L, dan waktu penyinaran 90 menit dengan persen removal sebesar 50,08%. Fotokatalis Fe/TNT menunjukkan stabilitas yang baik dengan kemampuan digunakan kembali hingga 5 siklus.

Hasil penelitian ini menunjukkan kesesuaian dengan Abbas (2021), Ibrahim *et al.* (2020), dan Santhi *et al.* (2015) yang melaporkan kondisi optimum pada pH 3. Aspek sumber cahaya, penelitian ini memiliki kemiripan dengan Zafar dan Kim (2020) karena sama-sama memanfaatkan cahaya tampak sebagai sumber energi utama dalam proses fotodegradasi. Persentase *removal* yang diperoleh pada penelitian ini masih lebih rendah dibandingkan penelitian El-Dossoki *et al.* (2021), Santhi *et al.* (2015), dan Ibrahim *et al.* (2020), namun lebih tinggi dibandingkan Astuti *et al.* (2021) dan Dwiyanita *et al.* (2021). Perbedaan efisiensi degradasi dipengaruhi oleh karakteristik fotokatalis, luas permukaan, struktur zat warna, dan jenis sumber cahaya. Penggunaan sinar UV umumnya menghasilkan efisiensi lebih tinggi karena memiliki energi foton yang lebih besar untuk mengeksitasi elektron pada TiO_2 . Penelitian ini, aktivitas fotokatalitik tetap dapat berlangsung dengan menggunakan lampu Hannochs 100 watt yang didominasi cahaya tampak. Keberadaan Fe pada struktur TiO_2 *nanotube* berkontribusi dalam meningkatkan kemampuan material untuk memanfaatkan cahaya pada panjang gelombang yang lebih luas. Fotokatalis Fe/TNT masih mempertahankan kinerjanya hingga lima kali siklus penggunaan, lebih tinggi dibandingkan El-Dossoki *et al.* (2021) dan Dwiyanita *et al.* (2021), serta setara dengan Zafar dan Kim (2020), yang mengindikasikan stabilitas material yang baik untuk aplikasi fotodegradasi berulang.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Persen massa dopan Fe^{3+} berpengaruh terhadap aktivitas adsorpsi dan fotokatalitik TiO_2 *nanotube* (Fe/TNT) dalam mendegradasi *Remazol Red*. Fe/TNT 1% menunjukkan kinerja terbaik dengan waktu optimum adsorpsi 30 menit dan fotokatalisis 90 menit serta menghasilkan persen *removal* sebesar 34,63%. Peningkatan aktivitas didukung oleh luas permukaan yang tinggi, morfologi *nanotube* yang tetap terjaga, fase anatase, dan penurunan energi *band gap* menjadi 2,89 eV.
2. Variasi pH dan dosis katalis berpengaruh terhadap kinerja fotokatalitik Fe/TNT. Kondisi optimum diperoleh pada pH 3 dengan persen *removal* sebesar 38,26% dan dosis katalis 100 mg (4 g/L) dengan persen *removal* sebesar 50,08%, yang dipengaruhi oleh interaksi elektrostatik yang lebih efektif serta jumlah situs aktif yang optimum.
3. Fe/TNT 1% memiliki stabilitas reusabilitas yang baik hingga siklus ke-5 dengan persen *removal* sebesar 42,09%. Penurunan aktivitas setelah penggunaan berulang disebabkan oleh berkurangnya massa katalis, penutupan sebagian situs aktif oleh produk antara hasil degradasi, dan aglomerasi partikel.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai optimasi persen dosis dopan Fe^{3+} pada TiO_2 *nanotube* serta pengembangan metode katalis untuk meningkatkan kestabilan dan mempertahankan aktivitas fotokatalitik Fe/TNT setelah penggunaan berulang

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, M. (2021). Factors influencing the adsorption and photocatalysis of direct red 80 in the presence of a TiO₂: Equilibrium and kinetics modeling. *Journal of Chemical Research*, 45(7–8), 694–701.
- Astuti D.S., Sari P.A.,Karlinda. (2021). Comparison of the Photodegradation Activity of Remazol Red with TiO₂ 50% Anatase-50% Rutile and AgI-Supported Anatax TiO₂. *Journal of Chemistry*. Vol.4 :32-44
- BenchChem. (2023). *Remazol Red RB 133 (C.I. Reactive Red 198)*. BenchChem Chemical Database.
- Binnemans, K and Jones, P.T. (2024). Methanesulfonic Acid (MSA) in Clean Processes and Applications: review. Royal Society Of Chemistry. 8583-8614.
- Borji H,S., Nasser S., Mahvi H,A., Nabizadeh R., Javadi H,A.(2014). Investigation of Photocatalytic Degradation of Phenol by Fe(III)-doped TiO₂ and TiO₂ Nanoparticles. *Journal of Enviromenta Health Science & Engineering*. 12:101.
- Chen, D., Cheng, Y., Zhou, N., Chen, P., Wang, Y., Kun Li³, S., Huo⁵, Pengfei Cheng¹, Peng Peng¹, Renchuang Zhang¹, Lu Wang¹, Hui Liu⁴, Yuhuan Liu³, A., & Ruan¹, R. (2019). Photocatalytic degradation of organic pollutants using TiO₂-based photocatalysts: *a review*.268,1-18
- Dwiyana R, Roro R, Wahyuni T.E. (2021). *Remazol Black decontamination study using a novel one-pot synthesized S and Co co-doped TiO₂ photocatalyst*. *Photochem*, 1(3), 488–504
- El-Dossoki, F. I., Atwee, T. M., Hamada, A. M., & El-Bindary, A. A. (2021). Photocatalytic Degradation of Remazol Red b and Rhodamine b Dyes Using TiO₂ Nanomaterial: Estimation of The Effective Operating Parameters. *Desalination and Water Treatment*, 233, 319–330.
- Gartner et al 2023 Gartner, M., Anna, S., Hermine, S., Daiana, M., & Maria C. (2023). Advanced Nanostructured Coating Based on Doped TiO₂ for Various Applications. *Moleculs*. 28(23) : 1-38.
- Gurses A, Gunes K, Sahin E, Acikyildiz M (2023). Investigation of The Removal Kinetics, Themodynamics and Adsorption Mechanism of Anionik Textile Dye, Remzol Red RB, With Powder Puice, a Sustainable Adsorbent From Waste Water. *Frontiers in Chemistry*. 11 : 556-577

- Haryati, T., Diana, A. N., Sofiyah, O., Nelumbium, T. P., Andarini, N., Sulistiyo, Y. A., & Suwardiyanto, S. (2023). One-Step Hydrothermal Synthesis of TiO₂ Nanotubes and Photodegradation Activity towards Diazinon. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, 18(4), 713–723.
- Ibrahim, S. M., Naghmash, M. A., & El-Molla, S. A. (2020). Synthesis and Application of Nano-hematite on The Removal of Carcinogenic Textile Remazol Red Dye from Aqueous Solution. *Desalination and Water Treatment*, 180, 370–386.
- Khan, S., Noor, T., Iqbal, N., & Yaqoob, L. (2024). Photocatalytic Dye Degradation from Textile Wastewater: A Review. *ACS Omega*, 9(20), 21751–21767.
- Lata, N. P., Hussain, M. S., Abdulla-Al-Mamun, M., Rashid, T. U., & Shamsuddin, S. M. (2024). *Fabrication and Gynergistically Enhanced Photocatalytic Activity of Ternary Kaolinite, TiO₂, and Al₂O₃ (K₆₅T₃₀A₅) Nanocomposite for Visible-Light-Induced Degradation of Methylene Blue and Remazol Red Dye. Heliyon*, 10(8), e29255.
- Mutiara, F., Hernawati, D., & Meylani, V. (2022). Jurnal Presipitasi Differentiated of Batik Dyes and Environmental Effect in The Centre of Batik in Tasikmalaya City and Regency. *Jurnal Presipitasi*, 19(3), 669–686.
- Nailul N,A, (2025). Struktur Dan Kinerja Fotokatalitik Fe/TiO₂ Nanotube (Fe/TNT) Terhadap Diazinon Dengan Pengaruh Variasi Persen Dosis Ion Fe³⁺. *Skripsi : Universitas Jember*
- Paryanto, P., Pranolo, S. H., Susanti, A. D., Putrikatama, B. T., Qatrunada, I. R., & Wibowo, A. D. (2021). Tannins Compound In Soga Tingi Bark (Ceriops Tagal) As Natural Dyes. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 5(1), 1-6.
- PubChem. (2023). *Remazol Red RB | C.I. Reactive Red 198 | CID 135436869*. National Center for Biotechnology Information (NCBI).
- Qattali, S. M. Y., Nasir, J., Pritzel, C., Kowald, T., Sakalli, Y., Moni, S. M. F. K., Schmedt auf der Günne, J., Wickleder, C., Trettin, R. H. F., & Killian, M. S. (2024). Synthesis and Characterization of Iron-Doped TiO₂ Nanotubes (Fe/TiNTs) with Photocatalytic Activity. *Construction Materials*, 4(2), 315–328.
- Subramaniam *et al.*, 2017 Subramaniam, M. N., Goh, P. S., Abdullah, N., Lau, W. J., Ng, B. C., & Ismail, A. F. (2017). Adsorption And Photocatalytic Degradation Of Methylene Blue Using High Surface Area Titanate Nanotubes (TNT) Synthesized Via Hydrothermal Method. *Journal of Nanoparticle Research*. 19(6) : 1-13.

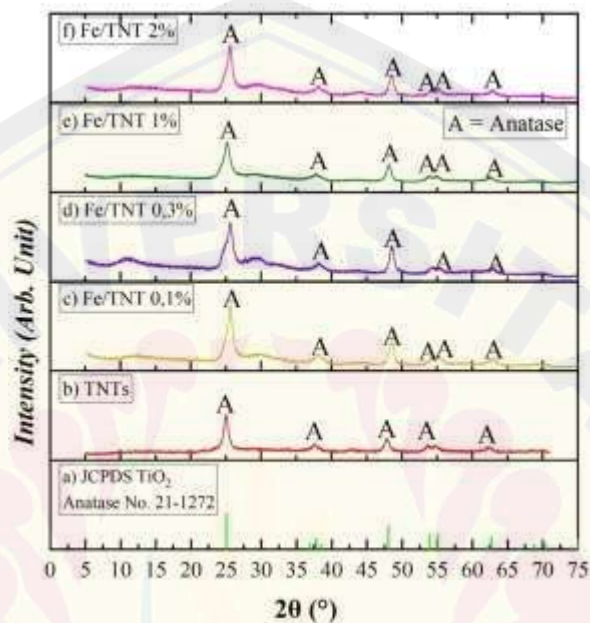
- Reddy R.D, Dinesh K.G, Anandan s, Sivasankar T. (2016). Sonophotocatalytic Treatment of Naphthol Blue Black dye and Real Textile Wastewater Using Synthesized Fe Doped TiO₂. *Chemical Engineering and Processing*. 99 : 10-18.
- Santhi et al 2015. Santhi K, Manikandan P, Rani C, Karuppuchanny S (2015). Ynthesis of Nanocrystalline Titanium Dioxide For Photodegradation Treatment of Remazol Brown Dye. *Springer*. 5 (3) :373-378
- Sutisna, S., Wibowo, E., Rokhmat, M., Rahman, D. Y., Murniati, R., Khairurrijal, K., & Abdullah, M. (2017). Batik Wastewater Treatment Using TiO₂ Nanoparticles Coated on the Surface of Plastic Sheet. *Procedia Engineering*, 170, 78–83.
- Teng, H., Xu, S., Sun, D., & Zhang, Y. (2013). Preparation of Fe-doped TiO₂ Nanotubes and Their Photocatalytic Activities Under Visible Light. *International Journal of Photoenergy*. 1-7
- Utami, M., Wang, S., Musawwa, M. M., Mafruhah, L., Fitri, M., Wijaya, K., Johnravindar, D., Abd-Elkader, O. H., Yadav, K. K., Ravindran, B., Chung, W. jin, Chang, S. W., & Munusamy-Ramanujam, G. (2023). Photocatalytic degradation of naphthol blue from Batik waste water using functionalized TiO₂-based composites. *Chemosphere*. 337 (139224) : 1-11.
- Wei, X., Wang, H., Zhu, G., Chen, J., & Zhu, L. (2013). Iron-Doped Tio2 Nanotubes With High Photocatalytic Activity Under Visible Light Synthesized By An Ultrasonic-Assisted Sol-Hydrothermal Method. *Ceramics Internasional*. 39(4) : 4009-4016.
- Yuan, R., Zhou, B., Hua, D., Shi, C., & Ma, L. (2014). Effect Of Metal-Ion Doping On The Characteristics And Photocatalytic Activity Of Tio2 Nanotubes For The Removal Of Toluene From Water. *Water Science and Technology*. 69(8) : 1697–1704.
- Zafar, Z., & Kim, J. O. (2020). Optimization of Hydrothermal Synthesis of Fe–TiO₂ nanotube Arrays for Enhancement in Visible Light Using an Experimental Design Methodology. *Environmental Research*, 189, 1-11.
- Zhang, J., Yang, C., Li, S., Xi, Y., Cai, C., Liu, W., Golosov, D., Zavadski, S., & Melnikov, S. (2020). Preparation Of Fe³⁺ Doped High-Ordered Tio2 Nanotubes Arrays With Nanomaterials.10(11) : 1-12.

LAMPIRAN

LAMPIRAN BAB 2

LAMPIRAN 2. HASIL KARAKTERISASI PENELITIAN SEBELUMNYA

2.1 Hasil Karakterisasi Uji XRD Fe/TNT

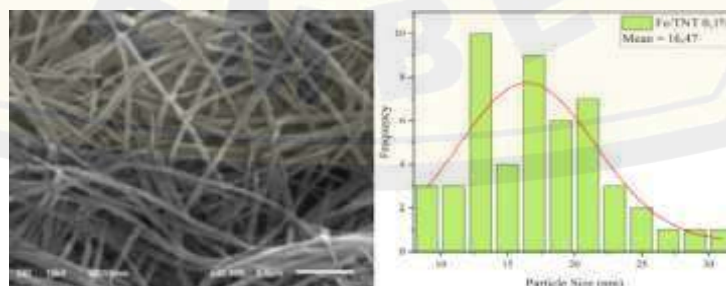


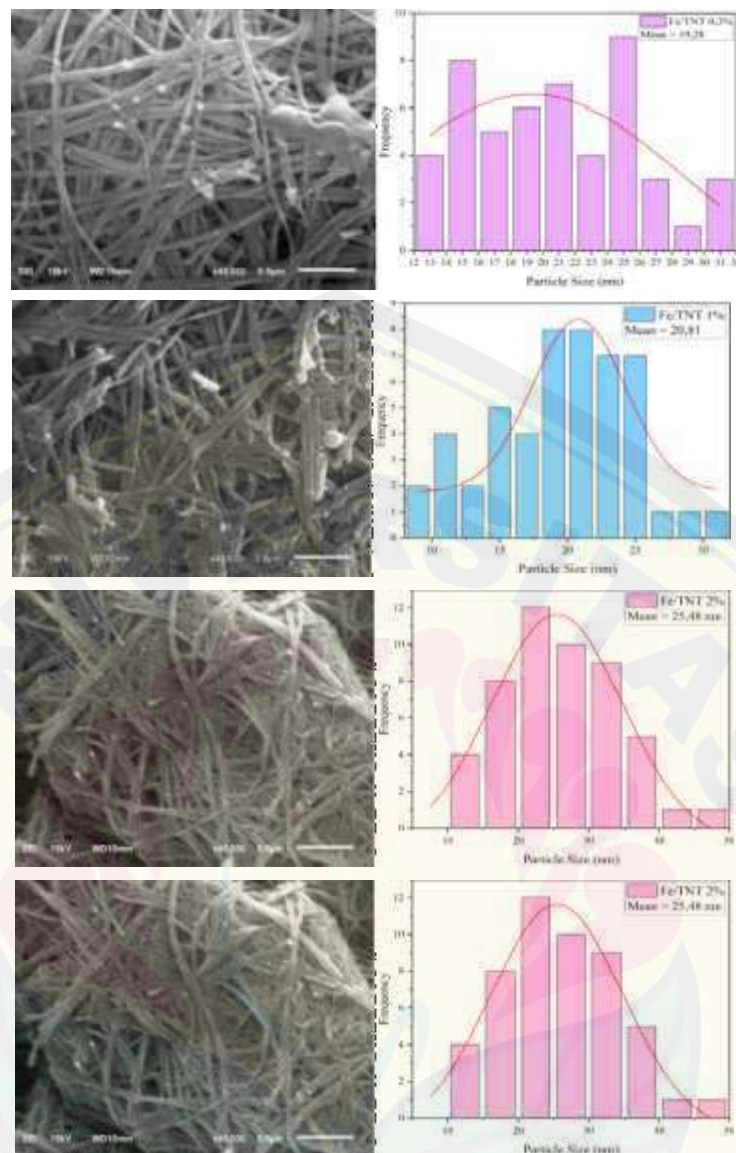
Gambar 2.1 Difraktogram TNTs

Tabel 2.1.1 Ukuran Kristal Fe/TNT

Sampel	Ukuran Kristalit (nm)
TNTs	41,34
Fe/TNT 0,1%	9,72
Fe/TNT 0,3%	0,14
Fe/TNT 1%	5,23
Fe/TNT 2%	0,28

2.2 Hasil Karakterisasi Uji SEM Fe/TNT





Gambar 2.2 Hasil Morfologi dan Diameter Tabung (a) TNTs (b) Fe/TNT 0,1% (c) Fe/TNT 0,3% (d) Fe/TNT 1% (e) Fe/TNT 2% dengan perbesaran 40.000x

Tabel 2.1.2 Hasil Diameter tabung Fe/TNT

Sampel	Diameter Tabung (nm)
TNTs	31,8
Fe/TNT 0,1%	16,47
Fe/TNT 0,3%	19,28
Fe/TNT 1%	20,81
Fe/TNT 2%	25,49

2.3 Hasil Karakterisasi Uji EDX Fe/TNT

Tabel 2.1.3 Hasil Analisis EDX Fe/TNT

Sampel	<i>Weight (%)</i>				<i>Atomic (%)</i>			
	Ti	O	Na	Fe	Ti	O	Na	Fe
TNTs	64,51	30,91	4,57		38,73	55,55	5,72	
Fe/TNT 0,1%	70,07	10,19	19,74	-	49,45	21,53	29,02	-
Fe/TNT 0,3%	85,93	8,35	5,55	0,17	70,07	20,38	9,43	0,12
Fe/TNT 1%	77,57	12,79	7,25	2,39	58,32	28,78	11,35	1,54
Fe/TNT 2%	77,43	9,64	10,05	2,88	59,70	22,25	16,14	1,90

2.4 Hasil Karakterisasi Uji TEM Fe/TNT

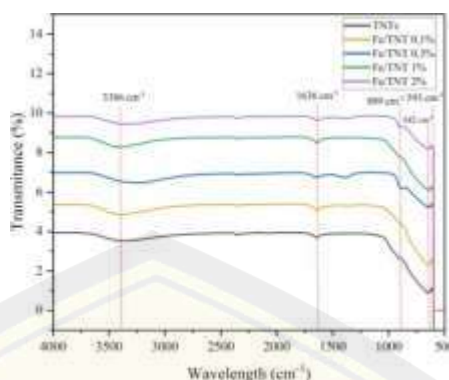


Gambar 2.3 Mikrograf TEM Fe/TNT 1%

Tabel 2.1.4 Diameter Tabung Fe/TNT 1%

Sampel	Diameter Luar	Diameter Dalam	Ketebalan Dinding
Fe/TNT 1%	7,42 nm	3,5 nm	3,91 nm

2.5 Hasil Karakterisasi Uji FTIR Fe/TNT 1%



Gambar 2.4 Hasil Spektrum FTIR Fe/TNT

Tabel 2.1.5 Hasil FTIR Fe/TNT

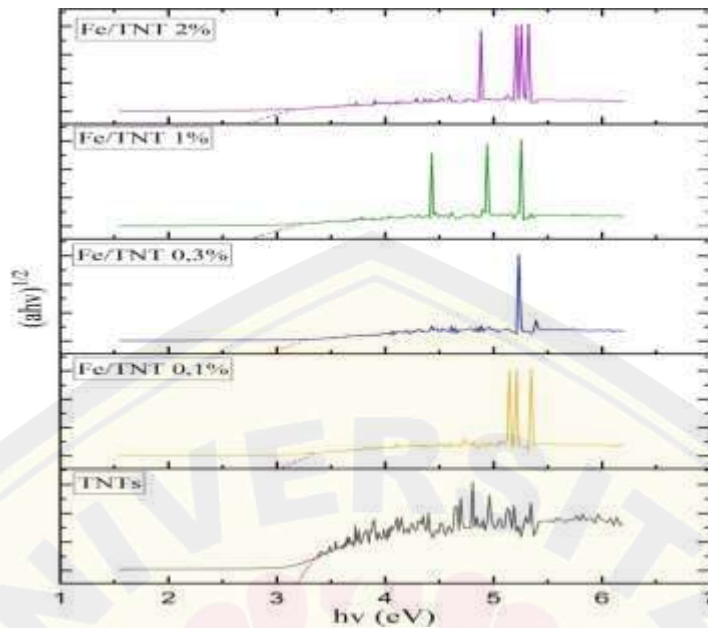
Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)				
	TNT	Fe/TNT 0,1%	Fe/TNT 0,3%	Fe/TNT 1%	Fe/TNT 2%
Regangan -OH	3386	3399	3247	3399	3388
Pembengkokan H-O-H	1639	1637	1641	1639	1636
Regangan Ti-O-Ti	895	889	883	895	889
Regangan Ti-O	647	644	644	643	642
Regangan Fe-O	-	595	594	593	593

2.6 Hasil Karakterisasi Uji BET Fe/TNT 1%

Tabel 2.1.6 Hasil Luas Permukaan Fe/TNT

Sampel	Luas Permukaan(m ² /g)
TNTs	122,787
Fe/TNT 0,1%	119,679
Fe/TNT 0,3%	46,216
Fe/TNT 1%	134,02
Fe/TNT 2%	64,456

2.7 Hasil Karakterisasi Uv Vis DRS (*Band Gap*)

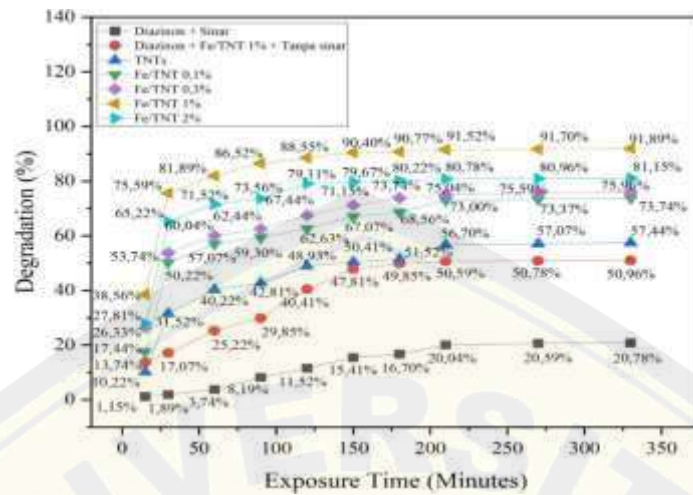


Gambar 2.5 Hasil Spektrum FTIR Fe/TNT

Tabel 2.1.7 Hasil Energi Band Gap Fe/TNT

Sampel	Energi Band Gap (eV)
TNTs	3,2
Fe/TNT 0,1%	3,07
Fe/TNT 0,3%	3,02
Fe/TNT 1%	2,89
Fe/TNT 2%	2,81

2.8 Hasil Fotodegradasi Fe/TNT



Gambar 2.6 Hasil Fotodegradasi Fe/TNT

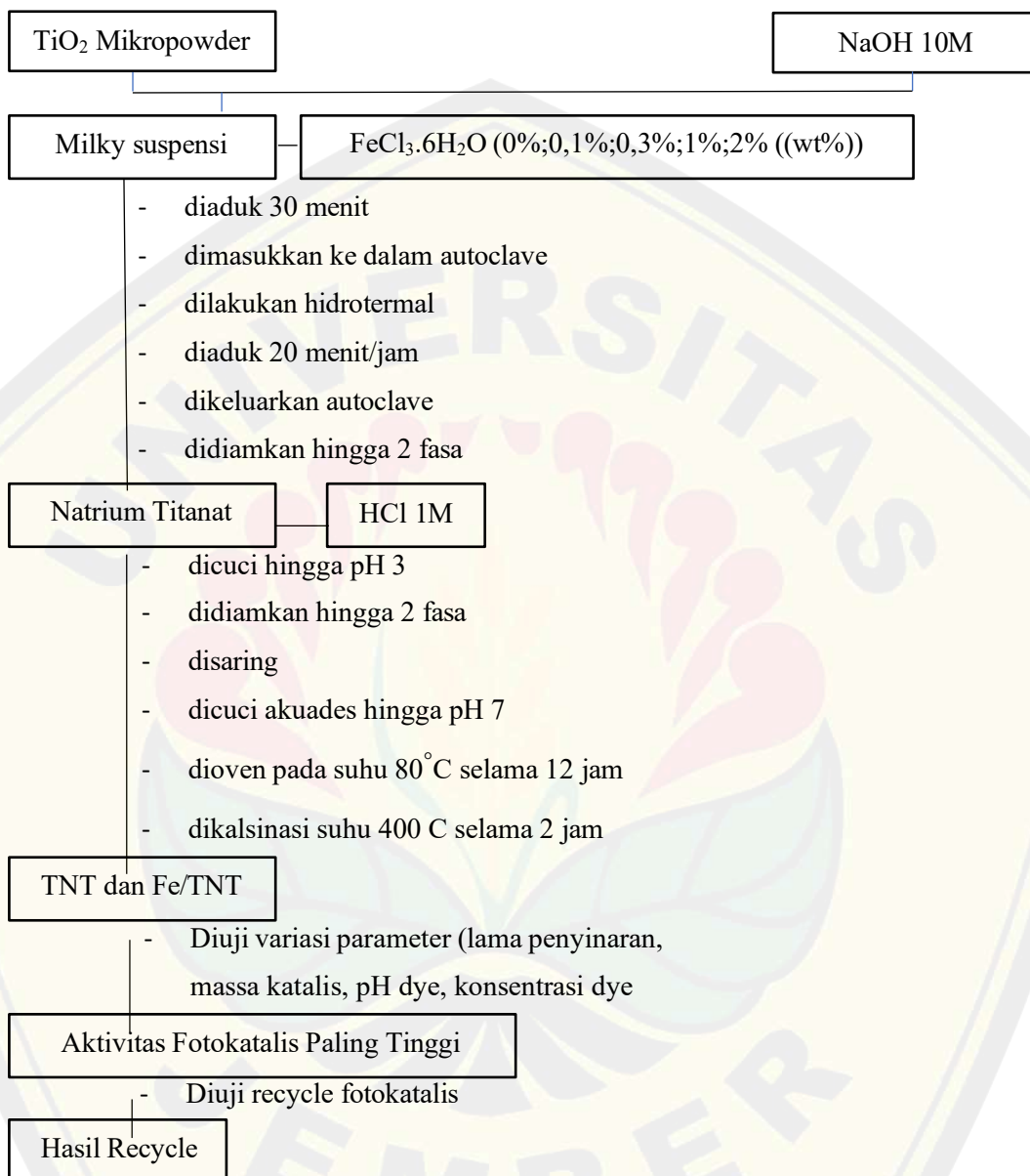
Tabel 2.1.8 Hasil Persen Degradasi Fe/TNT

Sampel	Degradasi (%)									
	Waktu (menit)									
	15	30	60	90	120	150	180	210	270	330
Diazinon	1,1	1,8	3,7	8,1	11,5	15,4	16,7	20,0	20,5	20,7
Fe/TNT										
1% +										
Tanpa	13,7	17	25,2	29,8	40,4	47,8	49,8	50,5	50,7	50,9
Sinar										
TNTs	10,2	31,5	40,2	42,8	48,9	50,4	51,5	56,7	57,0	57,4
Fe/TNT										
0,1%	17,4	50,2	57,0	59,3	62,6	67	68,5	73	73,3	73,7
Fe/TNT										
0,3%	26,3	53,7	60,0	62,4	67,4	71,1	73,7	75	75,5	75,9
Fe/TNT										

LAMPIRAN BAB 3

LAMPIRAN 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Pembuatan Buffer pH

Pembuatan larutan buffer dilakukan menggunakan larutan 0,1 M untuk masing-masing variasi pH. Buffer pH 2 dibuat dengan mencampurkan 41 mL

KH_2PO_4 0,1 M dan 59 mL H_3PO_4 0,1 M. Buffer pH 3 dibuat dengan mencampurkan 88 mL KH_2PO_4 0,1 M dan 12 mL H_3PO_4 0,1 M. Buffer pH 4 dibuat dari 100 mL KH_2PO_4 0,1 M yang kemudian ditambahkan HCl 0,1 M sedikit demi sedikit hingga mencapai pH 4. Buffer pH 5 dibuat dengan mencampurkan 95 mL KH_2PO_4 0,1 M dan 5 mL Na_2HPO_4 0,1 M, sedangkan buffer pH 8 dibuat menggunakan campuran 14 mL KH_2PO_4 0,1 M dan 86 mL Na_2HPO_4 0,1 M. Setiap larutan buffer dibuat dalam volume yang cukup dan pH dikontrol menggunakan pH meter.

Masing-masing buffer ditambahkan zat warna Remazol Red sebanyak 0,1 gram ke dalam 100 mL buffer sehingga diperoleh larutan induk 1000 ppm. Larutan kemudian dihomogenkan hingga zat warna larut sempurna. Larutan induk tersebut diambil sebanyak 2,5 mL, kemudian diencerkan menggunakan larutan buffer dengan pH yang sama hingga volume 100 mL untuk memperoleh larutan Remazol Red 25 ppm. Larutan 25 ppm dimasukkan ke dalam gelas kimia sebanyak 25 mL dan ditambahkan katalis sebanyak 50 mg untuk proses adsorpsi dan fotokatalisis selanjutnya.

LAMPIRAN 4. PERHITUNGAN

1. Rasio mol TiO_2 : NaOH 0,025:1

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } M \text{ NaOH} &= 10 \text{ M} \\ V \text{ NaOH} &= 85 \text{ mL} \\ &= 0,085 \text{ L} \\ Mr \text{ NaOH} &= 40 \text{ g/mol} \\ Mr \text{ TiO}_2 &= 79,80 \text{ g/mol} \\ M &= \text{mol NaOH} \times V \text{ larutan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 10 \text{ mol/l} &= \text{mol NaOH} \times 0,085 \\ \text{Mol NaOH} &= 0,85 \text{ mol} \\ \text{Rasio mol} &= \text{mol TiO}_2 \times \text{mol NaOH} \\ 0,025 &= \text{mol TiO}_2 \times 0,85 \\ \text{Mol TiO}_2 &= 0,02125 \text{ mol} \\ \text{Massa TiO}_2 &= \text{mol TiO}_2 \times Mr \text{ TiO}_2 \\ \text{Massa TiO}_2 &= 0,02125 \text{ mol} \\ \text{Massa TiO}_2 &= 1,69 \text{ gram} \end{aligned}$$

2. Massa NaOH yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} M &= \frac{\text{massa}}{Mr} \times \frac{1000}{v} \\ 10 \text{ mol/l} &= \frac{\text{massa}}{40 \text{ g/mol}} \times \frac{1000}{85 \text{ mL}} \\ \text{Massa NaOH} &= 34 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \text{ Keterisian} &= \frac{V \text{ NaOH yang digunakan}}{V \text{ autoclave}} \times 100 \% \\ &= \frac{85 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} \times 100 \% \\ &= 85\% \end{aligned}$$

4. Perhitungan Variasi Konsentrasi Dopan

$$\begin{aligned} \text{Mol TiO}_2 &= \frac{\text{massa TiO}_2}{Mr \text{ TiO}_2} \\ \text{Mol TiO}_2 &= \frac{1,69 \text{ gram}}{79,866 \text{ g/mol}} \\ \text{Mol TiO}_2 &= 0,02116 \text{ mol} \end{aligned}$$

a. Variasi Dosis Fe/TiO₂ 0%

$$0\% \text{ Fe- TiO}_2 = \frac{\text{massa Fe}}{\text{massa Fe} + \text{massa TiO}_2}$$

$$0\% \text{ Fe- TiO}_2 = \frac{\text{massa Fe}}{\text{massa Fe} + 1,69 \text{ gram}}$$

$$0 (1,69 \text{ gram} + \text{Dosis Fe}) = \text{Dosis Fe}$$

$$0 + 0 = \text{Dosis Fe}$$

$$\text{Massa Fe} = 0$$

$$\text{Massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \frac{\text{massa Fe}}{\frac{\text{Ar Fe}}{\text{Mr FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}}$$

$$\text{Massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \frac{0 \text{ gram}}{\frac{56 \text{ g/mol}}{270,39 \text{ g/mol}}}$$

$$\text{Massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 0 \text{ gram}$$

$$\text{Mol Fe} = \frac{\text{massa Fe}}{\text{Mr TiO}_2}$$

$$\text{Mol Fe} = \frac{0 \text{ gram}}{79,866 \text{ g/mol}}$$

$$\text{Mol Fe} = 0 \text{ mol}$$

$$\text{Mol FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \frac{\text{massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}{\text{Mr FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}$$

$$\text{Mol FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \frac{0 \text{ gram}}{270,29 \text{ g/mol}}$$

$$\text{Mol FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 0 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Perbandingan mol TiO}_2 : \text{Fe} &= \frac{\text{Mol Fe}}{\text{Mol TiO}_2} \\ &= \frac{0}{0,0211604} \\ &= \frac{\text{Mol Fe}}{1} = \frac{0}{0,0211604} \end{aligned}$$

$$\text{Mol Fe} = 0$$

b. Variasi Dosis Fe/TiO₂ 0,1%

$$0,1\% \text{ Fe- TiO}_2 = \frac{\text{massa Fe}}{\text{massa Fe} + \text{massa TiO}_2}$$

$$0,1\% \text{ Fe- TiO}_2 = \frac{\text{massa Fe}}{\text{massa Fe} + 1,69 \text{ gram}}$$

$$0,001 (1,69 \text{ gram} + \text{Dosis Fe}) = \text{Dosis Fe}$$

$$0,00169 \text{ gram} + 0,001 \text{ Dosis Fe} = \text{Dosis Fe}$$

$$\text{Massa Fe} = 0,00169 \text{ gram}$$

$$\text{Massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \frac{\text{massa Fe}}{\frac{Ar \text{ Fe}}{Mr \text{ FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}}$$

$$\text{Massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \frac{0,00169 \text{ gram}}{\frac{56 \text{ g/mol}}{270,39 \text{ g/mol}}}$$

$$\text{Massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 0,00815 \text{ gram}$$

$$\text{Mol TiO}_2 = \frac{\text{massa TiO}_2}{Mr \text{ TiO}_2}$$

$$\text{Mol TiO}_2 = \frac{1,69 \text{ gram}}{79,866 \text{ g/mol}}$$

$$\text{Mol TiO}_2 = 0,02116 \text{ mol}$$

$$\text{Mol Fe} = \frac{\text{massa Fe}}{Mr \text{ TiO}_2}$$

$$\text{Mol Fe} = \frac{0,00169 \text{ gram}}{79,866 \text{ g/mol}}$$

$$\text{Mol Fe} = 0,00002 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Perbandingan mol TiO}_2 : \text{Fe} &= \frac{\text{Mol Fe}}{\text{Mol TiO}_2} \\ &= \frac{0,00002}{0,0211604} \\ &= \frac{\text{Mol Fe}}{1} = \frac{0,00002}{0,0211604} \end{aligned}$$

$$\text{Mol Fe} = 0,00094$$

a. Variasi Massa Fe/TiO₂ 0,3 %

$$0,3\% \text{ Fe- TiO}_2 = \frac{\text{massa Fe}}{\text{massa Fe} + \text{massa TiO}_2}$$

$$0,3\% \text{ Fe- TiO}_2 = \frac{\text{massa Fe}}{\text{massa Fe} + 1,69 \text{ gram}}$$

$$0,003 (1,69 \text{ gram} + \text{Dosis Fe}) = \text{Dosis Fe}$$

$$0,00507 \text{ gram} + 0,003 \text{ Dosis Fe} = \text{Dosis Fe}$$

$$\text{Massa Fe} = 0,00508 \text{ gram}$$

$$\text{Massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \frac{\text{massa Fe}}{\frac{Ar \text{ Fe}}{Mr \text{ FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}}$$

$$\text{Massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \frac{0,00508 \text{ gram}}{\frac{56 \text{ g/mol}}{270,39 \text{ g/mol}}}$$

$$\text{Massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 0,02451 \text{ gram}$$

$$\text{Mol Fe} = \frac{\text{massa Fe}}{\text{Mr TiO}_2}$$

$$\text{Mol Fe} = \frac{0,00508 \text{ gram}}{79,866 \text{ g/mol}}$$

$$\text{Mol Fe} = 0,00006 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Perbandingan mol TiO}_2 : \text{Fe} &= \frac{\text{Mol Fe}}{\text{Mol TiO}_2} \\ &= \frac{0,0000634}{0,0211604} \\ &= \frac{\text{Mol Fe}}{1} = \frac{0,00002}{0,0211604} \end{aligned}$$

$$\text{Mol Fe} = 0,00283$$

a. Variasi Massa Fe/TiO₂ 1,0 %

$$1,0 \% \text{ Fe- TiO}_2 = \frac{\text{massa Fe}}{\text{massa Fe} + \text{massa TiO}_2}$$

$$1,0 \% \text{ Fe- TiO}_2 = \frac{\text{massa Fe}}{\text{massa Fe} + 1,69 \text{ gram}}$$

$$0,01 (1,69 \text{ gram} + \text{Massa Fe}) = \text{Dosis Fe}$$

$$0,00169 \text{ gram} + 0,01 \text{ Massa Fe} = \text{Dosis Fe}$$

$$\text{Massa Fe} = 0,01707 \text{ gram}$$

$$\text{Massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \frac{\text{massa Fe}}{\frac{\text{Ar Fe}}{\text{Mr FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}}$$

$$\text{Massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \frac{0,01707 \text{ gram}}{\frac{56 \text{ g/mol}}{270,39 \text{ g/mol}}}$$

$$\text{Massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 0,08239 \text{ gram}$$

$$\text{Mol Fe} = \frac{\text{massa Fe}}{\text{Mr TiO}_2}$$

$$\text{Mol Fe} = \frac{0,01707 \text{ gram}}{79,866 \text{ g/mol}}$$

$$\text{Mol Fe} = 0,00021 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Perbandingan mol TiO}_2 : \text{Fe} &= \frac{\text{Mol Fe}}{\text{Mol TiO}_2} \\ &= \frac{0,00021}{0,0211604} \end{aligned}$$

$$= \frac{\text{Mol Fe}}{1} = \frac{0,0002}{0,0211604}$$

$$\text{Mol Fe} = 0,00992$$

a. Variasi Massa Fe/TiO₂ 2,0 %

$$2,0 \% \text{ Fe- TiO}_2 = \frac{\text{massa Fe}}{\text{massa Fe} + \text{massa TiO}_2}$$

$$2,0 \% \text{ Fe- TiO}_2 = \frac{\text{massa Fe}}{\text{massa Fe} + 1,69 \text{ gram}}$$

$$0,02 (1,69 \text{ gram} + \text{Dosis Fe}) = \text{Dosis Fe}$$

$$0,0338 \text{ gram} + 0,001 \text{ Dosis Fe} = \text{Dosis Fe}$$

$$\text{Massa Fe} = 0,03448 \text{ gram}$$

$$\text{Massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \frac{\frac{\text{massa Fe}}{\text{Ar Fe}}}{\text{Mr FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}$$

$$\text{Massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \frac{0,03448 \text{ gram}}{\frac{56 \text{ g/mol}}{270,39 \text{ g/mol}}}$$

$$\text{Massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 0,16642 \text{ gram}$$

$$\text{Mol Fe} = \frac{\text{massa Fe}}{\text{Mr TiO}_2}$$

$$\text{Mol Fe} = \frac{0,03448 \text{ gram}}{79,866 \text{ g/mol}}$$

$$\text{Mol Fe} = 0,00042 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Perbandingan mol TiO}_2 : \text{Fe} &= \frac{\text{Mol Fe}}{\text{Mol TiO}_2} \\ &= \frac{0,000423}{0,0211604} \\ &= \frac{\text{Mol Fe}}{1} = \frac{0,00042}{0,0211604} \end{aligned}$$

$$\text{Mol Fe} = 0,01984$$

5. Perhitungan Rasio pH Buffer 2

Volume = 41 mL KH₂PO₄ dan 59 mL H₃PO₄

$$\text{Rasio} = \frac{\text{basa}}{\text{asam}} = \frac{41}{59} = 0,695$$

6. Perhitungan Rasio pH Buffer 3

Volume = 88 mL KH₂PO₄ dan 12 mL H₃PO₄

$$\text{Rasio basa} = \frac{\text{basa}}{\text{asam}} = \frac{88}{12} = 7,33$$

7. Perhitungan Rasio pH Buffer 5

Volume = 95 mL KH_2PO_4 dan 5 mL Na_2HPO_4

$$\text{Rasio basa} = \frac{\text{basa}}{\text{asam}} = \frac{5}{95} = 0,526$$

8. Perhitungan Rasio pH Buffer 8

Volume = 14 mL KH_2PO_4 dan 86 mL Na_2HPO_4

$$\text{Rasio basa} = \frac{\text{basa}}{\text{asam}} = \frac{86}{14} = 6,14$$

9. Perhitungan Pembuatan Larutan Buffer 0,1M dalam 100 mL

a. KH_2PO_4 (Mr = 136,09)

$$\begin{aligned} m &= M \times \text{Mr} \times V \\ &= 0,1 \text{ mol/L} \times 136,09 \text{ g/mol} \times 0,1 \text{ L} \\ &= 1,36 \text{ gram} \end{aligned}$$

b. Na_2HPO_4 (Mr = 141,96 g/mol)

$$\begin{aligned} m &= M \times \text{Mr} \times V \\ &= 0,1 \text{ mol/L} \times 141,96 \text{ g/mol} \times 0,1 \text{ L} \\ &= 1,42 \text{ gram} \end{aligned}$$

c. H_3PO_4 ($\rho = 1,685 \text{ g/mL}$) (densitas = 1,685 g/mL)

$$\begin{aligned} \text{Jumlah mol (n)} &= M \times V \\ &= 0,1 \text{ mol/L} \times 0,1 \text{ L} \\ &= 0,01 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa } \text{H}_3\text{PO}_4 \text{ murni (m)} &= n \times \text{Mr} \\ &= 0,01 \text{ mol} \times 98 \\ &= 0,98 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Massa larutan 85\% (m.larutan)} = \frac{0,98}{140,85} = 1,15 \text{ gram}$$

$$\text{Volume } \text{H}_3\text{PO}_4 \text{ pekat (V)} = \frac{1,15}{1,685} = 0,68 \text{ mL}$$

10. Perhitungan Pembuatan Larutan Konsentrasi

$$\begin{aligned} \text{a. } 1 \text{ ppm} &= (1000) (V_1) = 1 (100) \\ V_1 &= 0,1 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\text{b. } 2 \text{ ppm} = (1000) (V_1) = 2 (100)$$

$$V_1 = 0,2 \text{ mL}$$

$$\text{c. } 3 \text{ ppm} = (1000) (V_1) = 3 (100)$$

$$V_1 = 0,3 \text{ mL}$$

$$\text{d. } 4 \text{ ppm} = (1000) (V_1) = 4 (100)$$

$$V_1 = 0,4 \text{ mL}$$

$$\text{e. } 5 \text{ ppm} = (1000) (V_1) = (100)$$

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

$$\text{f. } 10 \text{ ppm} = (1000) (V_1) = 10 (100)$$

$$V_1 = 1,0 \text{ mL}$$

$$\text{g. } 15 \text{ ppm} = (1000) (V_1) = 15 (100)$$

$$V_1 = 1,5 \text{ mL}$$

$$\text{h. } 20 \text{ ppm} = (1000) (V_1) = 20 (100)$$

$$V_1 = 2,0 \text{ mL}$$

$$\text{i. } 25 \text{ ppm} = (1000) (V_1) = 25 (100)$$

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

$$\text{j. } 30 \text{ ppm} = (1000) (V_1) = 30 (100)$$

$$V_1 = 3,0 \text{ mL}$$

a. Perhitungan % Penurunan Dosis Katalis pada Reusabilitas Siklus 1

$$\begin{aligned} \text{\%Penurunan} &= \frac{0,1000 - 0,0985}{0,1000} \times 100 \\ &= \frac{0,0014}{0,1000} \times 100 = 1,4568 \% \end{aligned}$$

$$\text{b. Siklus 2} = \text{\%Penurunan} = \frac{0,0014}{0,0985} \times 100 = 1,4457\%$$

$$\text{c. Siklus 3} = \text{\%Penurunan} = \frac{0,0016}{0,0971} \times 100 = 1,6987\%$$

$$\begin{aligned} \text{d. Siklus 4} &= \text{\%Penurunan} = \frac{0,0021}{0,0954} \times 100 \\ &= 2,2966\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e. Siklus 5} &= \text{\%Penurunan} = \frac{0,0025}{0,0932} \times 100 \\ &= 2,7177\% \end{aligned}$$

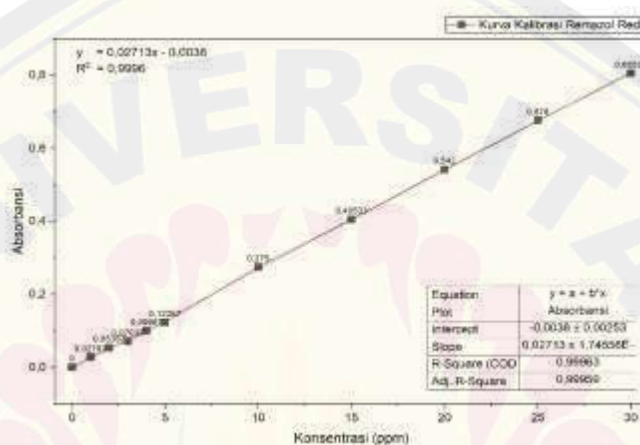
$$\begin{aligned} \text{f. Siklus 6} &= \text{\%Penurunan} = \frac{0,0027}{0,0907} \times 100 \\ &= 3,0671\% \end{aligned}$$

LAMPIRAN BAB 4**LAMPIRAN 5. HASIL DATA PENELITIAN****5.1 Kurva Kalibrasi**

Tabel 5.1 Kurva Kalibrasi

No	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi (A)	Rata-Rata Absorbansi
1.	1	A ₁ : 0,028	0,027
		A ₂ : 0,028	
		A ₃ : 0,027	
2.	2	A ₁ : 0,051	0,0536
		A ₂ : 0,053	
		A ₃ : 0,057	
3.	3	A ₁ : 0,070	0,070
		A ₂ : 0,072	
		A ₃ : 0,069	
4.	4	A ₁ : 0,100	0,99
		A ₂ : 0,098	
		A ₃ : 0,101	
5.	5	A ₁ : 0,126	0,122
		A ₂ : 0,125	
		A ₃ : 0,117	
6.	10	A ₁ : 0,270	0,275
		A ₂ : 0,279	
		A ₃ : 0,276	
7.	15	A ₁ : 0,408	0,405
		A ₂ : 0,403	
		A ₃ : 0,405	
8.	20	A ₁ : 0,540	0,542
		A ₂ : 0,550	

		$A_3 : 0,536$	
		$A_1 : 0,684$	
9.	25	$A_2 : 0,664$	0,676
		$A_3 : 0,680$	
		$A_1 : 0,788$	
10	30	$A_2 : 0,813$	0,805
		$A_3 : 0,815$	



Gambar 5.1 Kurva Kalibrasi

5.2 Hasil Adsorpsi Fotokatalisis Fe/TNT 1%

Tabel 5.2 Data Analisis Adsorpsi Fotokatalisis Fe/TNT 1%

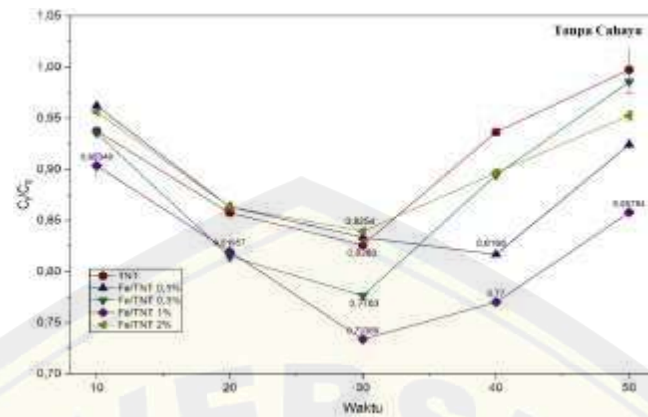
No	Waktu (menit)	Absorbansi (t)	C_t (mg/L)	C_t/C_0
1.	5'	$A_1 : 0,629$	$C_{t1} : 23,323$	$C_t/C_{0(1)} : 0,932$
		$A_2 : 0,632$	$C_{t2} : 23,433$	$C_t/C_{0(1)} : 0,937$
		$A_3 : 0,631$	$C_{t3} : 23,396$	$C_t/C_{0(1)} : 0,935$
		$\bar{x} = 0,630$	$\bar{x} = 23,384$	$\bar{x} = 0,935$
2.	10'	$A_1 : 0,600$	$C_{t1} : 22,255$	$C_t/C_{0(1)} : 0,890$
		$A_2 : 0,613$	$C_{t2} : 22,734$	$C_t/C_{0(1)} : 0,909$
		$A_3 : 0,614$	$C_{t3} : 22,771$	$C_t/C_{0(1)} : 0,910$
		$\bar{x} = 0,609$	$\bar{x} = 22,587$	$\bar{x} = 0,903$
3.	15'	$A_1 : 0,565$	$C_{t1} : 20,967$	$C_t/C_{0(1)} : 0,838$
		$A_2 : 0,564$	$C_{t2} : 20,930$	$C_t/C_{0(1)} : 0,837$

		$A_3 : 0,561$	$C_{t3} : 20,820$	$C_t/C_{0(1)} : 0,832$
		$\bar{x} = 0,563$	$\bar{x} = 20,906$	$\bar{x} = 0,836$
		$A_1 : 0,555$	$C_{t1} : 20,599$	$C_t/C_{0(1)} : 0,823$
		$A_2 : 0,551$	$C_{t2} : 20,452$	$C_t/C_{0(1)} : 0,818$
		$A_3 : 0,550$	$C_{t3} : 20,415$	$C_t/C_{0(1)} : 0,816$
4.	20'	$\bar{x} = 0,552$	$\bar{x} = 20,489$	$\bar{x} = 0,819$
		$A_1 : 0,545$	$C_{t1} : 20,231$	$C_t/C_{0(1)} : 0,809$
		$A_2 : 0,544$	$C_{t2} : 20,194$	$C_t/C_{0(1)} : 0,807$
		$A_3 : 0,540$	$C_{t3} : 20,047$	$C_t/C_{0(1)} : 0,801$
		$\bar{x} = 0,543$	$\bar{x} = 20,157$	$\bar{x} = 0,806$
		$A_1 : 0,492$	$C_{t1} : 18,280$	$C_t/C_{0(1)} : 0,731$
		$A_2 : 0,496$	$C_{t2} : 18,428$	$C_t/C_{0(1)} : 0,737$
		$A_3 : 0,493$	$C_{t3} : 18,317$	$C_t/C_{0(1)} : 0,732$
		$\bar{x} = 0,493$	$\bar{x} = 18,342$	$\bar{x} = 0,733$
		$A_1 : 0,501$	$C_{t1} : 18,612$	$C_t/C_{0(1)} : 0,744$
		$A_2 : 0,500$	$C_{t2} : 18,575$	$C_t/C_{0(1)} : 0,743$
7.	35'	$A_3 : 0,509$	$C_{t3} : 18,906$	$C_t/C_{0(1)} : 0,756$
		$\bar{x} = 0,503$	$\bar{x} = 18,697$	$\bar{x} = 0,747$
		$A_1 : 0,516$	$C_{t1} : 19,164$	$C_t/C_{0(1)} : 0,766$
		$A_2 : 0,519$	$C_{t2} : 19,274$	$C_t/C_{0(1)} : 0,770$
		$A_3 : 0,520$	$C_{t3} : 19,311$	$C_t/C_{0(1)} : 0,772$
		$\bar{x} = 0,518$	$\bar{x} = 19,250$	$\bar{x} = 0,770$
		$A_1 : 0,550$	$C_{t1} : 20,489$	$C_t/C_{0(1)} : 0,819$
		$A_2 : 0,552$	$C_{t2} : 20,452$	$C_t/C_{0(1)} : 0,818$
		$A_3 : 0,551$	$C_{t3} : 20,415$	$C_t/C_{0(1)} : 0,816$
		$\bar{x} = 0,551$	$\bar{x} = 20,452$	$\bar{x} = 0,818$
		$A_1 : 0,577$	$C_{t1} : 21,409$	$C_t/C_{0(1)} : 0,856$
		$A_2 : 0,579$	$C_{t2} : 21,482$	$C_t/C_{0(1)} : 0,859$
10	50'	$A_3 : 0,578$	$C_{t3} : 21,446$	$C_t/C_{0(1)} : 0,857$

$$\bar{x} = 0,578$$

$$\bar{x} = 21,446$$

$$\bar{x} = 0,857$$



Gambar 5.2 Grafik hubungan waktu terhadap larutan dye remazol red pada kondisi tanpa penyinaran dari Fe/TNT

5.3 Hasil Fotodegradasi *Remazol Red* dan Fe/TNT 1%

Tabel 5.3 Dye Remazol Red Tanpa Katalis

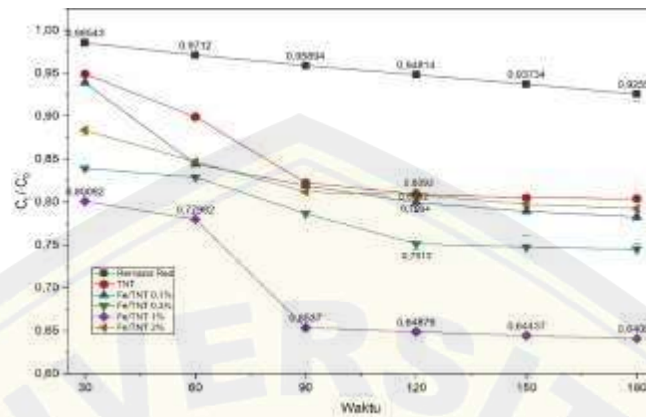
No	Waktu (menit)	Absorbansi	Ct (mg/L)	Ct/C0	% Degradasi
1.	30'	A ₁ : 0,666	Ct ₁ : 24,684	C _t /C ₀₁ : 0,987	%D ₁ : 1,260
		A ₂ : 0,665	Ct ₂ : 24,648	C _t /C ₀₁ : 0,985	%D ₂ : 1,407
		$\bar{x}$: 0,665	$\bar{x}$: 24,666	$\bar{x}$: 0,986	$\bar{x}$: 1,333
2.	60'	A ₁ : 0,655	Ct ₁ : 24,280	C _t /C ₀₁ : 0,971	%D ₁ : 2,879
		A ₂ : 0,656	Ct ₂ : 24,316	C _t /C ₀₁ : 0,972	%D ₂ : 2,732
		$\bar{x}$: 0,655	$\bar{x}$: 24,298	$\bar{x}$: 0,971	$\bar{x}$: 2,806
3.	90'	A ₁ : 0,649	Ct ₁ : 24,059	C _t /C ₀₁ : 0,962	%D ₁ : 3,762
		A ₂ : 0,645	Ct ₂ : 23,912	C _t /C ₀₁ : 0,956	%D ₂ : 4,351
		$\bar{x}$: 0,647	$\bar{x}$: 23,985	$\bar{x}$: 0,959	$\bar{x}$: 4,057
4.	120'	A ₁ : 0,640	Ct ₁ : 23,728	C _t /C ₀₁ : 0,949	%D ₁ : 5,087
		A ₂ : 0,641	Ct ₂ : 23,764	C _t /C ₀₁ : 0,950	%D ₂ : 4,940
		$\bar{x}$: 0,640	$\bar{x}$: 23,746	$\bar{x}$: 0,949	$\bar{x}$: 5,014
		A ₁ : 0,632	Ct ₁ : 23,433	C _t /C ₀₁ : 0,937	%D ₁ : 6,265
		A ₂ : 0,631	Ct ₂ : 23,396	C _t /C ₀₁ : 0,935	%D ₂ : 6,412

5.	150'	$\bar{x} : 0,631$	$\bar{x} : 23,415$	$\bar{x} : 0,936$	$\bar{x} : 6,339$
		$A_1 : 0,622$	$C_{t1} : 23,065$	$C_t/C_{01} : 0,922$	$\%D_1 : 7,737$
		$A_2 : 0,620$	$C_{t2} : 22,991$	$C_t/C_{01} : 0,919$	$\%D_2 : 8,032$
6.	180'	$\bar{x} : 0,621$	$\bar{x} : 23,038$	$\bar{x} : 0,922$	$\bar{x} : 7,885$

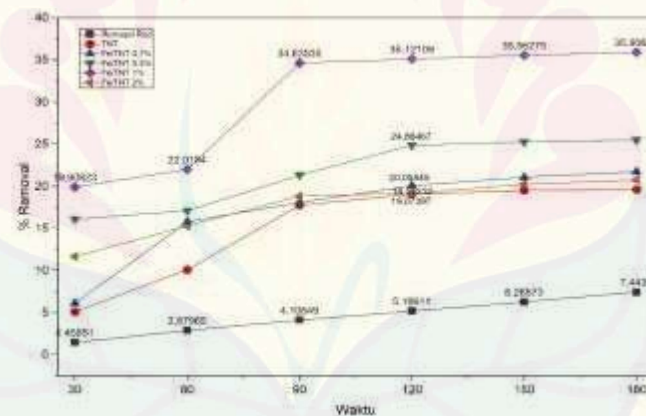
Tabel 5.4 Data Analisis Fotokatalisis Fe/TNT 1%

No	Waktu (menit)	Absorbansi	Ct (mg/L	Ct/C0	% Degradasi
1.	30'	$A_1 : 0,547$	$C_{t1} : 20,305$	$C_t/C_{01} : 0,812$	$\%D_1 : 18,779$
		$A_2 : 0,535$	$C_{t2} : 19,863$	$C_t/C_{01} : 0,794$	$\%D_2 : 20,546$
		$A_3 : 0,536$	$C_{t3} : 19,900$	$C_t/C_{01} : 0,796$	$\%D_3 : 20,398$
		$\bar{x} : 0,539$	$\bar{x} : 20,022$	$\bar{x} : 0,800$	$\bar{x} : 19,908$
		$A_1 : 0,529$	$C_{t1} : 19,642$	$C_t/C_{01} : 0,785$	$\%D_1 : 21,429$
2.	60'	$A_2 : 0,526$	$C_{t2} : 19,532$	$C_t/C_{01} : 0,781$	$\%D_2 : 21,871$
		$A_3 : 0,520$	$C_{t3} : 19,311$	$C_t/C_{01} : 0,772$	$\%D_3 : 22,754$
		$\bar{x} : 0,525$	$\bar{x} : 19,495$	$\bar{x} : 0,779$	$\bar{x} : 22,018$
		$A_1 : 0,439$	$C_{t1} : 16,330$	$C_t/C_{01} : 0,653$	$\%D_1 : 34,679$
		$A_2 : 0,442$	$C_{t2} : 16,440$	$C_t/C_{01} : 0,657$	$\%D_2 : 34,237$
3.	90'	$A_3 : 0,437$	$C_{t3} : 16,256$	$C_t/C_{01} : 0,650$	$\%D_3 : 34,973$
		$\bar{x} : 0,439$	$\bar{x} : 16,342$	$\bar{x} : 0,653$	$\bar{x} : 34,630$
		$A_1 : 0,434$	$C_{t1} : 16,146$	$C_t/C_{01} : 0,645$	$\%D_1 : 35,415$
		$A_2 : 0,438$	$C_{t2} : 16,293$	$C_t/C_{01} : 0,651$	$\%D_2 : 34,826$
		$A_3 : 0,436$	$C_{t3} : 16,219$	$C_t/C_{01} : 0,648$	$\%D_3 : 35,121$
4.	120'	$\bar{x} : 0,436$	$\bar{x} : 16,219$	$\bar{x} : 0,648$	$\bar{x} : 35,121$
		$A_1 : 0,433$	$C_{t1} : 16,109$	$C_t/C_{01} : 0,644$	$\%D_1 : 35,562$
		$A_2 : 0,438$	$C_{t2} : 16,035$	$C_t/C_{01} : 0,641$	$\%D_2 : 36,857$
		$A_3 : 0,436$	$C_{t3} : 16,182$	$C_t/C_{01} : 0,647$	$\%D_3 : 35,268$
		$\bar{x} : 0,436$	$\bar{x} : 16,109$	$\bar{x} : 0,644$	$\bar{x} : 35,562$
5.	150'	$A_1 : 0,432$	$C_{t1} : 16,072$	$C_t/C_{01} : 0,642$	$\%D_1 : 35,709$
		$A_2 : 0,429$	$C_{t2} : 15,962$	$C_t/C_{01} : 0,638$	$\%D_2 : 36,151$

6.	180'	$A_3 : 0,431$	$C_{t3} : 16,035$	$C_t/C_{01} : 0,641$	$\%D_3 : 35,857$
		$\bar{x} : 0,430$	$\bar{x} : 16,023$	$\bar{x} : 0,640$	$\bar{x} : 35,906$



Gambar 5.3 Grafik hubungan waktu terhadap larutan dye remazol red pada lama penyinaran dari Fe/TNT dengan nilai C/C_0



Gambar 5.4 Grafik hubungan waktu terhadap larutan dye remazol red pada lama penyinaran dari Fe/TNT dengan nilai $\% \text{ removal}$

5.5 Hasil pH Larutan Remazol Red Dye

Tabel 5.5 Data Hasil Uji pH Remazol Red 25 ppm

Panjang Gelombang	Absorbansi S1	Absorbansi S2	Absorbansi S3	Rata- Rata Absorbnsi
600,0	0,007	0,024	0,061	0,031
599,0	0,007	0,025	0,062	0,031
598,0	0,008	0,026	0,063	0,032

597,0	0,009	0,027	0,064	0,033
596,0	0,010	0,028	0,064	0,034
595,0	0,012	0,029	0,065	0,035
594,0	0,013	0,030	0,067	0,037
593,0	0,014	0,032	0,068	0,038
592,0	0,015	0,034	0,070	0,040
591,0	0,017	0,035	0,072	0,041
590,0	0,019	0,038	0,074	0,043
589,0	0,022	0,040	0,076	0,046
588,0	0,024	0,042	0,079	0,048
587,0	0,028	0,045	0,081	0,051
586,0	0,031	0,048	0,085	0,054
585,0	0,034	0,051	0,088	0,058
584,0	0,038	0,054	0,091	0,061
583,0	0,041	0,058	0,095	0,065
582,0	0,046	0,062	0,099	0,069
581,0	0,050	0,067	0,103	0,073
580,0	0,056	0,072	0,108	0,079
579,0	0,062	0,078	0,114	0,085
578,0	0,069	0,085	0,121	0,092
577,0	0,076	0,092	0,127	0,099
576,0	0,084	0,099	0,134	0,106
575,0	0,091	0,106	0,141	0,113
574,0	0,099	0,114	0,148	0,120
573,0	0,107	0,122	0,156	0,128
572,0	0,117	0,131	0,165	0,137
571,0	0,127	0,141	0,174	0,148
570,0	0,139	0,153	0,185	0,159
569,0	0,152	0,166	0,197	0,172
568,0	0,167	0,179	0,210	0,185
567,0	0,181	0,193	0,223	0,199
566,0	0,195	0,207	0,236	0,213
565,0	0,209	0,221	0,249	0,226
564,0	0,223	0,234	0,262	0,240
563,0	0,238	0,248	0,275	0,254
562,0	0,254	0,264	0,290	0,269
561,0	0,271	0,281	0,305	0,286
560,0	0,290	0,299	0,322	0,304
559,0	0,310	0,319	0,341	0,323
558,0	0,331	0,338	0,359	0,343
557,0	0,351	0,358	0,377	0,362

556,0	0,370	0,376	0,394	0,380
555,0	0,388	0,393	0,410	0,397
554,0	0,405	0,410	0,425	0,413
553,0	0,421	0,426	0,440	0,429
552,0	0,439	0,443	0,456	0,446
551,0	0,458	0,461	0,473	0,464
550,0	0,477	0,479	0,490	0,482
549,0	0,496	0,498	0,508	0,501
548,0	0,514	0,516	0,524	0,518
547,0	0,530	0,532	0,539	0,534
546,0	0,545	0,546	0,552	0,548
545,0	0,558	0,559	0,564	0,560
544,0	0,569	0,570	0,574	0,571
543,0	0,580	0,581	0,584	0,581
542,0	0,590	0,591	0,593	0,592
541,0	0,601	0,601	0,603	0,602
540,0	0,611	0,611	0,612	0,611
539,0	0,621	0,620	0,621	0,620
538,0	0,629	0,628	0,628	0,628
537,0	0,636	0,634	0,634	0,635
536,0	0,641	0,640	0,639	0,640
535,0	0,645	0,644	0,643	0,644
534,0	0,648	0,647	0,646	0,647
533,0	0,651	0,650	0,649	0,650
532,0	0,654	0,653	0,652	0,653
531,0	0,656	0,655	0,654	0,655
530,0	0,658	0,657	0,656	0,657
529,0	0,660	0,659	0,658	0,659
528,0	0,661	0,660	0,659	0,660
527,0	0,662	0,661	0,660	0,661
526,0	0,663	0,662	0,660	0,661
525,0	0,663	0,662	0,661	0,662
524,0	0,663	0,663	0,661	0,662
523,0	0,664	0,663	0,662	0,663
522,0	0,664	0,663	0,662	0,663
521,0	0,664	0,663	0,662	0,663
520,0	0,664	0,664	0,663	0,663
519,0	0,664	0,664	0,663	0,664
518,0	0,665	0,664	0,663	0,664
517,0	0,664	0,664	0,663	0,664
516,0	0,664	0,664	0,663	0,663

515,0	0,664	0,663	0,662	0,663
514,0	0,663	0,663	0,662	0,662
513,0	0,662	0,662	0,661	0,662
512,0	0,661	0,661	0,660	0,660
511,0	0,659	0,659	0,658	0,659
510,0	0,657	0,657	0,656	0,657
509,0	0,654	0,654	0,654	0,654
508,0	0,650	0,650	0,651	0,650
507,0	0,646	0,646	0,647	0,647
506,0	0,642	0,642	0,643	0,642
505,0	0,637	0,638	0,639	0,638
504,0	0,632	0,633	0,635	0,633
503,0	0,626	0,628	0,630	0,628
502,0	0,620	0,622	0,624	0,622
501,0	0,613	0,615	0,618	0,615
500,0	0,604	0,607	0,610	0,607
499,0	0,595	0,598	0,602	0,599
498,0	0,586	0,589	0,594	0,590
497,0	0,577	0,580	0,585	0,581
496,0	0,567	0,571	0,577	0,572
495,0	0,558	0,562	0,569	0,563
494,0	0,550	0,554	0,562	0,555
493,0	0,541	0,545	0,554	0,546
492,0	0,531	0,536	0,545	0,537
491,0	0,521	0,526	0,536	0,528
490,0	0,510	0,515	0,527	0,517
489,0	0,498	0,505	0,517	0,506
488,0	0,487	0,494	0,507	0,496
487,0	0,477	0,483	0,498	0,486
486,0	0,467	0,474	0,489	0,477
485,0	0,458	0,465	0,481	0,468
484,0	0,449	0,457	0,473	0,460
483,0	0,441	0,449	0,465	0,452
482,0	0,432	0,440	0,457	0,443
481,0	0,422	0,431	0,449	0,434
480,0	0,412	0,421	0,440	0,424
479,0	0,401	0,411	0,431	0,414
478,0	0,391	0,401	0,422	0,405
477,0	0,381	0,392	0,413	0,395
476,0	0,372	0,383	0,405	0,387
475,0	0,364	0,375	0,398	0,379

474,0	0,356	0,367	0,391	0,372
473,0	0,349	0,360	0,384	0,364
472,0	0,340	0,352	0,377	0,356
471,0	0,331	0,343	0,369	0,348
470,0	0,321	0,334	0,360	0,338
469,0	0,311	0,324	0,351	0,329
468,0	0,301	0,315	0,343	0,320
467,0	0,292	0,306	0,335	0,311
466,0	0,284	0,298	0,327	0,303
465,0	0,276	0,290	0,320	0,295
464,0	0,269	0,283	0,314	0,288
463,0	0,261	0,276	0,307	0,281
462,0	0,254	0,268	0,301	0,274
461,0	0,246	0,261	0,294	0,267
460,0	0,237	0,253	0,287	0,259
459,0	0,229	0,244	0,279	0,251
458,0	0,220	0,236	0,272	0,243
457,0	0,213	0,229	0,266	0,236
456,0	0,206	0,222	0,260	0,229
455,0	0,200	0,216	0,254	0,223
454,0	0,194	0,211	0,249	0,218
453,0	0,189	0,205	0,244	0,213
452,0	0,183	0,200	0,239	0,207
451,0	0,177	0,195	0,234	0,202
450,0	0,171	0,189	0,229	0,197
449,0	0,166	0,184	0,225	0,191
448,0	0,160	0,178	0,220	0,186
447,0	0,155	0,174	0,216	0,181
446,0	0,151	0,169	0,212	0,177
445,0	0,147	0,166	0,209	0,174
444,0	0,143	0,162	0,206	0,170
443,0	0,140	0,159	0,203	0,167
442,0	0,137	0,156	0,200	0,164
441,0	0,133	0,153	0,198	0,161
440,0	0,130	0,150	0,195	0,158
439,0	0,127	0,147	0,193	0,155
438,0	0,124	0,144	0,190	0,153
437,0	0,122	0,142	0,189	0,151
436,0	0,120	0,140	0,187	0,149
435,0	0,118	0,139	0,186	0,148
434,0	0,117	0,137	0,185	0,146

433,0	0,116	0,136	0,184	0,145
432,0	0,114	0,135	0,183	0,144
431,0	0,113	0,134	0,182	0,143
430,0	0,112	0,133	0,182	0,142
429,0	0,112	0,133	0,181	0,142
428,0	0,111	0,132	0,181	0,141
427,0	0,111	0,132	0,181	0,141
426,0	0,111	0,131	0,181	0,141
425,0	0,110	0,131	0,181	0,141
424,0	0,110	0,131	0,181	0,141
423,0	0,110	0,131	0,182	0,141
422,0	0,110	0,131	0,182	0,141
421,0	0,111	0,132	0,183	0,142
420,0	0,111	0,132	0,183	0,142
419,0	0,112	0,133	0,184	0,143
418,0	0,112	0,134	0,185	0,144
417,0	0,113	0,134	0,186	0,145
416,0	0,114	0,135	0,188	0,146
415,0	0,114	0,136	0,189	0,146
414,0	0,115	0,137	0,190	0,147
413,0	0,116	0,138	0,191	0,148
412,0	0,117	0,139	0,192	0,149
411,0	0,118	0,140	0,193	0,151
410,0	0,120	0,142	0,195	0,152
409,0	0,122	0,143	0,197	0,154
408,0	0,123	0,145	0,199	0,156
407,0	0,125	0,147	0,201	0,158
406,0	0,127	0,149	0,203	0,159
405,0	0,129	0,150	0,205	0,161
404,0	0,131	0,152	0,206	0,163
403,0	0,133	0,154	0,208	0,165
402,0	0,135	0,156	0,211	0,167
401,0	0,136	0,158	0,212	0,169
400,0	0,137	0,160	0,214	0,170

Tabel 5.6 Data Hasil Semua Variasi pH *Remazol Red*

Panjang Gelombang	dye	pH 2	pH 3	pH 4	pH 5	pH 8
600,0	0,031	0,022	0,036	0,005	0,028	0,029
599,0	0,031	0,022	0,037	0,005	0,028	0,030

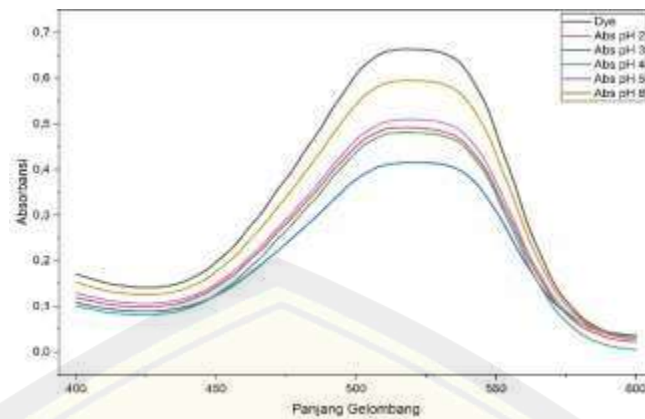
598,0	0,032	0,023	0,037	0,006	0,029	0,031
597,0	0,033	0,024	0,038	0,007	0,030	0,032
596,0	0,034	0,025	0,038	0,008	0,031	0,033
595,0	0,035	0,026	0,039	0,009	0,032	0,034
594,0	0,037	0,026	0,040	0,009	0,033	0,035
593,0	0,038	0,027	0,041	0,010	0,034	0,036
592,0	0,040	0,028	0,042	0,011	0,035	0,038
591,0	0,041	0,029	0,043	0,013	0,036	0,039
590,0	0,043	0,031	0,044	0,014	0,038	0,041
589,0	0,046	0,033	0,045	0,016	0,040	0,043
588,0	0,048	0,035	0,047	0,018	0,042	0,046
587,0	0,051	0,038	0,048	0,020	0,044	0,048
586,0	0,054	0,040	0,050	0,023	0,046	0,051
585,0	0,058	0,042	0,052	0,025	0,049	0,054
584,0	0,061	0,045	0,055	0,028	0,051	0,057
583,0	0,065	0,048	0,057	0,031	0,054	0,060
582,0	0,069	0,051	0,060	0,034	0,058	0,064
581,0	0,073	0,054	0,062	0,037	0,061	0,068
580,0	0,079	0,058	0,065	0,041	0,065	0,073
579,0	0,085	0,063	0,068	0,046	0,070	0,078
578,0	0,092	0,068	0,072	0,051	0,075	0,084
577,0	0,099	0,073	0,076	0,057	0,080	0,090
576,0	0,106	0,079	0,080	0,062	0,085	0,097
575,0	0,113	0,084	0,085	0,068	0,091	0,103
574,0	0,120	0,090	0,090	0,073	0,097	0,110
573,0	0,128	0,096	0,095	0,079	0,103	0,118
572,0	0,137	0,102	0,101	0,086	0,110	0,126
571,0	0,148	0,110	0,107	0,094	0,118	0,135
570,0	0,159	0,119	0,113	0,103	0,126	0,145
569,0	0,172	0,128	0,120	0,112	0,136	0,156
568,0	0,185	0,138	0,128	0,122	0,146	0,168
567,0	0,199	0,149	0,136	0,133	0,156	0,180
566,0	0,213	0,159	0,144	0,143	0,167	0,192
565,0	0,226	0,168	0,153	0,153	0,178	0,205
564,0	0,240	0,178	0,163	0,163	0,188	0,217
563,0	0,254	0,189	0,172	0,174	0,199	0,230
562,0	0,269	0,200	0,181	0,185	0,211	0,244
561,0	0,286	0,212	0,191	0,198	0,224	0,259
560,0	0,304	0,226	0,201	0,212	0,237	0,274
559,0	0,323	0,240	0,211	0,226	0,251	0,291
558,0	0,343	0,254	0,222	0,241	0,266	0,308

557,0	0,362	0,268	0,233	0,255	0,280	0,325
556,0	0,380	0,281	0,245	0,268	0,294	0,341
555,0	0,397	0,293	0,256	0,281	0,307	0,357
554,0	0,413	0,305	0,267	0,293	0,320	0,372
553,0	0,429	0,317	0,278	0,305	0,333	0,387
552,0	0,446	0,329	0,289	0,318	0,346	0,402
551,0	0,464	0,342	0,299	0,331	0,359	0,418
550,0	0,482	0,356	0,309	0,345	0,373	0,434
549,0	0,501	0,369	0,318	0,359	0,386	0,449
548,0	0,518	0,382	0,328	0,371	0,398	0,464
547,0	0,534	0,393	0,337	0,383	0,410	0,478
546,0	0,548	0,403	0,346	0,394	0,421	0,491
545,0	0,560	0,412	0,354	0,403	0,431	0,502
544,0	0,571	0,420	0,362	0,411	0,440	0,512
543,0	0,581	0,428	0,369	0,419	0,448	0,522
542,0	0,592	0,435	0,375	0,426	0,455	0,531
541,0	0,602	0,443	0,381	0,434	0,463	0,540
540,0	0,611	0,450	0,386	0,441	0,470	0,548
539,0	0,620	0,457	0,391	0,448	0,477	0,556
538,0	0,628	0,463	0,395	0,454	0,482	0,563
537,0	0,635	0,467	0,398	0,459	0,487	0,568
536,0	0,640	0,471	0,401	0,462	0,491	0,573
535,0	0,644	0,475	0,404	0,466	0,494	0,577
534,0	0,647	0,477	0,407	0,468	0,497	0,580
533,0	0,650	0,479	0,408	0,470	0,499	0,583
532,0	0,653	0,481	0,410	0,472	0,501	0,585
531,0	0,655	0,483	0,411	0,474	0,503	0,587
530,0	0,657	0,485	0,412	0,475	0,504	0,589
529,0	0,659	0,486	0,413	0,477	0,506	0,590
528,0	0,660	0,487	0,414	0,478	0,506	0,591
527,0	0,661	0,488	0,414	0,478	0,507	0,592
526,0	0,661	0,489	0,414	0,479	0,508	0,593
525,0	0,662	0,489	0,415	0,479	0,508	0,593
524,0	0,662	0,490	0,415	0,480	0,508	0,594
523,0	0,663	0,490	0,415	0,480	0,509	0,594
522,0	0,663	0,491	0,415	0,480	0,509	0,594
521,0	0,663	0,491	0,415	0,480	0,509	0,594
520,0	0,663	0,491	0,415	0,481	0,509	0,594
519,0	0,664	0,492	0,415	0,481	0,509	0,595
518,0	0,664	0,492	0,415	0,481	0,509	0,595
517,0	0,664	0,492	0,415	0,481	0,509	0,595

516,0	0,663	0,492	0,414	0,481	0,509	0,594
515,0	0,663	0,491	0,414	0,481	0,508	0,594
514,0	0,662	0,491	0,413	0,480	0,508	0,593
513,0	0,661	0,491	0,413	0,480	0,507	0,592
512,0	0,660	0,490	0,412	0,479	0,506	0,591
511,0	0,659	0,489	0,411	0,478	0,505	0,590
510,0	0,657	0,487	0,409	0,476	0,503	0,588
509,0	0,654	0,485	0,408	0,474	0,501	0,585
508,0	0,650	0,482	0,406	0,471	0,498	0,582
507,0	0,647	0,479	0,403	0,468	0,495	0,579
506,0	0,642	0,476	0,400	0,465	0,492	0,575
505,0	0,638	0,473	0,397	0,462	0,488	0,571
504,0	0,633	0,470	0,394	0,458	0,485	0,567
503,0	0,628	0,466	0,390	0,454	0,480	0,562
502,0	0,622	0,461	0,386	0,449	0,476	0,556
501,0	0,615	0,456	0,382	0,444	0,471	0,550
500,0	0,607	0,451	0,378	0,438	0,465	0,543
499,0	0,599	0,444	0,373	0,432	0,458	0,536
498,0	0,590	0,438	0,368	0,425	0,452	0,528
497,0	0,581	0,431	0,364	0,418	0,445	0,520
496,0	0,572	0,424	0,357	0,412	0,438	0,512
495,0	0,563	0,418	0,351	0,405	0,431	0,504
494,0	0,555	0,412	0,345	0,399	0,425	0,496
493,0	0,546	0,406	0,339	0,392	0,418	0,488
492,0	0,537	0,399	0,334	0,386	0,411	0,480
491,0	0,528	0,392	0,328	0,378	0,403	0,472
490,0	0,517	0,384	0,322	0,370	0,396	0,463
489,0	0,506	0,376	0,316	0,362	0,388	0,454
488,0	0,496	0,368	0,310	0,354	0,380	0,444
487,0	0,486	0,361	0,304	0,347	0,372	0,435
486,0	0,477	0,354	0,298	0,339	0,365	0,427
485,0	0,468	0,347	0,292	0,333	0,358	0,419
484,0	0,460	0,341	0,286	0,327	0,352	0,411
483,0	0,452	0,335	0,281	0,320	0,345	0,403
482,0	0,443	0,328	0,275	0,314	0,338	0,396
481,0	0,434	0,321	0,270	0,307	0,331	0,388
480,0	0,424	0,314	0,264	0,299	0,324	0,379
479,0	0,414	0,307	0,259	0,292	0,317	0,371
478,0	0,405	0,299	0,254	0,285	0,310	0,362
477,0	0,395	0,293	0,248	0,278	0,303	0,354
476,0	0,387	0,286	0,243	0,271	0,296	0,347

475,0	0,379	0,280	0,237	0,265	0,290	0,339
474,0	0,372	0,275	0,232	0,259	0,284	0,332
473,0	0,364	0,269	0,227	0,254	0,278	0,325
472,0	0,356	0,263	0,221	0,248	0,272	0,318
471,0	0,348	0,256	0,216	0,241	0,265	0,310
470,0	0,338	0,249	0,211	0,234	0,258	0,302
469,0	0,329	0,242	0,206	0,227	0,251	0,294
468,0	0,320	0,235	0,201	0,220	0,244	0,286
467,0	0,311	0,229	0,196	0,213	0,238	0,279
466,0	0,303	0,223	0,191	0,207	0,231	0,271
465,0	0,295	0,217	0,186	0,201	0,225	0,264
464,0	0,288	0,212	0,181	0,196	0,220	0,258
463,0	0,281	0,207	0,176	0,191	0,214	0,251
462,0	0,274	0,201	0,171	0,185	0,209	0,245
461,0	0,267	0,195	0,167	0,179	0,203	0,238
460,0	0,259	0,190	0,162	0,173	0,197	0,231
459,0	0,251	0,184	0,158	0,167	0,191	0,224
458,0	0,243	0,178	0,153	0,161	0,185	0,217
457,0	0,236	0,172	0,149	0,156	0,180	0,211
456,0	0,229	0,167	0,145	0,151	0,175	0,205
455,0	0,223	0,163	0,141	0,146	0,170	0,200
454,0	0,218	0,159	0,137	0,142	0,166	0,195
453,0	0,213	0,155	0,134	0,138	0,162	0,190
452,0	0,207	0,151	0,130	0,134	0,158	0,185
451,0	0,202	0,147	0,127	0,130	0,154	0,180
450,0	0,197	0,143	0,124	0,126	0,149	0,176
449,0	0,191	0,139	0,121	0,122	0,145	0,171
448,0	0,186	0,135	0,118	0,118	0,142	0,166
447,0	0,181	0,131	0,115	0,114	0,138	0,162
446,0	0,177	0,128	0,113	0,111	0,135	0,158
445,0	0,174	0,125	0,110	0,108	0,132	0,155
444,0	0,170	0,123	0,108	0,105	0,129	0,152
443,0	0,167	0,120	0,106	0,103	0,127	0,149
442,0	0,164	0,118	0,104	0,100	0,124	0,146
441,0	0,161	0,115	0,102	0,098	0,122	0,144
440,0	0,158	0,113	0,100	0,096	0,120	0,141
439,0	0,155	0,111	0,099	0,094	0,118	0,139
438,0	0,153	0,109	0,097	0,092	0,116	0,137
437,0	0,151	0,107	0,096	0,090	0,114	0,135
436,0	0,149	0,106	0,095	0,088	0,113	0,133
435,0	0,148	0,105	0,094	0,087	0,112	0,132

434,0	0,146	0,104	0,093	0,086	0,110	0,130
433,0	0,145	0,103	0,092	0,085	0,110	0,129
432,0	0,144	0,102	0,091	0,084	0,109	0,128
431,0	0,143	0,101	0,090	0,084	0,108	0,128
430,0	0,142	0,100	0,090	0,083	0,108	0,127
429,0	0,142	0,100	0,090	0,082	0,107	0,127
428,0	0,141	0,099	0,089	0,082	0,107	0,126
427,0	0,141	0,099	0,089	0,082	0,106	0,126
426,0	0,141	0,099	0,089	0,081	0,106	0,126
425,0	0,141	0,099	0,089	0,081	0,106	0,126
424,0	0,141	0,099	0,089	0,081	0,106	0,126
423,0	0,141	0,099	0,089	0,081	0,106	0,126
422,0	0,141	0,099	0,089	0,081	0,106	0,126
421,0	0,142	0,099	0,089	0,082	0,107	0,126
420,0	0,142	0,099	0,090	0,082	0,107	0,127
419,0	0,143	0,100	0,090	0,082	0,108	0,127
418,0	0,144	0,100	0,090	0,083	0,108	0,128
417,0	0,145	0,101	0,091	0,083	0,109	0,129
416,0	0,146	0,101	0,091	0,084	0,109	0,129
415,0	0,146	0,102	0,092	0,084	0,110	0,130
414,0	0,147	0,102	0,093	0,085	0,111	0,131
413,0	0,148	0,103	0,093	0,085	0,111	0,132
412,0	0,149	0,104	0,094	0,086	0,112	0,133
411,0	0,151	0,105	0,095	0,087	0,113	0,134
410,0	0,152	0,106	0,096	0,088	0,115	0,136
409,0	0,154	0,107	0,097	0,089	0,116	0,137
408,0	0,156	0,109	0,098	0,091	0,117	0,139
407,0	0,158	0,110	0,099	0,092	0,119	0,140
406,0	0,159	0,112	0,100	0,093	0,120	0,142
405,0	0,161	0,113	0,101	0,095	0,121	0,144
404,0	0,163	0,114	0,103	0,096	0,123	0,145
403,0	0,165	0,115	0,104	0,097	0,124	0,147
402,0	0,167	0,117	0,106	0,099	0,126	0,149
401,0	0,169	0,118	0,107	0,100	0,127	0,151
400,0	0,170	0,119	0,108	0,101	0,129	0,152

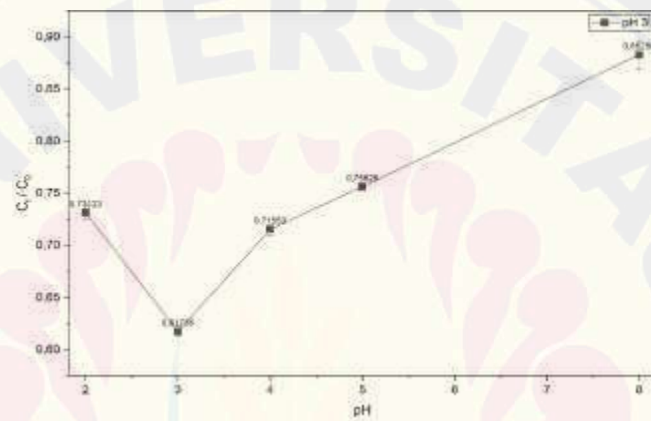


Gambar 5.5 Grafik absorbansi larutan *remazol red* terhadap panjang gelombang pada setiap variasi pH

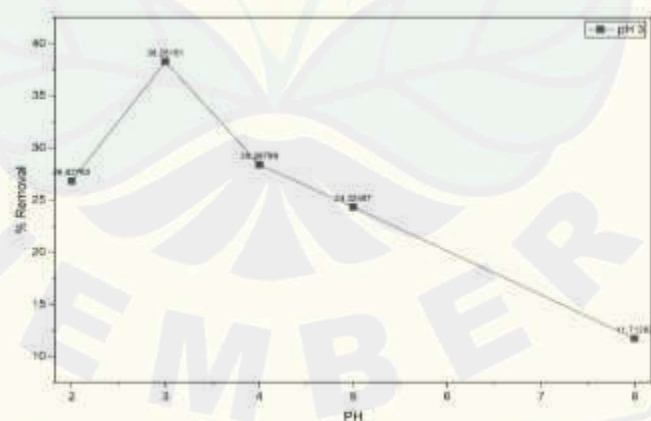
Tabel 5.7 pH Larutan *Remazol Red Dye*

No	pH	Absorbansi	Ct (mg/L)	Ct/C ₀	% Degradasi
1.	Dye	A ₁ : 0,665	Ct ₁ : 24,648	C _t /C ₀₁ : 0,984	%D ₁ : 1,407
		A ₂ : 0,664	Ct ₂ : 24,611	C _t /C ₀₁ : 0,731	%D ₂ : 1,554
		A ₃ : 0,663	Ct ₃ : 24,575	C _t /C ₀₁ : 0,617	%D ₃ : 1,701
		$\bar{x}$: 0,664	$\bar{x}$: 18,293	$\bar{x}$: 0,715	$\bar{x}$: 1,554
2.	2	A ₁ : 0,487	Ct ₁ : 18,097	C _t /C ₀₁ : 0,723	%D ₁ : 27,612
		A ₂ : 0,494	Ct ₂ : 18,354	C _t /C ₀₁ : 0,734	%D ₂ : 26,582
		A ₃ : 0,495	Ct ₃ : 18,391	C _t /C ₀₁ : 0,735	%D ₃ : 26,435
		$\bar{x}$: 0,492	$\bar{x}$: 18,280	$\bar{x}$: 0,731	$\bar{x}$: 26,876
3.	3	A ₁ : 0,411	Ct ₁ : 15,299	C _t /C ₀₁ : 0,611	%D ₁ : 38,801
		A ₂ : 0,415	Ct ₂ : 15,446	C _t /C ₀₁ : 0,617	%D ₂ : 38,212
		A ₃ : 0,418	Ct ₃ : 15,557	C _t /C ₀₁ : 0,622	%D ₃ : 37,771
		$\bar{x}$: 0,414	$\bar{x}$: 15,434	$\bar{x}$: 0,617	$\bar{x}$: 38,261
4.	4	A ₁ : 0,484	Ct ₁ : 17,986	C _t /C ₀₁ : 0,719	%D ₁ : 28,054
		A ₂ : 0,483	Ct ₂ : 17,950	C _t /C ₀₁ : 0,717	%D ₂ : 28,201
		A ₃ : 0,477	Ct ₃ : 17,729	C _t /C ₀₁ : 0,709	%D ₃ : 29,085
		$\bar{x}$: 0,481	$\bar{x}$: 17,888	$\bar{x}$: 0,715	$\bar{x}$: 28,447

5.	5	$A_1 : 0,511$	$Ct_1 : 18,980$	$C_t/C_{01} : 0,759$	$\%D_1 : 24,079$
		$A_2 : 0,507$	$Ct_2 : 18,833$	$C_t/C_{01} : 0,753$	$\%D_2 : 24,668$
		$A_3 : 0,509$	$Ct_3 : 18,906$	$C_t/C_{01} : 0,756$	$\%D_3 : 24,373$
		$\bar{x} : 0,509$	$\bar{x} : 18,906$	$\bar{x} : 0,756$	$\bar{x} : 24,373$
6.	8	$A_1 : 0,604$	$Ct_1 : 22,403$	$C_t/C_{01} : 0,896$	$\%D_1 : 10,387$
		$A_2 : 0,595$	$Ct_2 : 22,072$	$C_t/C_{01} : 0,882$	$\%D_2 : 11,712$
		$A_3 : 0,585$	$Ct_3 : 22,703$	$C_t/C_{01} : 0,868$	$\%D_3 : 13,185$
		$\bar{x} : 0,594$	$\bar{x} : 22,059$	$\bar{x} : 0,882$	$\bar{x} : 11,761$



Gambar 5.6 Grafik hubungan pH terhadap larutan dye remazol red menggunakan Fe/TNT dengan nilai C_t/C_0

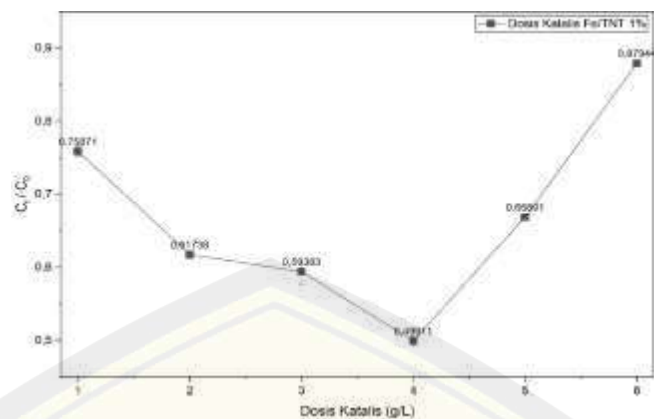


Gambar 5.7 Grafik hubungan pH terhadap larutan dye remazol red menggunakan Fe/TNT dengan nilai % Removal

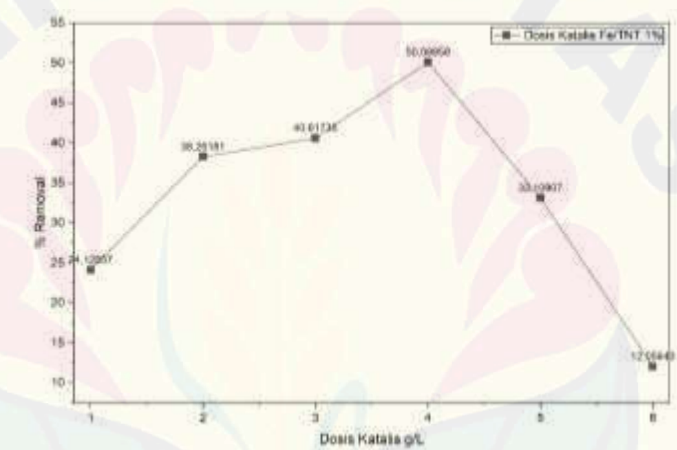
5.6 Hasil Dosis Katalis Terhadap Fotokatalisis

Tabel 5.8 Analisis Dosis Katalis Terhadap Fotokatalisis

No	Dosis	Absorbansi	Ct (mg/L)	Ct/C0	% Degradasi
	Katalis				
1.	25 mg	A ₁ : 0,511	Ct ₁ : 18,980	C _t /C ₀₁ : 0,759	%D ₁ : 24,0794
		A ₂ : 0,515	Ct ₂ : 19,127	C _t /C ₀₁ : 0,756	%D ₂ : 23,490
		A ₃ : 0,506	Ct ₃ : 18,796	C _t /C ₀₁ : 0,751	%D ₃ : 24,815
		$\bar{x}$: 0,510	$\bar{x}$: 18,967	$\bar{x}$: 0,758	$\bar{x}$: 24,128
2.	50 mg	A ₁ : 0,411	Ct ₁ : 15,299	C _t /C ₀₁ : 0,611	%D ₁ : 38,801
		A ₂ : 0,415	Ct ₂ : 15,446	C _t /C ₀₁ : 0,617	%D ₂ : 38,212
		A ₃ : 0,418	Ct ₃ : 15,557	C _t /C ₀₁ : 0,622	%D ₃ : 37,771
		$\bar{x}$: 0,414	$\bar{x}$: 15,434	$\bar{x}$: 0,617	$\bar{x}$: 38,261
3.	75 mg	A ₁ : 0,402	Ct ₁ : 14,968	C _t /C ₀₁ : 0,598	%D ₁ : 40,126
		A ₂ : 0,386	Ct ₂ : 14,379	C _t /C ₀₁ : 0,575	%D ₂ : 42,482
		A ₃ : 0,408	Ct ₃ : 15,189	C _t /C ₀₁ : 0,607	%D ₃ : 39,234
		$\bar{x}$: 0,398	$\bar{x}$: 14,845	$\bar{x}$: 0,593	$\bar{x}$: 40,617
4.	100 mg	A ₁ : 0,331	Ct ₁ : 12,355	C _t /C ₀₁ : 0,494	%D ₁ : 50,579
		A ₂ : 0,340	Ct ₂ : 12,686	C _t /C ₀₁ : 0,507	%D ₂ : 49,254
		A ₃ : 0,332	Ct ₃ : 12,391	C _t /C ₀₁ : 0,495	%D ₃ : 50,432
		$\bar{x}$: 0,334	$\bar{x}$: 12,477	$\bar{x}$: 0,499	$\bar{x}$: 50,088
5.	125 mg	A ₁ : 0,450	Ct ₁ : 16,735	C _t /C ₀₁ : 0,669	%D ₁ : 33,059
		A ₂ : 0,446	Ct ₂ : 16,587	C _t /C ₀₁ : 0,663	%D ₂ : 33,648
		A ₃ : 0,453	Ct ₃ : 16,845	C _t /C ₀₁ : 0,673	%D ₃ : 32,618
		$\bar{x}$: 0,449	$\bar{x}$: 16,722	$\bar{x}$: 0,668	$\bar{x}$: 33,109
6.	150 mg	A ₁ : 0,591	Ct ₁ : 21,924	C _t /C ₀₁ : 0,876	%D ₁ : 12,301
		A ₂ : 0,592	Ct ₂ : 21,961	C _t /C ₀₁ : 0,878	%D ₂ : 12,154
		A ₃ : 0,595	Ct ₃ : 22,071	C _t /C ₀₁ : 0,882	%D ₃ : 11,712
		$\bar{x}$: 0,592	$\bar{x}$: 21,985	$\bar{x}$: 0,879	$\bar{x}$: 12,056



Gambar 5.8 Grafik hubungan dosis katalis terhadap larutan dye remazol red menggunakan Fe/TNT dengan nilai C_t/C_0



Gambar 5.9 Grafik hubungan dosis katalis terhadap larutan dye remazol red menggunakan Fe/TNT dengan nilai persen *removal*

5.7 Hasil Uji Reusabilitas Katlis Fe/TNT 1%

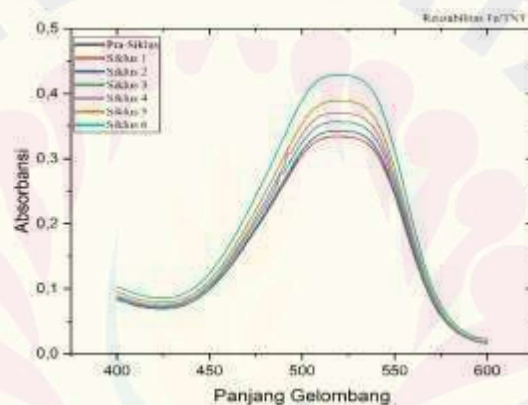
Tabel 5.9 Data Analisis Uji Reusabilitas Terhadap Panjang Gelombang dan Rata - Rata Absorbansi

Panjang Gelombang	Abs S_0	Abs S_1	Abs S_2	Abs S_3	Abs S_4	Abs S_5	Abs S_6
600,0	0,017	0,019	0,016	0,017	0,018	0,018	0,022
598,0	0,018	0,019	0,017	0,018	0,019	0,019	0,023
596,0	0,018	0,020	0,018	0,019	0,019	0,020	0,024
594,0	0,020	0,022	0,020	0,021	0,021	0,022	0,025
592,0	0,022	0,023	0,021	0,022	0,023	0,024	0,027
590,0	0,023	0,025	0,023	0,024	0,025	0,026	0,030

588,0	0,026	0,027	0,026	0,027	0,028	0,029	0,033
586,0	0,029	0,030	0,029	0,030	0,031	0,032	0,037
584,0	0,032	0,034	0,033	0,034	0,035	0,037	0,041
582,0	0,037	0,038	0,037	0,039	0,040	0,042	0,047
580,0	0,042	0,043	0,042	0,044	0,046	0,048	0,053
578,0	0,048	0,049	0,049	0,051	0,052	0,055	0,061
576,0	0,055	0,056	0,056	0,058	0,060	0,063	0,070
574,0	0,063	0,064	0,064	0,067	0,069	0,072	0,080
572,0	0,072	0,074	0,074	0,077	0,079	0,083	0,092
570,0	0,083	0,084	0,084	0,088	0,091	0,095	0,105
568,0	0,095	0,096	0,097	0,101	0,104	0,110	0,120
566,0	0,108	0,110	0,111	0,116	0,120	0,126	0,138
564,0	0,123	0,124	0,126	0,131	0,136	0,143	0,157
562,0	0,139	0,140	0,142	0,148	0,154	0,161	0,177
560,0	0,155	0,156	0,159	0,166	0,172	0,180	0,198
558,0	0,173	0,174	0,177	0,184	0,191	0,201	0,221
556,0	0,191	0,192	0,196	0,204	0,212	0,222	0,244
554,0	0,209	0,210	0,215	0,224	0,232	0,243	0,268
552,0	0,227	0,228	0,233	0,243	0,252	0,264	0,291
550,0	0,244	0,245	0,250	0,261	0,270	0,284	0,312
548,0	0,260	0,260	0,266	0,277	0,288	0,302	0,333
546,0	0,274	0,275	0,281	0,293	0,304	0,319	0,351
544,0	0,287	0,288	0,295	0,307	0,319	0,335	0,368
542,0	0,299	0,299	0,306	0,319	0,331	0,348	0,383
540,0	0,308	0,309	0,316	0,329	0,341	0,359	0,395
538,0	0,316	0,316	0,324	0,337	0,350	0,367	0,405
536,0	0,321	0,322	0,330	0,343	0,356	0,374	0,412
534,0	0,326	0,326	0,334	0,348	0,361	0,379	0,418
532,0	0,329	0,329	0,337	0,351	0,364	0,383	0,422
530,0	0,331	0,331	0,339	0,353	0,367	0,385	0,424
528,0	0,332	0,332	0,341	0,355	0,368	0,387	0,426
526,0	0,333	0,333	0,341	0,356	0,369	0,388	0,427
524,0	0,333	0,334	0,342	0,356	0,370	0,388	0,428
522,0	0,334	0,334	0,342	0,356	0,370	0,389	0,428
520,0	0,334	0,334	0,342	0,357	0,370	0,389	0,428
518,0	0,334	0,334	0,343	0,357	0,370	0,389	0,428
516,0	0,334	0,334	0,342	0,356	0,370	0,389	0,428
514,0	0,333	0,333	0,342	0,356	0,369	0,388	0,427
512,0	0,332	0,331	0,340	0,354	0,368	0,386	0,426
510,0	0,330	0,330	0,338	0,352	0,366	0,384	0,423
508,0	0,327	0,327	0,335	0,349	0,362	0,380	0,419

506,0	0,323	0,323	0,331	0,344	0,358	0,376	0,414
504,0	0,318	0,318	0,326	0,339	0,352	0,370	0,407
502,0	0,312	0,312	0,319	0,332	0,345	0,362	0,399
500,0	0,305	0,306	0,312	0,325	0,337	0,354	0,390
498,0	0,297	0,297	0,304	0,316	0,328	0,345	0,380
496,0	0,288	0,298	0,295	0,307	0,319	0,335	0,369
494,0	0,279	0,279	0,285	0,297	0,308	0,324	0,357
492,0	0,269	0,270	0,275	0,287	0,308	0,313	0,344
490,0	0,260	0,260	0,266	0,277	0,287	0,302	0,332
488,0	0,251	0,251	0,256	0,276	0,277	0,291	0,320
486,0	0,241	0,241	0,246	0,256	0,266	0,279	0,308
484,0	0,231	0,232	0,236	0,246	0,255	0,268	0,295
482,0	0,222	0,222	0,227	0,236	0,245	0,257	0,283
480,0	0,213	0,213	0,217	0,226	0,234	0,247	0,272
478,0	0,204	0,204	0,208	0,217	0,225	0,236	0,260
476,0	0,195	0,196	0,199	0,207	0,215	0,226	0,249
474,0	0,187	0,187	0,190	0,198	0,205	0,216	0,237
472,0	0,178	0,178	0,181	0,189	0,196	0,206	0,226
470,0	0,170	0,170	0,173	0,180	0,186	0,196	0,215
468,0	0,161	0,162	0,164	0,171	0,177	0,186	0,205
466,0	0,153	0,154	0,156	0,162	0,168	0,177	0,194
464,0	0,145	0,145	0,147	0,154	0,159	0,167	0,183
462,0	0,137	0,138	0,139	0,145	0,150	0,158	0,173
460,0	0,130	0,130	0,131	0,137	0,142	0,149	0,164
458,0	0,123	0,123	0,124	0,129	0,134	0,141	0,154
456,0	0,116	0,116	0,117	0,122	0,126	0,133	0,146
454,0	0,110	0,110	0,111	0,115	0,119	0,126	0,138
452,0	0,104	0,104	0,105	0,109	0,113	0,119	0,130
450,0	0,099	0,099	0,099	0,104	0,107	0,113	0,123
448,0	0,094	0,094	0,094	0,099	0,102	0,107	0,117
446,0	0,090	0,090	0,090	0,094	0,097	0,102	0,111
444,0	0,086	0,086	0,086	0,090	0,092	0,097	0,106
442,0	0,082	0,082	0,082	0,086	0,088	0,093	0,102
440,0	0,079	0,079	0,079	0,083	0,085	0,090	0,098
438,0	0,077	0,077	0,077	0,080	0,083	0,087	0,095
436,0	0,075	0,075	0,074	0,078	0,080	0,085	0,092
434,0	0,073	0,073	0,073	0,076	0,078	0,083	0,090
432,0	0,072	0,072	0,071	0,075	0,077	0,081	0,088
430,0	0,071	0,071	0,071	0,074	0,076	0,080	0,087
428,0	0,070	0,070	0,070	0,073	0,075	0,079	0,086
426,0	0,070	0,070	0,069	0,072	0,074	0,079	0,086

424,0	0,070	0,070	0,069	0,072	0,074	0,079	0,086
422,0	0,070	0,070	0,069	0,072	0,074	0,079	0,086
420,0	0,070	0,070	0,070	0,072	0,075	0,079	0,086
418,0	0,071	0,071	0,070	0,073	0,075	0,080	0,087
416,0	0,072	0,071	0,071	0,074	0,076	0,081	0,088
414,0	0,073	0,073	0,072	0,075	0,077	0,082	0,089
412,0	0,074	0,074	0,073	0,076	0,079	0,083	0,091
410,0	0,075	0,075	0,074	0,078	0,080	0,085	0,092
408,0	0,077	0,077	0,076	0,079	0,082	0,087	0,094
406,0	0,078	0,078	0,078	0,081	0,083	0,088	0,096
404,0	0,080	0,080	0,080	0,083	0,086	0,091	0,099
402,0	0,082	0,082	0,081	0,085	0,087	0,093	0,101
400,0	0,084	0,083	0,083	0,087	0,089	0,095	0,102

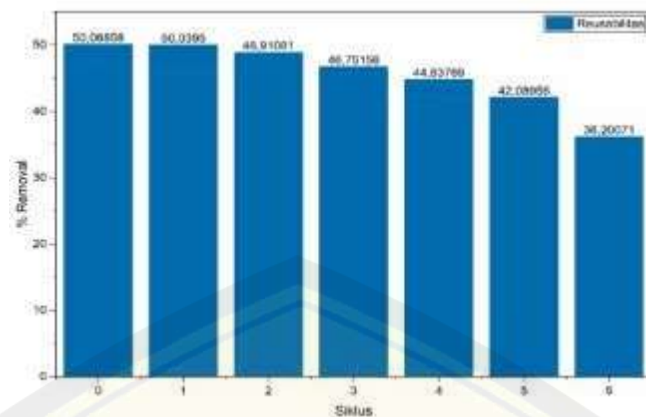


Gambar 5.10 Grafik absorbansi larutan remazol red terhadap panjang gelombang pada setiap siklus reusabilitas katalis Fe/TNT

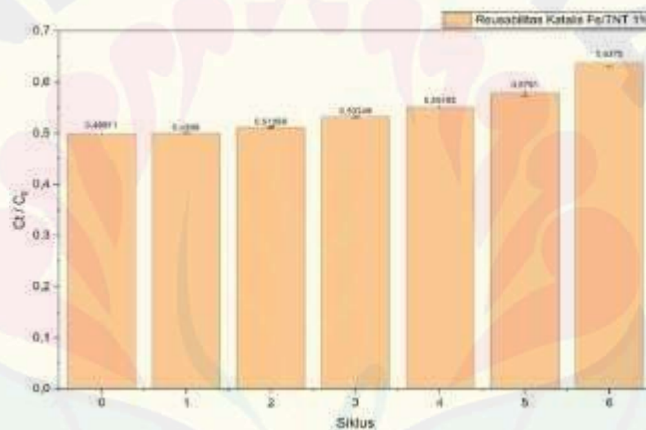
Tabel 5.10 Data Analisis Uji Reusabilitas Terhadap % Degradasi

No	Siklus	Absorbansi	Ct (mg/L)	Ct/C0	% Degradasi
1.	0	A ₁ : 0,331	Ct ₁ : 12,355	C _t /C ₀₁ : 0,494	%D ₁ : 50,579
		A ₂ : 0,340	Ct ₂ : 12,686	C _t /C ₀₁ : 0,507	%D ₂ : 49,254
		A ₃ : 0,332	Ct ₃ : 12,391	C _t /C ₀₁ : 0,495	%D ₃ : 50,432
		$\bar{x}$: 0,334	$\bar{x}$: 12,477	$\bar{x}$: 0,499	$\bar{x}$: 50,088
		A ₁ : 0,333	Ct ₁ : 12,428	C _t /C ₀₁ : 0,497	%D ₁ : 50,284
2.	1	A ₂ : 0,335	Ct ₂ : 12,502	C _t /C ₀₁ : 0,500	%D ₂ : 49,990
		A ₃ : 0,336	Ct ₃ : 12,539	C _t /C ₀₁ : 0,501	%D ₃ : 49,843

		$\bar{x}$: 0,334	$\bar{x}$: 12,490	$\bar{x}$: 0,499	$\bar{x}$: 50,039
		A ₁ : 0,344	Ct ₁ : 12,833	C _t /C ₀₁ : 0,513	%D ₁ : 48,665
		A ₂ : 0,342	Ct ₂ : 12,760	C _t /C ₀₁ : 0,510	%D ₂ : 48,959
3.	2	A ₃ : 0,341	Ct ₃ : 12,723	C _t /C ₀₁ : 0,508	%D ₃ : 49,107
		$\bar{x}$: 0,342	$\bar{x}$: 12,723	$\bar{x}$: 0,510	$\bar{x}$: 48,910
		A ₁ : 0,357	Ct ₁ : 13,312	C _t /C ₀₁ : 0,532	%D ₁ : 46,751
		A ₂ : 0,342	Ct ₂ : 13,348	C _t /C ₀₁ : 0,533	%D ₂ : 46,604
4.	3	A ₃ : 0,341	Ct ₃ : 13,723	C _t /C ₀₁ : 0,531	%D ₃ : 46,898
		$\bar{x}$: 0,342	$\bar{x}$: 13,312	$\bar{x}$: 0,532	$\bar{x}$: 44,837
		A ₁ : 0,370	Ct ₁ : 13,790	C _t /C ₀₁ : 0,578	%D ₁ : 42,188
		A ₂ : 0,368	Ct ₂ : 13,716	C _t /C ₀₁ : 0,573	%D ₂ : 42,629
5.	4	A ₃ : 0,372	Ct ₃ : 13,864	C _t /C ₀₁ : 0,585	%D ₃ : 41,452
		$\bar{x}$: 0,370	$\bar{x}$: 13,790	$\bar{x}$: 0,579	$\bar{x}$:
		A ₁ : 0,388	Ct ₁ : 14,453	C _t /C ₀₁ : 0,578	%D ₁ : 42,188
		A ₂ : 0,385	Ct ₂ : 14,342	C _t /C ₀₁ : 0,573	%D ₂ : 42,629
6.	5	A ₃ : 0,393	Ct ₃ : 14,637	C _t /C ₀₁ : 0,585	%D ₃ : 41,452
		$\bar{x}$: 0,388	$\bar{x}$: 14,478	$\bar{x}$: 0,579	$\bar{x}$: 42,089
		A ₁ : 0,430	Ct ₁ : 15,998	C _t /C ₀₁ : 0,639	%D ₁ : 36,004
		A ₂ : 0,433	Ct ₂ : 16,109	C _t /C ₀₁ : 0,644	%D ₂ : 35, 562
7.	6	A ₃ : 0,423	Ct ₃ : 15,741	C _t /C ₀₁ : 0,629	%D ₃ : 37,035
		$\bar{x}$: 0,428	$\bar{x}$: 15,949	$\bar{x}$: 0,637	$\bar{x}$: 36,200



Gambar 5.11 Grafik hubungan reusabilitas katalis terhadap larutan dye remazol red menggunakan Fe/TNT dengan nilai % removal



Gambar 5.12 Grafik hubungan reusabilitas katalis terhadap larutan dye remazol red menggunakan Fe/TNT dengan nilai Ct/C₀

Tabel 5.11 Dosis Akhir Katalis Fe/TNT pada Setiap Siklus Reusabilitas

Siklus	Dosis Akhir Fe/TNT	% Removal	% Removal
			Massa
0	0,1 gram	50,08	500,80
1	0,0985 gram	50,03	507,72
2	0,0971 gram	48,91	503,61
3	0,0954 gram	46,75	489,68
4	0,0932 gram	44,83	480,68

5	0,0907 gram	42,08	463,75
6	0,0879 gram	36,20	411,56



DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

Tabel 5.12 Perbandingan Jenis Fotokatalis dan Kinerja Degradasi Zat Warna Berdasarkan Berbagai Penelitian

No	Jenis Dye	Jenis fotokatalis	Metode Sintesis	Jenis Lampu	pH	Dosis	Lama Penyinaran	% Removal	Reuse	Referensi
1.	Direct Red 80 (1.373,07 g/mol)	TiO ₂ micropowder	-	UV (315 – 400 nm)	2-12 optimum pH3	0,5-3 g/L Optimum 1 g/L	-	-	-	Abbas (2020)
2.	Remazol Red (968,18 g/mol)	TiO ₂ anatase Tersuport Agl	-	lampu Xenon 100 Watt (200 -800 nm)	-	-	0-100 menit Optimum 90 menit	32%	-	Astuti <i>et al.</i> (2021)
4.	Remazol Black (991,82 g/mol)	<i>Cocatalyst</i> (Co-TiO ₂)	Sol gel	4 lampu UV 20 W (100 – 400 nm) dan 4 lampu	2-10 optimum pH 2	0,6 g/L	0-150 menit optimum 120 menit	40%	4 siklus	Dwiyana <i>et al.</i> (2021)

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

				visible (TL-D 20W) (400- 800 nm)						
5.	Remazol Red B (984,20 g/mol)	TiO ₂ nanopartikel	Sol-gel satu tahap	UV (315 – 400 nm)	2-12 (optimu m pH 5)	0,1 – 0,6 g/L Optimum (0,4 g/L)	0 – 80 menit optimum 45 menit	90%	3 siklus	El- Dossoki <i>et</i> <i>al.</i> (2021)
6.	Remazol Red RB 133 (982,4 g/mol)	Nano- hematite (α - Fe ₂ O ₃), terbaik Fe- W-3w	Presipitasi dan dispersi- presipitasi	-	3-11 optimum pH 3)	50 mg	0-200 menit optimum 180 menit	100%	4 siklus	Ibrahim <i>et</i> <i>al.</i> (2020)
7.	Remazol Red Brown (833,6 g/mol)	TiO ₂ nanokristalin	<i>Simple</i> <i>aqueous</i> <i>peroxo</i> <i>route</i>	UV (Philips 16 watt) (315 – 400 nm)	3,7,11 optimum pH 3	0,3-0,5 g optimum 0,5 g	0-120 menit optimum di 45 menit	96%	-	Santhi <i>et</i> <i>al.</i> (2015)

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

8.	Congo Red (CR) (696,68 g/mol)	Fe/TNTs	Sol gel Hidroterm al	Visible light (fluorescen t lamp 32 W (400- 750 nm)	-	-	0-180 menit Optimum 60 menit	70%	5 siklus	Zafar dan Kim (2020)
9.	Remzol Red	Fe TiO ₂ nanotube	Hidroterm al	Hannosch 100 watt	2,3,4,5,8 optimum pH 3	1,2,3,4,5, 6 g/L optimum di 4 g/L	0-180 menit optimum di 90 menit	50,08%	5 siklus	Peneltian Ini (<i>This Reseach</i>)