



**KINERJA FOTOKATALIS Cu/TiO_2 NANOTUBE (Cu/TNT)
TERHADAP *NAPHTOL BLUE BLACK DYE* DENGAN
PENGARUH VARIASI MASSA DOPAN Cu^{2+}**

SKRIPSI

Oleh
Syalaisha Rahadatul' Aisy
221810301048

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
JURUSAN KIMIA
JEMBER
2026**



**KINERJA FOTOKATALIS Cu/TiO_2 NANOTUBE (Cu/TNT)
TERHADAP *NAPHTOL BLUE BLACK DYE* DENGAN
PENGARUH VARIASI MASSA DOPAN Cu^{2+}**

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

SKRIPSI

Oleh

**Syalaisha Rahadatul' Aisy
221810301048**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
JURUSAN KIMIA
JEMBER
2026**

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT., skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Allah SWT atas segala rahmat, nikmat dan karunia-Nya yang telah memberikan kemudahan, kesehatan, kekuatan serta kelancaran selama proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini. Junjunganku Nabi Muhammad SAW. atas ajaran, teladan, syafaat dan cinta kasih kepada umatnya;
2. Teristimewa saya persembahkan sepenuhnya kepada dua orang hebat dalam hidup saya, Papa saya Bapak Budi Mulyono dan Mama saya Ibu Diah Oktavia Hendrawati. Terima kasih atas segala doa yang tidak pernah putus, kasih sayang yang tidak pernah berkurang, serta pengorbanan yang tidak akan pernah mampu saya balas. Terima kasih telah menjadi rumah terbaik untuk pulang, menjadi penyemangat di setiap langkah, dan menjadi alasan terbesar saya untuk terus berjuang hingga sampai pada titik ini. Terima kasih atas kerja keras, kesabaran, kepercayaan, serta dukungan yang selalu diberikan dalam setiap keadaan. Semoga Allah SWT. senantiasa memberikan kesehatan, kebahagiaan, umur yang panjang, dan keberkahan kepada Papa dan Mama.
3. Adik tercinta, Ramzi Ghani Mahardika, yang selalu memberikan semangat, kepedulian, keceriaan, kekesalan, dan warna dalam setiap perjalanan hidup saya. Terima kasih telah menjadi saudara sekaligus teman yang selalu mendukung saya;
4. Keluarga besar Abdullah dan Djuhari yang senantiasa memberikan doa, dukungan, perhatian, dan kasih sayang selama perjalanan pendidikan saya;
5. Teman penelitian Keris Anorganik *Dye*, Cherlian Triandini Putri dan Andika Dwi Ramadhan, yang telah berjuang bersama, saling membantu, bertukar pikiran, memberikan semangat, dan menemani suka duka selama proses penelitian hingga skripsi ini dapat terselesaikan;

6. Teman-teman angkatan Cation 22 yang telah menjadi keluarga selama masa perkuliahan dan memberikan banyak kenangan, pengalaman, serta kebersamaan yang tidak terlupakan;
7. Sahabat perkuliahan saya, Tohil (Cherlian, Safira, Berlian, Arini, Sinta, Talitha, dan Karin) yang telah menemani perjalanan perkuliahan yang penuh suka duka seperti *roller coaster* dengan penuh kebersamaan, dukungan, tawa canda, dan cerita yang berharga;
8. Sahabat SMA saya, Haldon (Rio, Naya, Nadya, Divka, dan Reva) yang selalu memberikan dukungan, mendengarkan keluh kesah dan menjadi tempat berbagi cerita hingga saat ini;
9. Sahabat tercinta Herman (Aliya, Mira, Seli, Ratu, Mia, Tull, Ijah, Dotuz, Naja, dan Fefe) yang selalu hadir baik saat saya sedih maupun senang. Terima kasih atas semua tawa, cerita, semangat, dan dukungan yang selalu diberikan;
10. Terakhir, kepada saya sendiri. Terima kasih banyak karena telah bertahan, berjuang, dan tidak menyerah hingga mampu menyelesaikan salah satu tahap penting dalam kehidupan ini. Terima kasih juga karena selalu berusaha bangkit, kuat dan sabar dalam setiap kesulitan dan tetap melangkah meskipun sering kali merasa lelah dan menyerah. Saya bangga akhirnya telah melewati dan sampai pada titik ini.

MOTTO

“Cukuplah Allah menjadi Penolong kami dan Allah adalah sebaik-baik Pelindung”

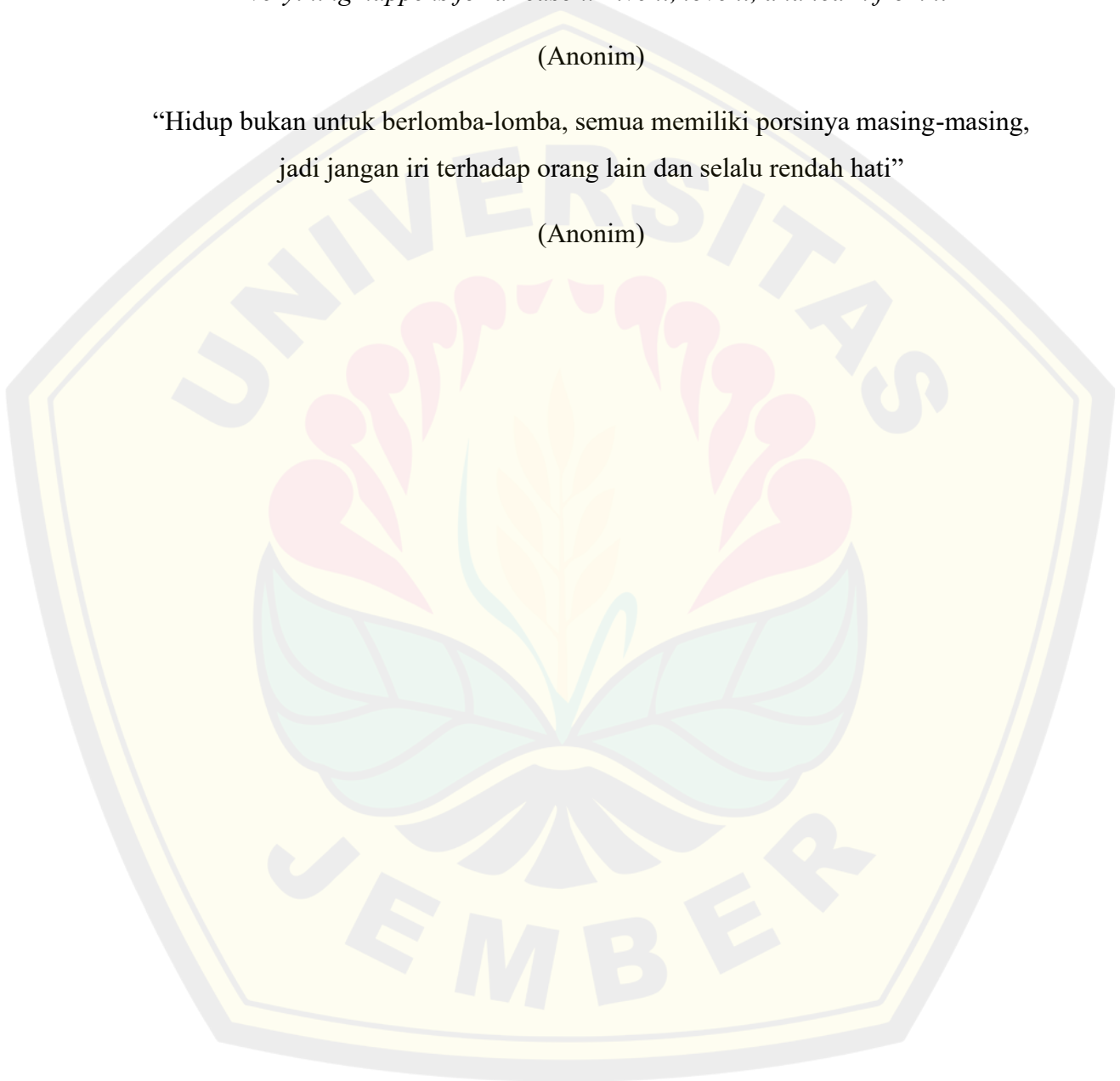
(QS. Ali’Imran 173)

“Everything happens for a reason. Live it, love it, and learn from it”

(Anonim)

“Hidup bukan untuk berlomba-lomba, semua memiliki porsinya masing-masing,
jadi jangan iri terhadap orang lain dan selalu rendah hati”

(Anonim)



PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Syalaisha Rahadatul' Aisy

NIM : 221810301048

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya yang berjudul “Kinerja Fotokatalis Cu/TiO₂ *Nanotube* (Cu/TNT) Terhadap *Naphthol Blue Black Dye* Dengan Pengaruh Variasi Massa Dopan Cu²⁺” adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan 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 di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 8 Juli 2026
Yang menyatakan,

Syalaisha Rahadatul' Aisy
NIM 221810301048

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul “Kinerja Fotokatalis Cu/TiO₂ *Nanotube* (Cu/TNT) Terhadap *Naphthol Blue Black Dye* Dengan Pengaruh Variasi Massa Dopan Cu²⁺” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada :

Hari, Tanggal : Rabu, 8 Juli 2026

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Tim Penguji
Ketua,

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

Anggota I,

Anggota II,

Prof. Dr. Anak Agung Istri
Ratnadewi, S.Si, M.Si
NIP. 197012251997022001

Novita Andarini, S.Si, M.Si
NIP. 197211122000032001

ABSTRACT

Titanium dioxide (TiO_2) is a semiconductor material that has found widespread use as a photocatalyst, a material that can be used to accelerate reactions involving light. In particular, TiO_2 is used to degrade organic pollutants, which are chemicals that have been used in large quantities and have become a significant environmental concern. However, its photocatalytic activity is constrained by a substantial bandgap and expeditious electron-hole recombination. The modification of TiO_2 into a nanotube structure (TNT) and subsequent doping with copper (Cu) has been demonstrated to enhance visible light absorption and photocatalytic efficiency. Naphthol Blue Black (NBB) is an azo dye that is frequently utilized in the textile and batik industries. It is regarded as an environmental contaminant due to its persistence and resistance to natural degradation. The objective of this study is to examine the impact of varying Cu dopant mass fractions on the photocatalytic performance of Cu/ TiO_2 nanotubes (Cu/TNT) in NBB degradation processes. Additionally, the study seeks to ascertain the optimal pH, catalyst dosage, and catalyst reusability for maximized efficiency. The Cu dopant mass utilized in this study ranged from 0% to 3%, with increments of 0.1%. The precursors employed were TiO_2 micropowder and $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Cu/TNT was synthesized using the hydrothermal method at 130°C for 24 hours and applied for the photocatalytic degradation of a 25 ppm NBB solution under visible light irradiation. Photocatalytic performance was evaluated through a series of analytical tests, including adsorption tests, irradiation time tests, pH variation tests, catalyst dosage tests, and reusability tests. These evaluations were conducted using UV-Vis spectrophotometry, a method of optical analysis that quantifies the absorption and emission of light by a sample. The results demonstrated that an augmentation in the mass of the Cu dopant enhanced both adsorption and photocatalytic activity. Cu/TNT 3% demonstrated the optimal performance, exhibiting an adsorption value of C_t/C_0 of 0.4935 and a removal efficiency of 50.91% after 60 minutes of irradiation. The optimal degradation conditions were obtained at a pH of 3 and a catalyst dose of 5 g/L, yielding removal efficiencies of 53.34% and 59.15%, respectively. Reusability tests demonstrated that the 3% Cu/TNT catalyst exhibited excellent stability for up to five cycles and attained a removal efficiency of 49.34% in the sixth cycle. These findings suggest that Cu/TNT is a promising visible-light photocatalyst for the treatment of wastewater containing dyes.

Keywords : *Photocatalysis, Cu/TNT, pH, Dosage, Reusabilitas*

RINGKASAN

KINERJA FOTOKATALIS Cu/TiO₂ NANOTUBE (Cu/TNT) TERHADAP NAPHTHOL BLUE BLACK DYE DENGAN PENGARUH VARIASI MASSA DOPAN Cu²⁺; Syalaisha Rahadatul Aisy, 221810301048; 2026; 38 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Naphthol Blue Black (NBB) merupakan zat warna azo yang banyak digunakan dalam industri tekstil dan batik serta berpotensi mencemari lingkungan karena sulit terdegradasi secara alami. Fotokatalisis menggunakan TiO₂ menjadi salah satu metode yang efektif untuk mengatasi pencemaran zat warna, namun TiO₂ murni memiliki keterbatasan akibat tingginya energi band gap dan tingginya laju rekombinasi pasangan elektron–hole. Modifikasi TiO₂ menjadi *nanotube* (TNT) dan penambahan dopan Cu dapat meningkatkan luas permukaan, memperluas penyerapan cahaya ke wilayah tampak, serta meningkatkan efisiensi pemisahan muatan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh variasi persen massa dopan Cu terhadap aktivitas fotokatalitik TiO₂ *nanotube* (Cu/TNT) dalam mendegradasi NBB serta mengetahui pengaruh pH, dosis katalis, dan stabilitas katalis melalui uji reusabilitas.

Penelitian dilakukan melalui sintesis Cu/TNT menggunakan metode hidrotermal satu tahap dengan variasi persen massa Cu sebesar 0; 0,1; 0,5; 1; dan 3% menggunakan CuCl₂·2H₂O sebagai sumber ion Cu²⁺. Material yang diperoleh digunakan sebagai fotokatalis untuk degradasi NBB 25 ppm menggunakan lampu LED Hannochs 100 W. Pengujian dilakukan melalui optimasi waktu adsorpsi tanpa cahaya, waktu penyinaran fotokatalisis, variasi pH larutan (2, 3, 4, 5, dan 8), variasi dosis katalis (1–6 g/L), serta uji reusabilitas hingga lima siklus penggunaan ulang. Konsentrasi NBB sebelum dan sesudah perlakuan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan persen massa Cu meningkatkan kemampuan adsorpsi dan aktivitas fotokatalitik material. Cu/TNT 3% memberikan kinerja terbaik dengan nilai Ct/C₀ adsorpsi terendah sebesar

0,4935 dan persentase *removal* tertinggi sebesar 50,91% pada waktu penyinaran optimum 60 menit. Kondisi optimum fotodegradasi diperoleh pada pH 3 dengan persentase *removal* sebesar 53,34% dan dosis katalis 5 g/L dengan persentase *removal* sebesar 59,15%. Aktivitas yang lebih tinggi pada kondisi tersebut berkaitan dengan meningkatnya interaksi elektrostatik antara permukaan katalis dan molekul NBB serta bertambahnya jumlah situs aktif yang tersedia untuk proses adsorpsi dan fotodegradasi. Penambahan Cu juga berperan sebagai penangkap elektron yang mampu menghambat rekombinasi pasangan elektron–*hole* dan meningkatkan pemanfaatan cahaya tampak.

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa variasi persen massa dopan Cu berpengaruh terhadap aktivitas fotokatalitik TiO₂ *nanotube* dalam degradasi *Naphthol Blue Black*. Fotokatalis Cu/TNT 3% menunjukkan aktivitas terbaik dengan kondisi operasi optimum pada pH 3 dan dosis katalis 5 g/L. Uji reusabilitas menunjukkan bahwa Cu/TNT 3% masih memiliki stabilitas yang baik hingga lima siklus penggunaan ulang dengan persentase *removal* berturut-turut sebesar 58,67%; 58,31%; 56,22%; 54,43%; dan 53,02%, sedangkan pada siklus keenam masih mencapai 49,34%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Cu/TNT berpotensi digunakan sebagai fotokatalis yang efektif dan dapat digunakan kembali dalam pengolahan limbah zat warna sintetis.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Kinerja Fotokatalis Cu/TiO₂ Nanotube (Cu/TNT) Terhadap *Naphthol Blue Black* Dengan Pengaruh Variasi Massa Dopan Cu²⁺”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

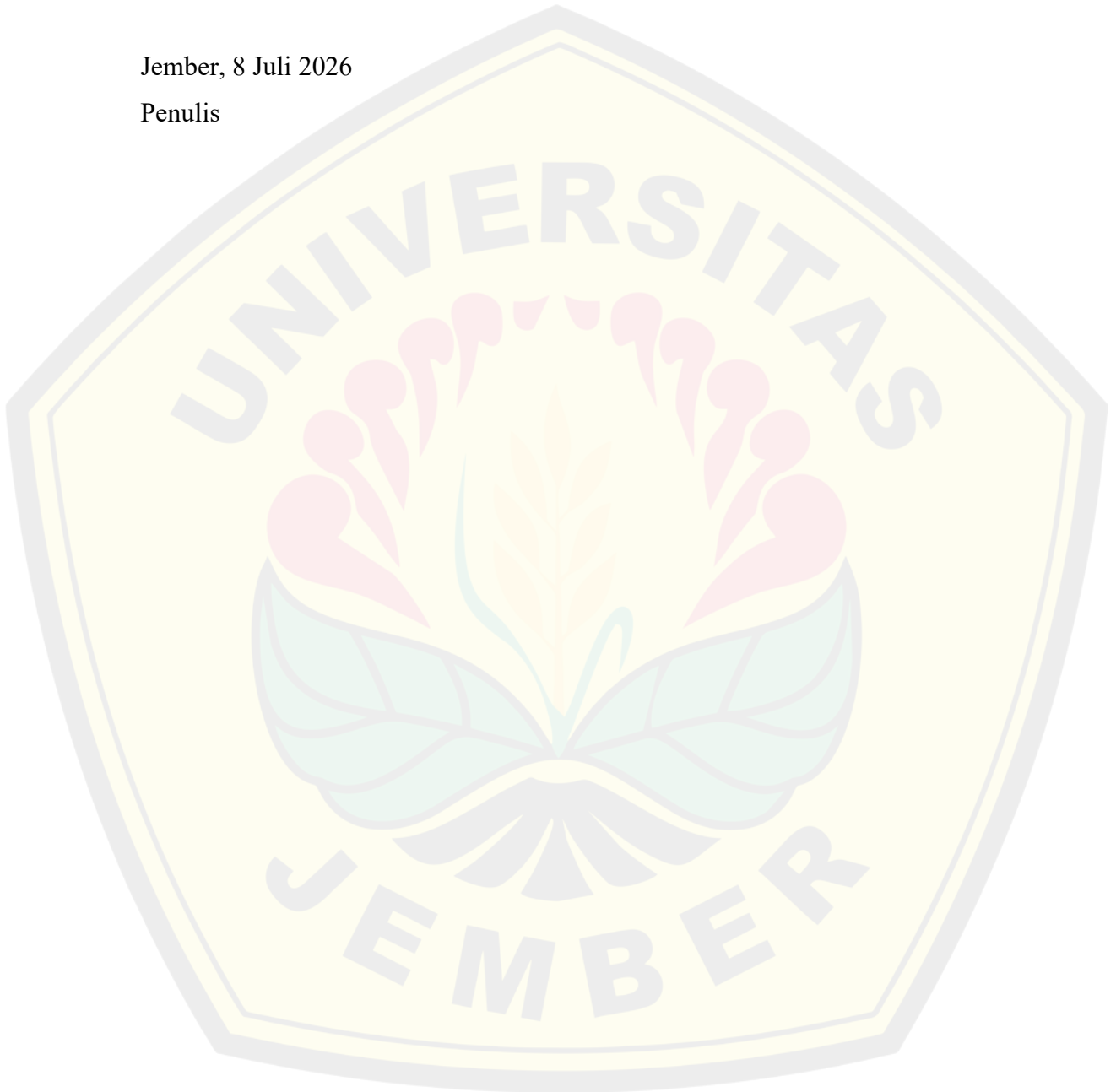
Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember;
2. Prof. 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 rela meluangkan waktu, pikiran dan membimbing dengan sabar dalam penyusunan skripsi ini;
4. Prof. Anak Agung Istri Ratnadewi, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji utama dan Novita Andarini, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji anggota yang telah meluangkan waktu serta memberikan kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan skripsi ini;
5. Seluruh Bapak dan Ibu dosen Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan pengalaman berharga selama masa perkuliahan;
6. Seluruh teknisi laboratorium Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember yang telah membantu dalam proses penelitian di dalam laboratorium;
7. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu.

Penulis meminta maaf atas kekeliruan yang mungkin terdapat dalam penulisan skripsi ini, hal ini tak lepas dari sifat manusia yang sering melakukan kesalahan. Penulis menerima segala bentuk kritik dan saran dari semua pihak untuk menyempurnakan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Jember, 8 Juli 2026

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO	v
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	vi
HALAMAN PERSETUJUAN.....	vii
ABSTRACT	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI	xviii
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Penelitian	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pewarna Batik	5
2.2 <i>Naphthol Blue Black</i>	5
2.3 Fotokatalis Cu/TNT	7
2.4 Variasi Aktivitas Fotokatalis	9
2.5 Spektrofotometer UV-Vis.....	12
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 TNT dan Cu/TNT	13
3.3.2	Uji Aktivitas Fotokatalis TNT dan Cu/TNT	14
3.3.3	Uji Reusabilitas Katalis.....	16
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN		17
4.1	Pengaruh Variasi Persen Massa $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ terhadap Fotokatalisis <i>Naphthol Blue Black</i>	17
4.2	Pengaruh pH, Dosis, dan Uji <i>Reusabilitas</i> terhadap Kinerja Fotokatalis TNT dan Cu/TNT.....	22
4.2.1	Pengaruh pH.....	22
4.2.2	Pengaruh Dosis.....	26
4.2.3	Uji Reusabilitas	29
BAB 5. PENUTUP.....		33
5.1	Kesimpulan	33
5.2	Saran.....	34
DAFTAR PUSTAKA.....		35
LAMPIRAN.....		38

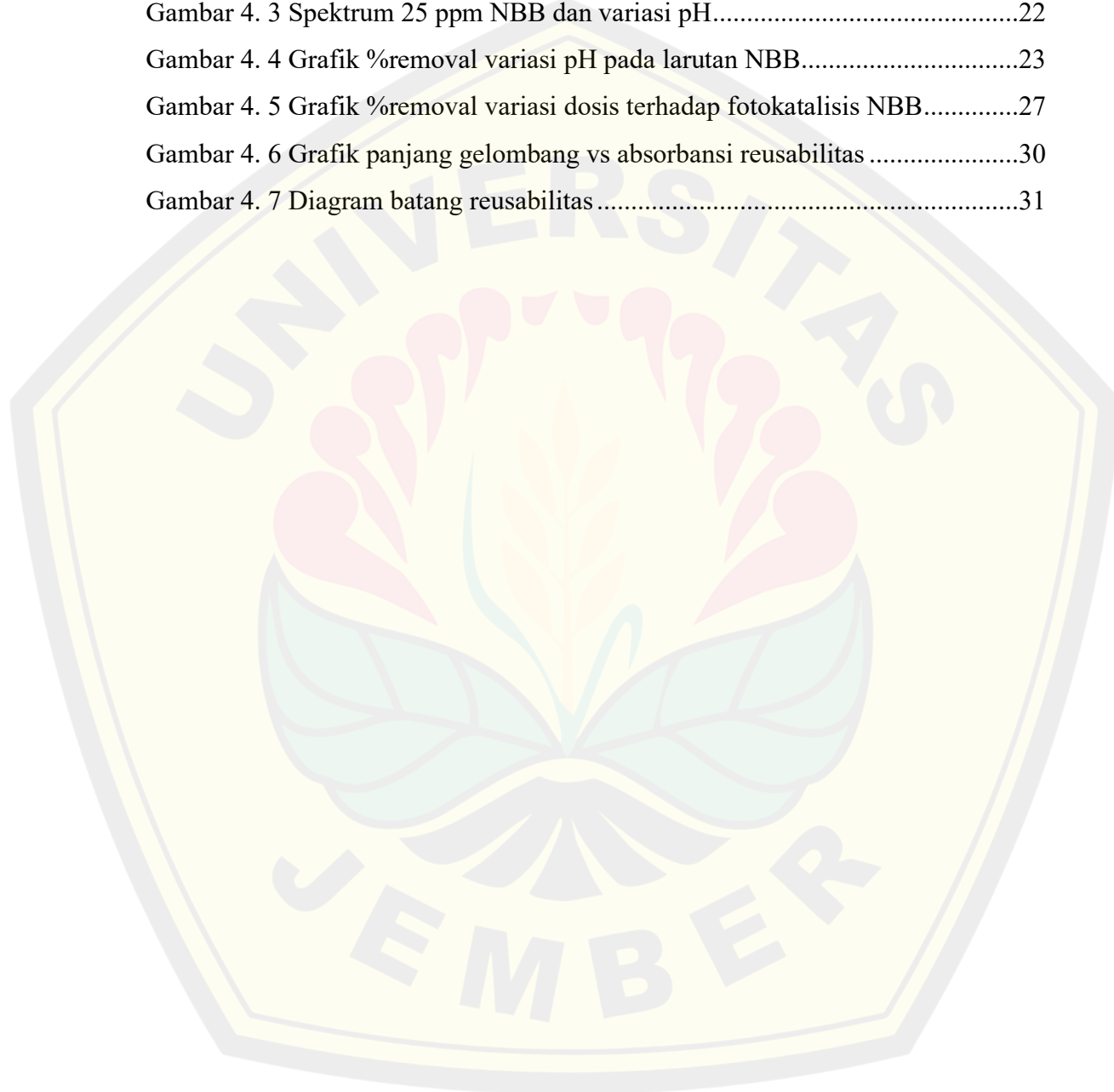
DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data *%removal* variasi %massa20



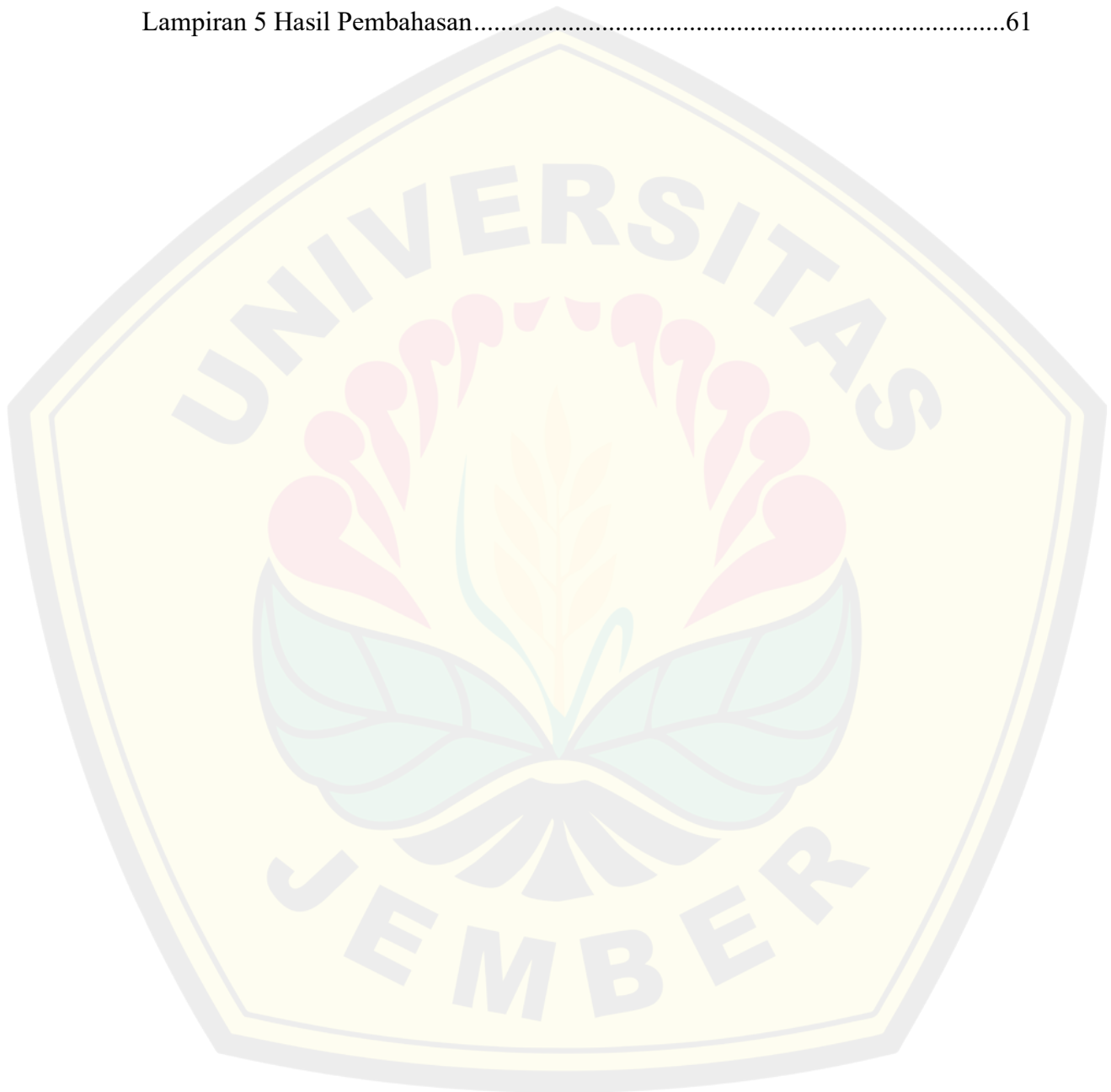
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Kimia <i>Naphthol Blue Black</i>	7
Gambar 4. 1 Grafik adsorpsi tanpa cahaya TNT dan Cu/TNT.....	18
Gambar 4. 2 Grafik %removal variasi %massa terhadap fotokatalisis NBB.....	20
Gambar 4. 3 Spektrum 25 ppm NBB dan variasi pH.....	22
Gambar 4. 4 Grafik %removal variasi pH pada larutan NBB.....	23
Gambar 4. 5 Grafik %removal variasi dosis terhadap fotokatalisis NBB.....	27
Gambar 4. 6 Grafik panjang gelombang vs absorbansi reusabilitas	30
Gambar 4. 7 Diagram batang reusabilitas	31



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 2 Hasil Karakterisasi dan Pustaka	38
Lampiran 3 Prosedur	45
Lampiran 4 Perhitungan	49
Lampiran 5 Hasil Pembahasan	61



DAFTAR NOTASI

A	: Absorbansi
c	: <i>Intercept</i>
m	: <i>Slope</i>
C_0	: Konsentrasi awal NBB (ppm)
C_t	: Konsentrasi sisa NBB pada waktu t (ppm)
A_0	: Absorbansi awal pada λ maksimum
A_t	: Absorbansi pada waktu t
λ	: Panjang Gelombang (nm)
$O_2^{\bullet-}$	: Superoksida
$\bullet OH$	: Hidroksil
ppm	: <i>Part per Milion</i>

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

Singkatan/Istilah	Arti dan Keterangan
TiO ₂	Titanium Dioksida
TNT	TiO ₂ Nanotube
NBB	Naphthol Blue Black
AOP	Advanced Oxidation Processes
UV-Vis	Ultraviolet-Visible
pH	Potential of Hydrogen
LED	Light Emitting Diode
XRD	X-Ray Diffraction
SEM-EDX	Scanning Electron Microscope- Energi Dispersive X-Ray
TEM	Transmission Electron Microscopy
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
BET	Brunauer, Emmet and Teller
UV-Vis DRS	Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri batik di Indonesia memiliki nilai budaya dan kontribusi ekonomi yang tinggi melalui peran UMKM serta penyerapan tenaga kerja yang luas (Qomariyah *et al.*, 2024; Utami *et al.*, 2023). Proses pewarnaan menggunakan zat warna sintetis seperti naphtol, indigosol, remasol, procion, dan indigo yang tergolong dalam pewarna kationik, anionik, dan non-ionik (Subagyo & Soelistyowati, 2021). Sifat kimia zat warna yang kompleks membuatnya persisten dan sulit terdegradasi, sehingga berpotensi mencemari perairan dan mengganggu ekosistem akuatik (Khan *et al.*, 2024).

Naphthol Blue Black (NBB) merupakan zat warna sintetis golongan azo dye yang banyak digunakan dalam analisis laboratorium dan industri (Bouasla *et al.*, 2014). Senyawa ini memiliki gugus azo ($-N=N-$) yang stabil sehingga bersifat persisten, sulit terdegradasi, serta berpotensi menghasilkan senyawa toksik dan karsinogenik (Ferkous *et al.*, 2015; Moumeni *et al.*, 2020). Keberadaan NBB dalam limbah cair dapat menurunkan kualitas perairan karena bersifat persisten, menghambat penetrasi cahaya, serta mengganggu keseimbangan ekosistem akuatik (Krishnakumar & Swaminathan, 2013; Utami *et al.*, 2023). NBB dapat didegradasi menggunakan fotokatalis TiO_2 melalui penyinaran cahaya tampak. TiO_2 yang tereksitasi oleh cahaya menghasilkan spesies reaktif yang dapat menyerang ikatan azo pada molekul NBB, sehingga menyebabkan warna zat pewarna memudar (Nasr *et al.*, 1996).

Metode konvensional seperti adsorpsi, koagulasi-flokulasi, filtrasi membran, dan proses biologis dapat menurunkan polutan limbah batik, namun zat warna sintetis sering kali tidak terdegradasi sempurna dan menghasilkan lumpur sekunder (Reza *et al.*, 2017). *Advanced Oxidation Processes* (AOP) merupakan salah satu alternatif pengolahan yang menghasilkan spesies reaktif seperti radikal hidroksil ($\bullet OH$) dan superoksida ($O_2^{\bullet -}$) untuk menguraikan senyawa organik menjadi produk yang lebih sederhana. Fotokatalisis merupakan salah satu metode AOP yang memanfaatkan semikonduktor seperti TiO_2 teraktivasi oleh cahaya untuk

mendegradasi zat warna hingga termineralisasi tanpa menghasilkan limbah sekunder (Khan *et al.*, 2024; Reza *et al.*, 2017).

Titanium dioksida (TiO_2) merupakan semikonduktor yang paling populer untuk fotokatalisis karena bersifat nontoksik, stabil, murah, dan memiliki aktivitas fotokatalitik yang tinggi. TiO_2 murni hanya aktif di bawah sinar UV karena *band gap* lebar ($\sim 3,2$ eV), sehingga hanya aktif di bawah penyinaran UV yang jumlahnya relatif kecil dalam spektrum matahari (Jiang *et al.*, 2021; Nhu & Hien, 2020). Modifikasi morfologi menjadi *nanotube* (TNT) dapat meningkatkan luas permukaan aktif, memperbaiki pemisahan muatan, dan meningkatkan efisiensi fotokatalisis (Sassi *et al.*, 2024). Doping Cu^{2+} meningkatkan respons cahaya tampak dan menekan rekombinasi elektron–hole melalui penangkapan elektron oleh ion Cu^{2+} , sehingga efisiensi fotokatalitik meningkat (Ganesh *et al.*, 2014; Jiang *et al.*, 2021).

Penelitian Adisa (2025) berhasil mensintesis Cu/TNT melalui metode hidrotermal dengan TiO_2 mikropowder dan $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sebagai dopan Cu^{2+} dengan variasi massa 0; 0,1; 0,5; 1 dan 3% dan optimum pada 3%. Nhu & Hien (2020) mensintesis Cu/ TiO_2 nanopartikel dengan variasi 1; 2; dan 3% dan optimum pada 3% pada *Rhodamine B* (Nhu & Hien, 2020). Ganesh *et al.* (2014) mensintesis Cu-doped TiO_2 dengan variasi 0,1; 0,5; 1; 5; dan 10% dan optimum pada 0,1% pada metilen biru (Ganesh *et al.*, 2014). Variasi 3% menghasilkan fotodegradasi tertinggi terhadap diazinon sebesar 71,70% dalam 210 menit. Doping Cu^{2+} mempengaruhi struktur kristal, morfologi, dan sifat optik TNT. Hasil difraktogram menunjukkan fasa anatase stabil pada setiap variasi Cu/TNT. Hasil *Scanning Electron Microscope* (SEM) menunjukkan morfologi serabut panjang menyerupai *nanotube*. Hasil *Transmission Electron Microscopy* (TEM) pada Cu/TNT 1% menunjukkan nanotube berbentuk tabung memanjang yang lebih jelas dan teratur. Spektrum *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) menunjukkan adanya gugus berupa regangan Cu-O, Ti-O-Ti, Ti-OH, getaran tekuk H-O-H, serta regangan -OH. Luas permukaan spesifik Cu/TNT tertinggi pada Brunauer, Emmett, and Teller (BET) yaitu Cu/TNT 0,5%, sedangkan spektrum *Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS) menunjukkan penurunan energi *band gap*

dari 3,22 eV menjadi 2,72 eV seiring meningkatnya konsentrasi doping Cu^{2+} (Adisa, 2025).

Aktivitas fotokatalisis NBB dipengaruhi oleh lama penyinaran, dosis katalis dan pH. Variasi pH memengaruhi muatan permukaan fotokatalis dan spesies pewarna sehingga memengaruhi adsorpsi serta pembentukan radikal $\bullet\text{OH}$. Dosis katalis menentukan jumlah situs aktif, peningkatan dosis mempercepat degradasi hingga kondisi optimum, sedangkan dosis berlebih menurunkan efisiensi akibat penghamburan cahaya (Reza *et al.*, 2017). Stabilitas katalis dievaluasi melalui uji reusabilitas untuk menunjukkan penurunan kinerja akibat *fouling* permukaan atau hilangnya material aktif. Utami *et al.* (2023) meneliti fotodegradasi NBB menggunakan katalis RGO yang dimodifikasi N-TiO₂ (RGO/NT). Penelitian ini menggunakan waktu adsorpsi tanpa cahaya selama 30 menit dan waktu penyinaran 0-120 menit, optimum 90 menit. Variasi massa katalis yang digunakan 10-60 mg dan optimum 60 mg (Utami *et al.*, 2023). Suhan *et al.* (2025) dengan katalis Ce-Fe-TiO₂ (TFC) dengan lama penyinaran 0-330 menit dengan interval 30 menit dan optimum 260 menit. Variasi pH 3, 7, dan 11 mencapai optimum pada pH 3. Variasi konsentrasi dye 10-50 ppm dan optimum pada 10 ppm (Suhan *et al.*, 2025). Reddy *et al.* (2016) dengan katalis Fe untuk degradasi NBB dengan dosis katalis 0,2; 1; 2; 3; 4; dan 5 g/L dan optimum pada 3 g/L (Reddy *et al.*, 2016). Kumar *et al.* (2024) dengan katalis $\text{CoFe}_{1.1}\text{Al}_{0.9}\text{O}_4$ untuk mendegradasi NBB dengan konsentrasi dye 15-25 ppm dan optimum pada 20 ppm (Kumar *et al.*, 2024). Utami *et al.* (2023) dan Zafar & Kim *et al.* (2020) melakukan uji reusabilitas sebanyak 5 siklus (Utami *et al.*, 2023; Zafar & Kim, 2020).

Penelitian ini bertujuan mengetahui kinerja fotokatalis Cu/TiO₂ *nanotube* (Cu/TNT) dengan variasi massa dopan Cu^{2+} . Fotokatalis disintesis menggunakan metode hidrotermal dan diuji aktivitasnya untuk mendegradasi NBB sebagai salah satu pewarna sintetis utama pada limbah batik. Sintesis Cu/TNT mengikuti metode yang dikembangkan oleh Ganesh *et al.*, (2014) dan Nhu & Hien, (2020) dengan variasi massa Cu (0; 0,1%; 0,5; 1; 3%). Tahap adsorpsi tanpa cahaya dilakukan dengan interval 10 menit hingga 50 menit (Kumar *et al.*, 2024), dilanjutkan uji aktivitas fotokatalis dengan interval 30 menit hingga 180 menit (Suhan *et al.*, 2025;

Utami *et al.*, 2023), variasi pH larutan (2, 3, 4, 5, dan 8) (Suhan *et al.*, 2025), serta variasi massa katalis (1, 2, 3, 4, 5, dan 6 g/L) (Reddy *et al.*, 2016; Utami *et al.*, 2023). Uji reusabilitas katalis juga dilakukan untuk mengetahui stabilitas aktivitas fotokatalitik (Utami *et al.*, 2023; Zafar & Kim, 2020).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian kali ini yaitu sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh persen massa dopan Cu^{2+} terhadap aktivitas fotokatalis TiO_2 *nanotube* (Cu/TNT) dalam mendegradasi NBB?
2. Bagaimana pengaruh pH dan dosis katalis terhadap kinerja fotokatalis Cu/TNT dalam mendegradasi NBB beserta uji reusabilitas?
3. Bagaimana kemampuan reusabilitas fotokatalis Cu/TNT dalam mendegradasi NBB setelah digunakan secara berulang?

1.3 Batasan Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini adalah penggunaan zat warna NBB sebagai model dan fotokatalis Cu/TNT pada proses degradasi melalui kombinasi adsorpsi dan fotokatalisis. Penelitian difokuskan pada pengaruh pH, dosis katalis, dan pengujian reusabilitas katalis terhadap aktivitas fotokatalitik.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian kali ini yaitu sebagai berikut :

1. Mempelajari pengaruh persen massa dopan Cu^{2+} terhadap aktivitas fotokatalis TiO_2 *nanotube* (Cu/TNT) dalam mendegradasi NBB.
2. Mempelajari pengaruh pH dan dosis katalis terhadap kinerja fotokatalis Cu/TNT dalam mendegradasi NBB beserta uji reusabilitas.
3. Mengevaluasi kemampuan reusabilitas fotokatalis Cu/TNT dalam mendegradasi NBB melalui beberapa siklus penggunaan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan fotokatalis untuk degradasi pewarna sintetis. Informasi mengenai aktivitas fotokatalis Cu/TNT terhadap NBB diharapkan menjadi dasar bagi pengembangan teknologi pengolahan limbah tekstil yang lebih efektif dan ramah lingkungan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pewarna Batik

Industri batik merupakan sektor ekonomi kreatif penting di Indonesia yang melestarikan budaya dan menyumbang devisa. Proses pewarnaannya menghasilkan limbah cair mengandung zat warna, logam berat, lilin, resin, surfaktan, dan senyawa organik yang toksik dan sulit terurai (Qomariyah *et al.*, 2024). Limbah tersebut berpotensi mencemari perairan, mengganggu ekosistem akuatik, serta menimbulkan dampak kesehatan bagi manusia akibat paparan zat warna sintetis.

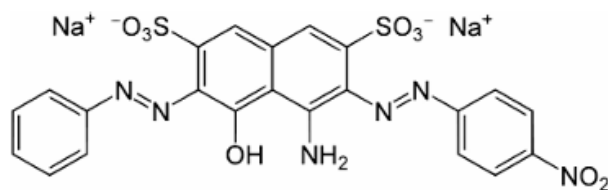
Pewarna batik dibedakan menjadi dua jenis, yaitu alami dan sintetis. Pewarna alami berasal dari bahan hayati seperti tanaman dan hewan penghasil pigmen. Jenis pewarna ini ramah lingkungan, aman, dan bernilai ekonomi, tetapi memiliki variasi serta ketahanan warna yang terbatas (Jabar *et al.*, 2024). Pewarna sintetis sejak abad ke-19 lebih banyak digunakan karena warnanya lebih beragam, cerah, dan tahan luntur, seperti indigosol, naphtol, remazol, rapid, procion, basis, dan indanthrene (Subagyo & Soelistyowati, 2021). Penggunaan pewarna sintetis menghasilkan limbah yang mengandung logam berat berbahaya (Zn, Cu, Pb, Cr, Cd, As) yang mencemari lingkungan dan berisiko bagi kesehatan pekerja (Qomariyah *et al.*, 2024). Penelitian terkini berfokus pada teknologi pengolahan limbah seperti adsorpsi, fotokatalisis, dan filtrasi membran guna meminimalkan dampak pencemaran pewarna sintetis (Saefumillah *et al.*, 2025).

2.2 Naphthol Blue Black

Naphthol Blue Black (NBB) merupakan zat warna sintetis yang termasuk dalam golongan azo dye dan banyak digunakan dalam industri tekstil, percetakan, kosmetik, makanan, serta farmasi, serta dimanfaatkan dalam bidang laboratorium sebagai pewarna biologis untuk mendeteksi protein dan jejak darah (Bouasla *et al.*, 2014). NBB dikenal sebagai *Acid Black 1* dengan rumus molekul $C_{22}H_{14}N_6Na_2O_9S_2$ dan berat molekul sekitar 616,49 g/mol (Ferkous *et al.*, 2015; Moumeni *et al.*, 2020). NBB berbentuk serbuk berwarna biru tua hingga hitam, larut dalam air membentuk larutan berwarna biru, serta memiliki panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) sekitar 618 nm yang berasal dari keberadaan gugus kromofor azo dalam

strukturnya (Kumar *et al.*, 2024; Reddy *et al.*, 2016). NBB secara kimia mengandung dua gugus sulfonat ($-\text{SO}_3^-$) yang menyebabkan senyawa ini bersifat anionik dan mudah terdispersi dalam media air. Keberadaan cincin aromatik naftalena dan gugus azo ($-\text{N}=\text{N}-$) memberikan kestabilan kimia yang tinggi terhadap cahaya, suhu, dan proses biodegradasi alami. Senyawa ini bersifat anionik dan mengandung gugus azo ($-\text{N}=\text{N}-$) yang sulit terdegradasi serta berpotensi menghasilkan senyawa antara yang bersifat mutagenik dan karsinogenik (Moumeni *et al.*, 2020). NBB memiliki stabilitas tinggi terhadap cahaya dan suhu sehingga digunakan untuk pewarnaan wol, nilon, sutra, serta pencetakan kain, serta diaplikasikan pada pewarna sabun, aluminium anodisasi, kayu, dan tinta (Ferkous *et al.*, 2015; Kumar *et al.*, 2024).

Azo dye merupakan kelompok zat warna sintetis yang dominan secara global dengan lebih dari 50% komposisi mengandung gugus azo, dan sekitar 15% terbuang ke lingkungan selama proses pewarnaan (Krishnakumar & Swaminathan, 2013). NBB dalam limbah cair menyebabkan pencemaran karena sifatnya yang sulit terdegradasi, berwarna pekat, serta menghambat penetrasi cahaya dan menurunkan kadar oksigen terlarut dalam air. Senyawa ini bersifat toksik dan karsinogenik yang berdampak buruk terhadap lingkungan perairan dan kesehatan manusia (Suhan *et al.*, 2025; Utami *et al.*, 2023). Metode pengolahan konvensional seperti proses fisika dan biologi menunjukkan efektivitas yang rendah dalam menghilangkan zat warna sintetis, sehingga diperlukan metode alternatif seperti fotokatalisis atau sonokimia yang lebih efisien. Penggunaan NBB pada industri batik cukup luas karena menghasilkan warna cerah dan mudah diaplikasikan, namun limbah yang dihasilkan perlu diolah agar memenuhi baku mutu lingkungan yang ditetapkan (Utami *et al.*, 2023). Struktur kimia pewarna *Naphthol Blue Black* yaitu sebagai berikut :



Gambar 2. 1 Struktur Kimia *Naphthol Blue Black*
(Hassan *et al.*, 2024)

2.3 Fotokatalis Cu/TNT

Titanium dioksida (TiO_2) merupakan semikonduktor yang banyak digunakan sebagai fotokatalis karena memiliki stabilitas kimia dan fotokimia yang tinggi, tidak beracun, relatif murah, serta tahan terhadap fotokorosi (Jiang *et al.*, 2021; Nhu & Hien, 2020). Mekanisme fotokatalisis TiO_2 secara skematis disajikan pada Lampiran 2. Mekanisme ini berlangsung ketika energi cahaya yang diserap sama atau lebih besar daripada energi *band gap*-nya sehingga elektron pada pita valensi tereksitasi menuju pita konduksi dan menghasilkan pasangan elektron-hole. Pasangan muatan tersebut selanjutnya berperan dalam pembentukan spesies oksigen reaktif, seperti radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$) dan radikal superoksida ($\text{O}_2\cdot^-$), yang mampu mengoksidasi serta mendegradasi senyawa organik (Jiang *et al.*, 2021). TiO_2 murni memiliki nilai *band gap* sekitar 3,0–3,2 eV, sehingga hanya dapat diaktivasi oleh radiasi ultraviolet dengan panjang gelombang di bawah 400 nm. Nilai *band gap* yang relatif besar serta rekombinasi elektron-hole yang berlangsung cepat menjadi faktor pembatas efisiensi fotokatalitik TiO_2 (Nhu & Hien, 2020).

Peningkatan aktivitas fotokatalitik TiO_2 dapat dilakukan melalui modifikasi morfologi menjadi struktur *nanotube* (TiO_2 *nanotube*, TNT). Struktur *nanotube* termasuk nanostruktur satu dimensi yang memiliki luas permukaan spesifik tinggi, jumlah situs aktif lebih banyak, kemampuan penyerapan cahaya yang lebih baik, serta jalur transport muatan yang lebih efektif sehingga mendukung pemisahan elektron-hole dan meningkatkan aktivitas fotokatalitik (Sassi *et al.*, 2024). Aktivitas TNT dapat ditingkatkan lebih lanjut melalui doping logam transisi, salah satunya tembaga (Cu). Ion Cu^{2+} berfungsi sebagai penangkap elektron yang mampu menghambat rekombinasi pasangan elektron-hole serta membentuk tingkat energi

baru pada struktur TiO_2 sehingga respons fotokatalis terhadap cahaya tampak menjadi lebih luas (Aljar *et al.*, 2020; Nhu & Hien, 2020). Kesamaan jari-jari ion Cu^{2+} dan Ti^{4+} memungkinkan Cu terintegrasi ke dalam kisi TiO_2 , yang berdampak pada peningkatan transfer muatan dan pembentukan spesies oksigen reaktif selama proses fotokatalisis (Ganesh *et al.*, 2014; Jiang *et al.*, 2021). Kombinasi struktur *nanotube* dan doping Cu menghasilkan material Cu/TNT dengan potensi aktivitas fotokatalitik yang lebih tinggi dibandingkan TiO_2 murni.

Penelitian Adisa (2025) berhasil melakukan sintesis Cu/TNT. Penelitian ini terdiri atas dua tahap, yaitu sintesis Cu/TNT dan uji aktivitas fotodegradasi diazinon. Sintesis Cu/TNT dilakukan menggunakan metode hidrotermal pada suhu 130°C selama 24 jam dengan penambahan dopan $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ pada variasi massa 0%; 0,1%; 0,5%; 1%; dan 3%. Material hasil sintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX), *Transmission Electron Microscopy* (TEM), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *Brunauer, Emmett, and Teller* (BET), serta *Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS) untuk mengetahui struktur kristal, morfologi, luas permukaan, dan sifat optiknya. Variasi 3% menghasilkan fotodegradasi tertinggi terhadap diazinon dengan tingkat degradasi optimal sebesar 71,70% dalam 210 menit. Doping Cu^{2+} mempengaruhi struktur kristal, morfologi, dan sifat optik TNT. Hasil difraktogram menunjukkan semua variasi Cu/TNT berfasa anatase yang stabil. SEM pada Cu/TNT memiliki bentuk serabut panjang (fiber) dengan ukuran partikel rata-rata 17,47 nm (TNT), 11,86 nm (Cu/TNT 0,1%), 16,49 nm (Cu/TNT 0,5%), 18,24 nm (Cu/TNT 1%), dan 21,47 nm (Cu/TNT 3%). TEM pada Cu/TNT 1% menunjukkan nanotube berbentuk tabung memanjang yang lebih jelas dan teratur. FTIR menunjukkan adanya gugus berupa regangan Cu-O, Ti-O-Ti, Ti-OH, getaran tekuk H-O-H, serta regangan -OH. BET menunjukkan bahwa TNT dan Cu/TNT memiliki luas permukaan pada rentang 64,727 - 178,878 m^2/g . UV-Vis DRS menunjukkan penurunan *band gap* dari 3,22 eV (TNT) menjadi 3,18 eV (Cu/TNT 0,1%), 2,88 eV (Cu/TNT 0,5%), 2,80 eV (Cu/TNT 1%), dan 2,72 eV (Cu/TNT 3%) (Adisa, 2025).

2.4 Variasi Aktivitas Fotokatalis

Fotokatalisis merupakan metode efektif untuk mendegradasi senyawa pewarna kompleks dalam limbah tekstil, termasuk limbah batik, menjadi senyawa sederhana yang lebih ramah lingkungan. Efisiensi proses dipengaruhi oleh jenis katalis, intensitas cahaya, waktu penyinaran, pH, serta konsentrasi katalis dan pewarna. Penggunaan katalis TiO_2 yang dimodifikasi melalui doping atau komposit dapat meningkatkan pembentukan radikal bebas untuk menyerang ikatan pewarna. Uji daur ulang juga penting untuk memastikan kestabilan dan keberlanjutan penggunaan katalis (Reza *et al.*, 2017). Variasi faktor yang mempengaruhi aktivitas fotokatalis antara lain sebagai berikut :

a. Jenis Katalis

Jenis katalis menentukan efektivitas proses fotokatalisis karena dapat mempengaruhi kemampuan penyerapan cahaya, transfer elektron, dan pembentukan radikal reaktif. Utami *et al.* (2023) katalis berbasis TiO_2 yang dimodifikasi menjadi N- TiO_2 dan komposit RGO/NT untuk degradasi NBB. Doping nitrogen pada TiO_2 menurunkan band gap dan meningkatkan respons terhadap cahaya tampak, sedangkan penambahan *Reduced Graphene Oxide* (RGO) berperan sebagai penghantar elektron yang menghambat rekombinasi elektron-hole. Kombinasi tersebut meningkatkan aktivitas fotokatalitik sehingga RGO/NT menunjukkan efisiensi degradasi lebih tinggi dibandingkan TiO_2 tanpa modifikasi (Utami *et al.*, 2023).

b. Lama Penyinaran

Durasi penyinaran mempengaruhi jumlah energi untuk eksitasi elektron. Penyinaran lebih lama meningkatkan pembentukan radikal bebas, namun setelah titik tertentu efisiensi tidak bertambah karena cahaya berlebih tidak terserap dan rekombinasi elektron-hole tetap terjadi (Reza *et al.*, 2017). Utami *et al.* (2023) dengan katalis RGO yang dimodifikasi N- TiO_2 (RGO/NT) untuk mendegradasi NBB dengan lama penyinaran 0-120 menit dengan interval 15 menit dan optimum 90 menit. Suhan *et al.* (2025) dengan katalis Ce-Fe- TiO_2 untuk mendegradasi NBB

dengan lama penyinaran 0-330 menit dengan interval 30 menit dan optimum 260 menit (Suhan *et al.*, 2025; Utami *et al.*, 2023).

c. pH Larutan Dye

pH larutan dye mempengaruhi bentuk ion dye dan muatan permukaan katalis. NBB cenderung lebih terprotonasi pada pH asam dan terionisasi negatif pada pH basa (Khan *et al.*, 2024; Reza *et al.*, 2017). Perubahan pH juga mempengaruhi proses adsorpsi-desorpsi serta pemisahan pasangan elektron-hole yang berperan dalam fotodegradasi (Reza *et al.*, 2017). Kondisi asam umumnya meningkatkan interaksi elektrostatik antara permukaan katalis dan molekul pewarna anionik sehingga adsorpsi pewarna pada permukaan katalis menjadi lebih efektif dan proses degradasi berlangsung lebih cepat (Ajmal *et al.*, 2014; Reza *et al.*, 2017). Suhan *et al.* (2025) dengan katalis Ce-Fe-TiO₂ mencapai optimum pH 3 dengan variasi pH 3, 7, dan 11 (Suhan *et al.*, 2025). Kondisi asam memungkinkan interaksi elektrostatik paling efektif antara katalis dan pewarna, sehingga pembentukan radikal hidroksil maksimal dan pemutusan ikatan pewarna lebih cepat.

d. Dosis Katalis

Dosis katalis menentukan efektivitas fotokatalisis karena mempengaruhi jumlah situs aktif. Peningkatan dosis meningkatkan degradasi hingga titik optimum, tetapi dosis berlebih menurunkan efisiensi akibat *scattering* dan penyumbatan cahaya. Utami *et al.* (2023) dengan katalis RGO yang dimodifikasi N-TiO₂ (RGO/NT) untuk degradasi NBB dengan dosis katalis 10-60 mg dan optimum pada 60 mg. Reddy *et al.* (2016) dengan katalis Fe untuk degradasi NBB dengan dosis katalis 0,2; 1; 2; 3; 4; dan 5 g/L dan optimum pada 3 g/L (Reddy *et al.*, 2016; Utami *et al.*, 2023).

e. Konsentrasi Dye

Konsentrasi pewarna mempengaruhi penyerapan cahaya selama fotokatalisis. Konsentrasi rendah menyebabkan degradasi berlangsung cepat karena cahaya mencapai katalis dengan efektif, sedangkan konsentrasi tinggi menurunkan degradasi akibat penyaringan cahaya dan terbatasnya situs aktif (Khan *et al.*, 2024; Reza *et al.*, 2017). Kumar *et al.* (2024) dengan katalis CoFe_{1.1}Al_{0.9}O₄ untuk mendegradasi NBB dengan konsentrasi dye 15-25 ppm dan optimum pada 20 ppm.

Suhan *et al.* (2025) dengan katalis Ce–Fe–TiO₂ untuk mendegradasi NBB dengan konsentrasi dye 10-50 ppm dan optimum pada 10 ppm (Kumar *et al.*, 2024; Suhan *et al.*, 2025).

f. Suhu

Suhu mempengaruhi energi kinetik molekul, laju reaksi, dan efisiensi degradasi zat warna (Khan *et al.*, 2024). Peningkatan suhu mempercepat proses fotokatalitik, namun suhu terlalu tinggi dapat meningkatkan rekombinasi elektron–hole dan menurunkan efisiensi katalis (Reza *et al.*, 2017). Suhu optimal diperlukan agar degradasi NBB berlangsung efektif dan stabil. Bouasla *et al.* (2013) dengan katalis [Fe₂(SO₄)₃] mencapai suhu optimum pada 40°C dengan rentang 10-60°C (Bouasla *et al.*, 2014).

g. Morfologi

Morfologi fotokatalis mempengaruhi efisiensi degradasi pewarna melalui peningkatan luas permukaan, situs aktif, dan penyerapan cahaya (Reza *et al.*, 2017). Struktur nano seperti *nanorod*, *nanofiber*, dan *nanotube* meningkatkan interaksi dengan pewarna serta transfer muatan (Khan *et al.*, 2024). Utami *et al.* (2023) menggunakan RGO yang dimodifikasi N-TiO₂ (RGO/NT) berupa nanopartikel N–TiO₂ yang terdispersi pada permukaan lembaran RGO (*sheet-like structure*) (Utami *et al.*, 2023).

h. Uji Reusabilitas

Uji reusabilitas penting untuk menilai stabilitas fotokatalis dalam aplikasi pengolahan limbah tekstil. Cu/TNT menunjukkan kemampuan digunakan kembali hingga 5 siklus dengan penurunan efisiensi minimal, menandakan struktur dan sifat optiknya relatif stabil. Uji ini penting agar katalis dapat diterapkan secara berkelanjutan pada industri batik (Khan *et al.*, 2024). Utami *et al.* (2023) dengan katalis RGO yang dimodifikasi N-TiO₂ (RGO/NT) untuk degradasi NBB melakukan uji reusabilitas sebanyak 5 siklus. Zafar & Kim (2020) dengan katalis Fe/TNT untuk degradasi NBB melakukan uji reusabilitas sebanyak 5 kali (Utami *et al.*, 2023; Zafar & Kim, 2020).

2.5 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk mengukur penyerapan cahaya oleh sampel pada rentang ultraviolet hingga tampak, berdasarkan hukum Beer-Lambert. Alat ini memungkinkan identifikasi pita serapan dan penentuan konsentrasi zat melalui perubahan absorbansi, yang dimanfaatkan untuk memantau degradasi dan kinetika reaksi fotokatalitik secara real-time (Woo *et al.*, 2023). Pengolahan limbah batik memanfaatkan UV-Vis untuk memantau degradasi pewarna *Naphthol Blue Black* (NBB) dengan panjang gelombang maksimum sekitar 618 nm, sedangkan konsentrasi pada waktu tertentu (C_t) dihitung dari kurva kalibrasi linear $y = mx + c$, sehingga nilai C_t dapat dihitung dengan Persamaan (2.1) (Reddy *et al.*, 2016). Konsentrasi sisa (C_t) dapat didapatkan dengan persamaan :

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

Nilai C_t/C_0 menyatakan konsentrasi relatif zat warna, yaitu perbandingan antara konsentrasi zat warna pada t (C_t) terhadap konsentrasi awal (C_0), yang menggambarkan jumlah zat warna yang masih tersisa dalam larutan selama proses degradasi. Berdasarkan hukum Beer-Lambert, hubungan antara konsentrasi relatif dan absorbansi dinyatakan menggunakan Persamaan (2.2). Hubungan antara konsentrasi relatif dan absorbansi dinyatakan dengan rumus :

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

Efisiensi degradasi fotokatalitik dihitung dari perubahan konsentrasi sebelum dan sesudah proses degradasi menggunakan Persamaan (2.3). Efisiensi degradasi fotokatalitik kemudian dihitung dengan rumus :

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

Keterangan :

- C_0 = Konsentrasi awal NBB (ppm)
- C_t = Konsentrasi sisa NBB pada waktu t (ppm)
- A_0 = Absorbansi awal pada λ maksimum
- A_t = Absorbansi pada waktu t
- $\%Removal$ = Degradasi zat warna (NBB) dari larutan

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Instrumen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember. Kalsinasi dilakukan di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jember. Spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Instrumen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember. Waktu penelitian dilaksanakan bulan Desember 2025 sampai Juni 2026.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu satu set peralatan gelas laboratorium, pipet tetes, pipet mohr 5 mL, pipet volume 20 mL, *ball* pipet, spatula, labu ukur 5 mL, dan labu ukur 250 mL. Botol semprot, pH meter (*Eutech pH 5+*), neraca analitik dan *furnace* (*carbolite CWF 13/13*). Oven (*Memmert*), *oil bath*, *magnetic stirrer*, anak stirer 3 cm, batang pengaduk. Kaca arloji, corong, *hot plate*, termometer 200°C, dan *set alat* reaktor. Lampu visibel (*Hannosch LED 100 watt*), *Teflon-lined Autoclave* 100 mL, satu *set alat* kalsinasi dan satu *set alat* fotoreaktor. Spektrofotometer Uv-Vis (*Thermo Scientific Genesys 10S UV-VIS*).

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu Akuades, TiO₂ micropowder (Merck), NaOH (Merck), HCl (Merck, 37%), CuCl₂·2H₂O (Merck), KH₂PO₄ (Merck), NaH₂PO₄ (Merck), H₃PO₄ (Merck), etanol (Merck), Aluminium foil, *Naphthol Blue Black* (NBB) (Merck), Minyak goreng, Kertas pH serta Kertas Saring Whatman 42 (Cytiva).

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Sintesis TNT dan Cu/TNT

Sintesis ini dilakukan dua tahap yaitu sintesis dan fotokatalis pada diagram alir di lampiran 3. Sintesis TiO₂ *nanotube* (TNT) dilakukan melalui metode hidrotermal satu tahap dengan rasio mol TiO₂ terhadap NaOH sebesar 0,025:1. TiO₂ mikropowder sebanyak 1,69 gram dicampurkan dengan 85 mL larutan NaOH, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada kecepatan 300 rpm selama

30 menit hingga terbentuk campuran homogen berwarna putih susu (suspensi susu). Suspensi ditambahkan $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dengan variasi massa masing-masing 0%; 0,1%; 0,5%; 1%; dan 3% (berat%) (Adisa, 2025), lalu diaduk selama 30 menit pada kecepatan 300 rpm.

Campuran dipindahkan ke *autoclave* berbahan baja tahan karat berlapis teflon 100 mL dengan tingkat keterisian 85%. *Autoclave* ditutup rapat, ditempatkan dalam *oil bath* yang dilapisi *aluminium foil*, dan dipanaskan secara hidrotermal pada 130°C selama 24 jam dengan *hot plate* yang dilengkapi *magnetic stirrer*. Pengadukan dilakukan selama 20 menit setiap awal jam dengan kecepatan 400 rpm, kemudian dihentikan dan dilanjutkan kembali pada jam berikutnya hingga waktu reaksi selesai. *Autoclave* kemudian didinginkan ± 3 jam hingga mencapai suhu ruang, kemudian padatan yang terbentuk dipisahkan melalui dekantasi. Padatan hasil sintesis ditambahkan larutan HCl 1 M hingga pH mencapai 3 sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Padatan kemudian didiamkan hingga terbentuk dua fase, disaring, dan dicuci dengan akuades hingga pH netral. Padatan kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 12 jam, kemudian di kalsinasi pada suhu 400°C selama 2 jam untuk memperoleh serbuk TNT dan Cu/TNT (Haryati *et al.*, 2023).

3.3.2 Uji Aktivitas Fotokatalis TNT dan Cu/TNT

a. Pembuatan Kurva Kalibrasi

Larutan stok 1000 ppm disiapkan dengan 100 mL akuades. Kurva kalibrasi dibuat dengan variasi konsentrasi 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, dan 20 ppm lalu dipindai pada 400–700 nm menggunakan UV–Vis. Absorbansi diplot terhadap konsentrasi untuk memperoleh persamaan linier dan nilai regresi, yang digunakan menghitung konsentrasi sisa *Naphthol Blue Black* (NBB) pada sampel fotokatalisis Cu/TNT. Filtrat dianalisis pada panjang gelombang maksimum untuk menentukan degradasi zat warna (Kumar *et al.*, 2024; Suhan *et al.*, 2025).

b. Adsorpsi Fotokatalis

Adsorpsi (tanpa cahaya) dilakukan terhadap 25 mL larutan NBB 25 ppm dengan penambahan 50 mg setiap variasi persen massa katalis Cu/TNT dan TNT. Larutan dimasukkan ke fotoreaktor dan diaduk dalam kondisi gelap dan dilapisi *aluminium*

foil. Kecepatan pengadukan masing-masing 800 rpm serta variasi waktu kontak mulai dari 10 menit hingga 50 menit tercapai kesetimbangan adsorpsi. Sampel diambil dan katalis dipisahkan dengan proses sentrifugasi pada kecepatan 400 rpm selama 15 menit lalu disaring dengan kertas saring Whatman 42. Filtrat dianalisis menggunakan UV-Vis dengan panjang gelombang 400-700 nm dan hasil absorbansi digunakan untuk menghitung nilai C_t/C_0 pada persamaan 2.2 (Utami *et al.*, 2023).

c. Pengaruh Variasi Persen Massa $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ terhadap Fotokatalisis *Naphthol Blue Black*

Larutan NBB 25 ppm sebanyak 25 mL ditambahkan 50 mg setiap variasi persen massa katalis Cu/TNT dan TNT, kemudian dimasukkan ke dalam fotoreaktor. Campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada kecepatan 800 rpm hingga mencapai waktu adsorpsi optimum poin b, kemudian disinari dengan lampu Hannosch LED 100 W dijaga pada kecepatan yang sama. Penyinaran dilakukan dengan interval 30 menit hingga 180 menit. Sampel disentrifuge, disaring, dan dianalisis spektro UV-Vis seperti poin b (Adisa, 2025; Utami *et al.*, 2023a).

d. Pengaruh Variasi pH Larutan *Naphthol Blue Black* terhadap Aktifitas Fotokatalis

Larutan NBB 25 ppm sebanyak 25 mL disiapkan dalam gelas beaker 50 mL, kemudian pH larutan diatur menjadi 2, 3, 4, 5, dan 8 menggunakan larutan buffer H_3PO_4 , KH_2PO_4 , HCl , NaOH , Na_2HPO_4 sesuai prosedur pada lampiran 3.4. Nilai pH diperiksa dengan pH meter untuk memastikan kestabilannya. Katalis Cu/TNT maksimal poin c kemudian ditambahkan sebanyak 50 mg. Prosedur adsorpsi (tanpa cahaya) optimum pada poin b, fotokatalisis dengan waktu optimum pada poin c, lalu sentrifuge dan disaring serta analisis UV-Vis sama seperti prosedur sebelumnya (Suhan *et al.*, 2025).

e. Pengaruh Variasi Dosis Katalis Cu/TNT terhadap Aktivitas Fotokatalis

Larutan NBB 25 ppm sebanyak 25 mL disiapkan dan pH diatur pada optimum hasil poin d, kemudian ditambahkan katalis Cu/TNT maksimal poin c dengan dosis masing-masing 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 g/L. Prosedur adsorpsi (tanpa cahaya) optimum pada poin b, fotokatalisis dengan waktu optimum pada poin c, lalu sentrifuge dan

disaring serta analisis UV-Vis sama seperti prosedur sebelumnya (Reddy *et al.*, 2016; Utami *et al.*, 2023)

3.3.3 Uji Reusabilitas Katalis

Uji reusabilitas dilakukan untuk menilai kestabilan dan kemampuan fotokatalis Cu/TNT 3% dalam degradasi NBB dengan hasil prosedur b, c, d, dan e optimum. Katalis dipisahkan dari larutan dengan sentrifugasi pada 400 rpm selama 15 menit, lalu disaring, dan filtrat dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400-700 nm. Katalis dicuci setiap siklus dengan 30 mL akuades (2 kali pencucian) dan 20 mL etanol (1 kali pencucian) (Zafar & Kim, 2020), lalu disentrifuge, disaring dan dikeringkan pada 105°C selama 8 jam, disimpan dalam desikator, ditimbang kembali, dan digunakan kembali hingga beberapa siklus untuk mengevaluasi efisiensi degradasi dan kestabilan aktivitasnya (Utami *et al.*, 2023).

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis TNT dan Cu/TNT telah berhasil dilakukan melalui metode hidrotermal satu tahap dengan variasi persen massa Cu sebesar 0; 0,1; 0,5; 1; dan 3%. Material hasil sintesis diperoleh dalam bentuk serbuk dan digunakan pada pengujian aktivitas fotokatalitik terhadap *Naphthol Blue Black* (NBB). Variasi persen massa Cu menghasilkan perubahan warna material dari putih pada TNT menjadi putih kebiruan hingga biru yang semakin intens seiring meningkatnya konsentrasi $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ yang digunakan selama sintesis. Perubahan warna tersebut mengindikasikan adanya spesies Cu yang berhasil terdispersi pada material TNT. Intensitas warna biru yang meningkat pada persen massa Cu yang lebih tinggi berkaitan dengan karakteristik ion Cu^{2+} yang menghasilkan warna biru akibat transisi elektron pada orbital d. Hasil pengamatan ini sejalan dengan Adisa (2025) yang melaporkan bahwa peningkatan konsentrasi Cu menyebabkan warna material semakin intens akibat meningkatnya transisi elektronik d–d.

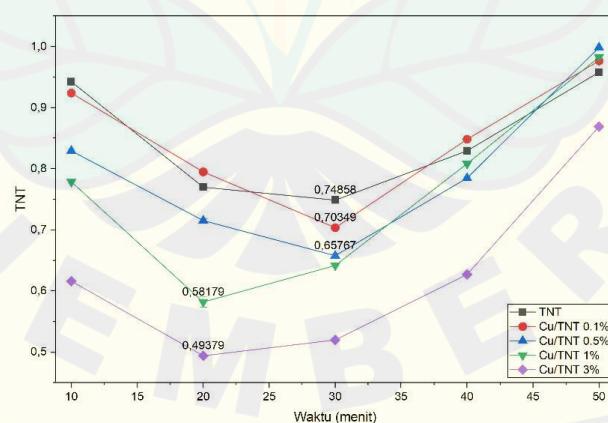
Keberadaan dopan Cu pada material juga didukung oleh hasil karakterisasi SEM pada penelitian Adisa (2025) yang menunjukkan peningkatan aglomerasi pada permukaan *nanotube* seiring bertambahnya persen massa Cu. Aglomerasi tersebut diduga berkaitan dengan keberadaan sebagian spesies Cu dalam bentuk CuO yang terdispersi pada permukaan TNT. Keberadaan CuO tersebut tidak menunjukkan terbentuknya material komposit, tetapi mengindikasikan bahwa sebagian dopan Cu berada sebagai spesies oksida di permukaan, sedangkan sebagian lainnya dapat terintegrasi ke dalam struktur TiO_2 . Kondisi ini berpotensi meningkatkan pemisahan pasangan elektron-hole sehingga mendukung peningkatan aktivitas fotokatalitik material (Adisa, 2025).

4.1 Pengaruh Variasi Persen Massa $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ terhadap Fotokatalisis *Naphthol Blue Black*

Gambar 5.1 pada Lampiran 5.1 menunjukkan spektrum UV–Vis *Naphthol Blue Black* (NBB) dengan panjang gelombang maksimum pada 618 nm. Panjang gelombang tersebut berkaitan dengan transisi elektron pada gugus kromofor azo dalam struktur zat warna. Hasil ini sesuai dengan penelitian Kumar *et al.* (2024)

dan Reddy *et al.* (2016) yang juga melaporkan λ_{maks} *Naphthol Blue Black* pada 618 nm. Kurva kalibrasi menghasilkan persamaan regresi linier $y = 0,055x - 0,0213$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9993. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan hubungan linear yang sangat baik antara konsentrasi dan absorbansi sesuai dengan hukum Beer-Lambert, sehingga kurva kalibrasi valid digunakan untuk analisis kuantitatif konsentrasi NBB (Kumar *et al.*, 2024; Reddy *et al.*, 2016).

Adsorpsi tanpa cahaya dilakukan untuk mengetahui kemampuan TNT dan Cu/TNT dalam menyerap NBB sebelum proses fotokatalisis. Hasil adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 4.1. TNT, Cu/TNT 0,1%, dan Cu/TNT 0,5% mencapai kondisi optimum pada menit ke-30 dengan nilai C_t/C_0 berturut-turut sebesar 0,7485; 0,7034; dan 0,6576. Cu/TNT 1% dan Cu/TNT 3% mencapai kondisi optimum pada menit ke-20 dengan nilai C_t/C_0 masing-masing sebesar 0,5616 dan 0,4937. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan Cu meningkatkan kemampuan adsorpsi NBB sekaligus mempercepat tercapainya kesetimbangan adsorpsi. Waktu optimum adsorpsi yang berada pada rentang 20–30 menit menunjukkan bahwa variasi persen massa Cu tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap lama waktu adsorpsi. Cu/TNT 3% menghasilkan nilai C_t/C_0 terendah dibandingkan variasi lainnya, yang mengindikasikan kemampuan adsorpsi paling baik dan dipilih sebagai katalis optimum untuk tahap fotokatalisis selanjutnya.



Gambar 4. 1 Grafik adsorpsi tanpa cahaya TNT dan Cu/TNT

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa nilai C_t/C_0 cenderung menurun pada awal proses adsorpsi, kemudian meningkat kembali pada waktu tertentu. Penurunan nilai

Ct/Co menunjukkan berkurangnya konsentrasi NBB dalam larutan akibat teradsorpsi pada permukaan katalis. Peningkatan kembali nilai Ct/Co mengindikasikan bahwa sebagian molekul NBB yang telah teradsorpsi mulai terlepas dari permukaan katalis (desorpsi). Fenomena serupa juga dilaporkan oleh Kusiak-Nejman *et al.* (2021) yang mengamati terjadinya desorpsi zat warna sebelum tercapainya kondisi kesetimbangan adsorpsi–desorpsi pada material TiO₂ termodifikasi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa selama proses adsorpsi terjadi interaksi dinamis antara molekul NBB dan permukaan katalis (Kusiak-Nejman *et al.*, 2021).

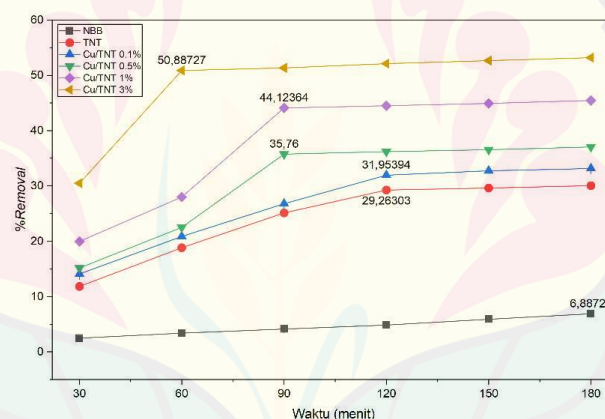
Pengaruh variasi persen massa Cu terhadap aktivitas fotokatalitik Cu/TNT dalam degradasi NBB ditunjukkan oleh perubahan nilai Ct/Co dan persentase *removal* pada berbagai waktu penyinaran. Grafik perubahan nilai Ct/Co selama proses fotokatalisis dan data lengkap hasil pengukuran dapat dilihat pada Lampiran 5.2. Nilai Ct/Co cenderung menurun seiring bertambahnya waktu penyinaran dan semakin rendah pada persen massa Cu yang lebih tinggi. Nilai Ct/Co terendah diperoleh pada Cu/TNT 3%, yang menunjukkan kemampuan penurunan konsentrasi NBB paling baik dibandingkan variasi lainnya.

Persentase *removal* NBB pada berbagai variasi persen massa Cu ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan Tabel 4.1. TNT menghasilkan *removal* optimum sebesar 29,26% pada waktu penyinaran 120 menit. Penambahan Cu meningkatkan *removal* menjadi 31,95% pada Cu/TNT 0,1%, 35,68% pada Cu/TNT 0,5%, dan 44,12% pada Cu/TNT 1%. *Removal* tertinggi diperoleh pada Cu/TNT 3%, yaitu sebesar 50,88% dengan waktu optimum 60 menit. Fotolisis tanpa katalis hanya menghasilkan *removal* sebesar 6,88% setelah 180 menit penyinaran, menunjukkan bahwa degradasi NBB oleh cahaya tanpa bantuan katalis berlangsung sangat terbatas. Nilai *removal* fotolisis yang berada di bawah 10% menunjukkan bahwa kontribusi cahaya terhadap degradasi NBB relatif kecil sehingga dapat diabaikan dalam evaluasi aktivitas fotokatalitik. Hernandez-Gordillo *et al.* (2019) melaporkan bahwa penurunan absorbansi zat warna sebesar sekitar 10–12% masih dapat berasal dari proses fotolisis dan tidak dapat dikaitkan dengan aktivitas fotokatalitik material. Peningkatan *removal* yang diperoleh pada sistem Cu/TNT terutama

disebabkan oleh peran fotokatalis dalam menghasilkan spesies reaktif yang mendorong proses degradasi NBB (Hernández-Gordillo *et al.*, 2019).

Tabel 4. 1 Data %removal variasi %massa

Waktu	%Removal					
Penyinaran	TNT	Cu/TNT	Cu/TNT	Cu/TNT	Cu/TNT	NBB
(menit)		0,1 %	0,5%	1%	3%	Murni
30	11.83273	14.08727	15.17818	19.97818	30.49939	2.487273
60	18.83879	20.87515	22.52364	28.00242	50.88727	3.396364
90	25.14182	26.7903	35.76	44.12364	51.34788	4.123636
120	29.26303	31.95394	36.22061	44.51152	52.12364	4.850909
150	29.62667	32.75394	36.56	44.92364	52.68121	5.905455
180	30.06303	33.16606	37.06909	45.48121	53.21455	6.887273



Gambar 4. 2 Grafik %removal variasi %massa terhadap fotokatalisis NBB

Grafik pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa persentase *removal* NBB meningkat seiring bertambahnya waktu penyinaran pada seluruh variasi katalis. TNT, Cu/TNT 0,1%, dan Cu/TNT 0,5% mengalami peningkatan *removal* secara bertahap hingga mencapai kondisi optimum pada 120 menit, kemudian mengalami peningkatan yang sangat kecil dan cenderung mendekati kondisi plateau pada waktu berikutnya. Cu/TNT 1% menunjukkan peningkatan *removal* yang lebih cepat dan mencapai kondisi optimum pada 90 menit, sedangkan Cu/TNT 3% mengalami peningkatan paling tajam pada 30–60 menit dengan *removal* mencapai 50,88%, kemudian relatif mendekati kondisi stabil hingga akhir penyinaran.

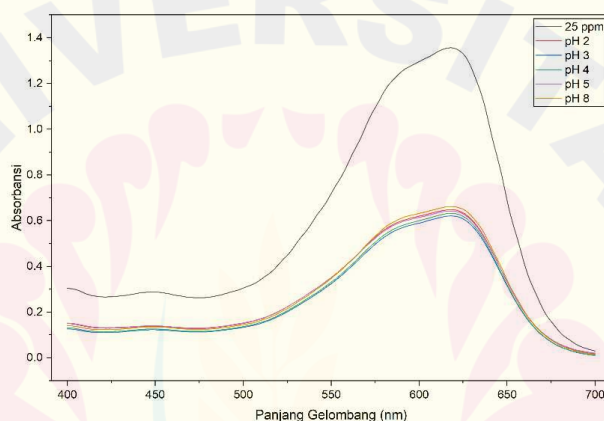
Peningkatan persen massa Cu menyebabkan persentase *removal* meningkat dan waktu optimum menjadi lebih singkat. TNT menghasilkan *removal* terendah, sedangkan Cu/TNT 3% menghasilkan *removal* tertinggi dengan laju degradasi paling cepat. Hasil tersebut sejalan dengan karakterisasi UV-Vis DRS dan EDX yang dilaporkan oleh Adisa (2025). Nilai energi *band gap* menurun dari 3,20 eV pada TNT menjadi 3,18; 2,88; 2,80; dan 2,72 eV pada Cu/TNT 0,1%; 0,5%; 1%; dan 3%, sehingga elektron lebih mudah tereksitasi dan pembentukan pasangan elektron–hole berlangsung lebih efektif. Interaksi orbital 3d Cu²⁺ dengan TiO₂ membentuk tingkat energi baru di dalam celah pita yang meningkatkan penyerapan cahaya tampak dan pembentukan spesies reaktif. Hasil karakterisasi EDX juga menunjukkan peningkatan kandungan Cu seiring bertambahnya persen massa dopan, sehingga Cu berperan sebagai penangkap elektron yang dapat menekan rekombinasi pasangan elektron–hole. Cu/TNT 3% juga memiliki luas permukaan dalam rentang struktur nanotube dan didominasi fasa anatase yang mendukung aktivitas fotokatalitik (Adisa, 2025).

Peningkatan aktivitas tersebut menunjukkan bahwa penambahan Cu mampu memperbaiki efektivitas pemisahan pasangan elektron–hole sehingga pembentukan spesies oksidatif aktif berlangsung lebih baik dibandingkan TNT tanpa modifikasi. Waktu optimum yang semakin singkat pada variasi Cu lebih tinggi menunjukkan bahwa proses degradasi berlangsung lebih cepat seiring meningkatnya efektivitas fotokatalitik katalis. Hasil ini sejalan dengan Utami *et al.* (2023) yang menggunakan katalis RGO/NT dan melaporkan degradasi NBB mencapai 90% pada 15 menit iradiasi, serta Suhan *et al.* (2025) dengan katalis Ce–Fe–TiO₂ (TFC) yang menghasilkan degradasi maksimum 89,13% pada 260 menit. Penelitian ini Cu/TNT 3% mencapai *removal* 50,88% pada rentang 30–60 menit. Laju degradasi cenderung melambat setelah waktu optimum akibat penurunan konsentrasi NBB dalam larutan serta keterbatasan situs aktif akibat tertutupi produk intermediet hasil degradasi (Suhan *et al.*, 2025; Utami *et al.*, 2023).

4.2 Pengaruh pH, Dosis, dan Uji *Reusabilitas* terhadap Kinerja Fotokatalis TNT dan Cu/TNT

4.2.1 Pengaruh pH

Spektrum UV-Vis hasil fotodegradasi NBB pada berbagai variasi pH ditunjukkan pada Gambar 4.3. Seluruh sampel memiliki panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) sekitar 618 nm yang merupakan daerah serapan karakteristik NBB. Intensitas absorbansi pada λ_{maks} menurun setelah proses fotodegradasi, sedangkan posisi λ_{maks} tetap, yang menunjukkan bahwa proses fotodegradasi menurunkan konsentrasi NBB tanpa mengubah struktur kromofor utamanya.

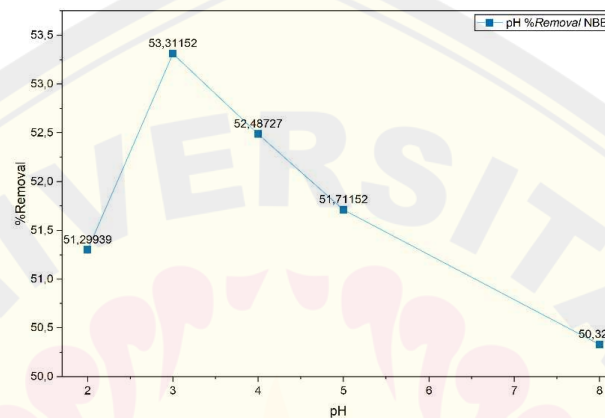


Gambar 4. 3 Spektrum 25 ppm NBB dan variasi pH

Absorbansi terendah diperoleh pada pH 3, sedangkan absorbansi pada pH 2, 4, 5, dan 8 menunjukkan nilai yang relatif lebih tinggi. Nilai absorbansi yang lebih rendah menunjukkan konsentrasi NBB sisa yang semakin kecil setelah proses fotodegradasi berlangsung. Aktivitas fotokatalitik Cu/TNT 3% cenderung lebih efektif pada kondisi asam dengan pH optimum sebesar 3. Bentuk spektrum yang relatif serupa pada seluruh variasi pH memperlihatkan bahwa perbedaan utama antarsampel terletak pada besarnya penurunan konsentrasi NBB, bukan pada perubahan karakteristik serapan zat warna.

Persentase *removal* NBB pada pH 2, 3, 4, 5, dan 8 berturut-turut sebesar 51,29%; 53,31%; 52,48%; 51,71%; dan 50,32% ditunjukkan pada Gambar 4.4. Persentase *removal* tertinggi diperoleh pada pH 3, sedangkan nilai terendah diperoleh pada pH 8. Selisih persentase *removal* antara pH 3 dan pH 8 sebesar 2,99%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa perubahan pH pada rentang 2–8

memberikan pengaruh terhadap efektivitas fotodegradasi NBB, meskipun pengaruhnya tidak terlalu besar. Aktivitas fotokatalitik Cu/TNT 3% tetap mampu dipertahankan pada seluruh variasi pH yang diuji. Kecenderungan peningkatan aktivitas pada suasana asam mengindikasikan bahwa kondisi pH masih berperan dalam mengendalikan proses adsorpsi dan fotodegradasi NBB pada permukaan fotokatalis.



Gambar 4. 4 Grafik %removal variasi pH pada larutan NBB

Optimasi pH dilakukan karena derajat keasaman larutan memengaruhi muatan permukaan fotokatalis sehingga menentukan kemampuan adsorpsi molekul zat warna dan efektivitas proses fotodegradasi. Parameter yang digunakan untuk menjelaskan perubahan muatan permukaan tersebut adalah *point of zero charge* (pH_{PZC}), yaitu nilai pH ketika jumlah muatan positif dan negatif pada permukaan fotokatalis berada dalam keadaan seimbang sehingga muatan bersih permukaan bernilai nol. Ajmal et al. (2014) melaporkan bahwa TiO_2 memiliki nilai pH_{PZC} sebesar 6,8, sedangkan Suhan et al. (2025) memperoleh nilai pH_{PZC} sebesar 6,4 pada fotokatalis Ce–Fe– TiO_2 . Nilai pH yang berada di bawah pH_{PZC} menyebabkan gugus hidroksil permukaan TiO_2 mengalami protonasi membentuk spesies $TiOH_2^+$ sesuai reaksi :



Permukaan fotokatalis menjadi bermuatan positif. Nilai pH yang berada di atas pH_{PZC} menyebabkan gugus hidroksil mengalami deprotonasi membentuk spesies TiO^- sesuai reaksi :



Permukaan katalis berubah menjadi bermuatan negatif. Perubahan muatan permukaan tersebut menentukan kekuatan interaksi elektrostatik antara permukaan fotokatalis dan molekul zat warna selama proses adsorpsi sehingga memengaruhi efisiensi fotodegradasi (Ajmal *et al.*, 2014; Suhan *et al.*, 2025).

Naphthol Blue Black (NBB) merupakan zat warna anionik (*acid dye*) yang mengandung dua gugus asam sulfonat. Gugus asam sulfonat pada senyawa aromatik merupakan asam kuat dengan nilai pKa yang rendah sehingga pada rentang pH penelitian (2–8) gugus tersebut umumnya berada dalam bentuk terdeprotonasi ($-\text{SO}_3^-$) (Dong *et al.*, 2009). Nilai pKa spesifik NBB belum banyak dilaporkan karena molekul ini memiliki beberapa gugus fungsi dengan sifat asam-basa yang berbeda. Gugus sulfonat merupakan gugus yang paling dominan dalam menentukan muatan NBB, sedangkan gugus amino dan hidroksil dapat mengalami protonasi maupun deprotonasi sesuai dengan pH larutan. Keberadaan beberapa gugus fungsi tersebut menyebabkan perilaku spesiasi NBB menjadi lebih kompleks (Ferkous *et al.*, 2015). Karakter anionik NBB yang berasal dari gugus sulfonat menyebabkan mekanisme adsorpsi pada permukaan Cu/TNT terutama dikendalikan oleh hubungan antara pKa gugus sulfonat dan nilai pH_{PZC} fotokatalis.

Nilai pH 2, 3, 4, dan 5 berada di bawah pH_{PZC} TiO_2 sehingga permukaan Cu/TNT didominasi oleh spesies TiOH_2^+ yang bermuatan positif. Gugus sulfonat pada NBB tetap berada dalam bentuk terdeprotonasi ($-\text{SO}_3^-$) sehingga terjadi gaya tarik elektrostatik antara molekul NBB dan permukaan Cu/TNT. Interaksi tersebut meningkatkan adsorpsi molekul NBB pada permukaan katalis dan memperbesar peluang kontak dengan pasangan elektron-*hole*, radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$), serta radikal superoksida ($\text{O}_2^{\bullet-}$). Kondisi tersebut menyebabkan aktivitas fotokatalitik Cu/TNT pada suasana asam lebih tinggi dibandingkan pada suasana basa.

Kondisi pH 2 berada di bawah pH_{PZC} TiO_2 sehingga permukaan Cu/TNT didominasi oleh spesies TiOH_2^+ yang bermuatan positif. Gugus sulfonat pada NBB tetap berada dalam bentuk terdeprotonasi ($-\text{SO}_3^-$) sehingga terjadi gaya tarik elektrostatik antara molekul NBB dan permukaan Cu/TNT. Konsentrasi ion H^+ yang sangat tinggi menyebabkan permukaan fotokatalis mengalami protonasi yang lebih besar sehingga kondisi sistem belum memberikan keseimbangan yang

optimum antara protonasi permukaan dan adsorpsi molekul NBB. Aktivitas fotokatalitik yang dihasilkan masih relatif tinggi, tetapi sedikit lebih rendah dibandingkan kondisi optimum pada pH 3 (Ajmal *et al.*, 2014; Reza *et al.*, 2017).

Kondisi pH 3 masih berada di bawah pH_{PZC} TiO_2 sehingga permukaan Cu/TNT tetap didominasi oleh spesies $TiOH_2^+$ yang bermuatan positif. Konsentrasi ion H^+ lebih rendah dibandingkan pH 2 sehingga memberikan keseimbangan yang lebih baik antara protonasi permukaan Cu/TNT dan adsorpsi molekul NBB. Gaya tarik elektrostatis antara gugus sulfonat NBB dan permukaan Cu/TNT tetap berlangsung secara efektif sehingga peluang kontak molekul NBB dengan pasangan elektron-hole serta spesies oksigen reaktif menjadi lebih besar. Kondisi tersebut menghasilkan aktivitas fotokatalitik yang paling optimum (Ajmal *et al.*, 2014; Reza *et al.*, 2017).

Kondisi pH 4 dan 5 masih berada di bawah pH_{PZC} TiO_2 , tetapi peningkatan pH menyebabkan konsentrasi ion H^+ di dalam larutan semakin berkurang sehingga derajat protonasi permukaan Cu/TNT ikut menurun. Jumlah spesies $TiOH_2^+$ yang bermuatan positif menjadi lebih sedikit, sedangkan jumlah molekul NBB di dalam larutan tetap. Gaya tarik elektrostatis antara permukaan Cu/TNT dan gugus sulfonat NBB menjadi lebih lemah sehingga jumlah molekul NBB yang teradsorpsi pada permukaan katalis ikut berkurang. Penurunan adsorpsi menyebabkan peluang interaksi molekul NBB dengan pasangan elektron-hole serta spesies oksigen reaktif menjadi lebih kecil sehingga efisiensi fotodegradasi sedikit menurun (Ajmal *et al.*, 2014; Reza *et al.*, 2017).

Kondisi pH 8 berada di atas pH_{PZC} TiO_2 sehingga gugus hidroksil permukaan Cu/TNT mengalami deprotonasi membentuk spesies TiO^- yang bermuatan negatif. Gugus sulfonat pada NBB tetap berada dalam bentuk terdeprotonasi ($-SO_3^-$) sehingga terjadi gaya tolak elektrostatis antara molekul NBB dan permukaan fotokatalis. Gaya tolak elektrostatis menghambat adsorpsi NBB sehingga jumlah molekul yang berada di sekitar situs aktif berkurang. Peluang interaksi molekul NBB dengan pasangan elektron-hole, radikal hidroksil ($\bullet OH$), dan radikal superoksida ($O_2^{\bullet -}$) menjadi lebih kecil sehingga aktivitas fotokatalitik Cu/TNT menjadi yang terendah (Ajmal *et al.*, 2014; Reza *et al.*, 2017).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi pH memengaruhi efektivitas fotodegradasi NBB menggunakan Cu/TNT. Kondisi asam memberikan aktivitas fotokatalitik yang lebih baik dibandingkan kondisi basa, dengan pH 3 sebagai kondisi optimum. Hasil penelitian ini sejalan dengan Suhan *et al.* (2025) yang menggunakan katalis Ce-Fe-TiO₂ (TFC) dan melaporkan bahwa pH 3 menghasilkan degradasi NBB tertinggi sekitar 85% dibandingkan pH 7 dan 11. Utami *et al.* (2023) melaporkan pH optimum sebesar 5 dengan efisiensi degradasi 84,19% menggunakan katalis RGO/NT. Perbedaan persentase degradasi dan nilai pH optimum tersebut menunjukkan bahwa efektivitas fotodegradasi dipengaruhi oleh jenis katalis, karakteristik permukaan material, komposisi penyusun fotokatalis, sumber cahaya, serta kondisi operasional yang digunakan. Kecenderungan peningkatan aktivitas fotokatalitik pada kondisi asam yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan pola yang konsisten dengan hasil penelitian terdahulu (Suhan *et al.*, 2025; Utami *et al.*, 2023).

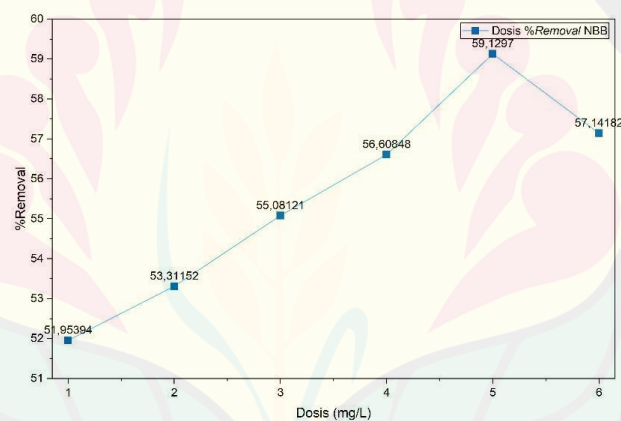
Aktivitas fotokatalitik Cu/TNT pada kondisi pH optimum juga didukung oleh karakteristik material hasil sintesis. Adisa (2025) melaporkan bahwa penambahan Cu menurunkan energi *band gap* TNT dari 3,20 eV menjadi 2,72 eV sehingga meningkatkan kemampuan material menyerap cahaya tampak. Karakterisasi EDX juga mengonfirmasi keberadaan Cu pada material yang berperan sebagai penangkap elektron sehingga rekombinasi pasangan elektron-hole dapat ditekan. Karakteristik tersebut mendukung pembentukan spesies oksigen reaktif yang lebih efektif sehingga berkontribusi terhadap aktivitas fotokatalitik Cu/TNT pada kondisi pH optimum (Adisa, 2025).

4.2.2 Pengaruh Dosis

Persentase *removal* NBB pada berbagai variasi dosis katalis ditunjukkan pada Gambar 4.5. Persentase *removal* pada dosis katalis 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 g/L berturut-turut sebesar 51,95%; 53,31%; 55,08%; 56,60%; 59,12%; dan 57,14%. Persentase *removal* tertinggi diperoleh pada dosis katalis 5 g/L sebesar 59,12%, sedangkan nilai terendah diperoleh pada dosis katalis 1 g/L sebesar 51,95%. Selisih persentase *removal* antara dosis katalis 1 g/L dan 5 g/L sebesar 7,17%, sehingga peningkatan dosis katalis pada rentang yang digunakan memberikan pengaruh

terhadap aktivitas fotokatalitik Cu/TNT 3%, meskipun peningkatannya tidak terlalu besar.

Optimasi dosis katalis diperlukan karena jumlah katalis yang digunakan menentukan banyaknya partikel yang tersedia untuk menyerap cahaya, menyediakan situs aktif, dan menghasilkan spesies oksidatif reaktif selama proses fotokatalisis. Penambahan dosis katalis meningkatkan jumlah partikel dan luas permukaan aktif yang tersedia untuk proses adsorpsi serta reaksi fotokatalitik. Dosis katalis yang terlalu tinggi dapat menurunkan efisiensi fotodegradasi akibat meningkatnya konsentrasi partikel di dalam suspensi. Penentuan dosis optimum diperlukan untuk memperoleh keseimbangan antara jumlah situs aktif yang tersedia dan distribusi cahaya di dalam sistem fotokatalisis (Ajmal *et al.*, 2014; Reddy *et al.*, 2016; Utami *et al.*, 2023).



Gambar 4. 5 Grafik %removal variasi dosis terhadap fotokatalisis NBB

Grafik pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa persentase *removal* meningkat secara bertahap dari dosis katalis 1 hingga 5 g/L. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa jumlah partikel Cu/TNT yang terdispersi di dalam larutan semakin banyak sehingga luas permukaan dan jumlah situs aktif yang tersedia untuk mengadsorpsi molekul NBB ikut meningkat. Semakin banyak partikel Cu/TNT yang teraktivasi oleh cahaya menyebabkan pembentukan pasangan elektron-hole berlangsung lebih efektif. Pasangan elektron-hole menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) dan radikal superoksida ($\text{O}_2\bullet^-$) yang berperan sebagai spesies oksidatif reaktif dalam proses fotodegradasi. Peningkatan jumlah spesies oksidatif reaktif memperbesar peluang degradasi molekul NBB sehingga aktivitas

fotokatalitik meningkat hingga mencapai kondisi optimum pada dosis katalis 5 g/L (Ajmal *et al.*, 2014).

Persentase *removal* menurun menjadi 57,17% pada dosis katalis 6 g/L. Peningkatan dosis di atas kondisi optimum menyebabkan partikel Cu/TNT yang terdispersi di dalam larutan membentuk suspensi koloid yang lebih pekat sehingga jalur perambatan cahaya menjadi terhalang oleh partikel-partikel fotokatalis. Kondisi tersebut menyebabkan hamburan cahaya (*light scattering*), yaitu peristiwa ketika cahaya yang datang dibelokkan ke berbagai arah akibat bertumbukan dengan partikel-partikel Cu/TNT yang tersuspensi. Hamburan cahaya mengurangi intensitas cahaya yang mampu menembus suspensi dan mencapai seluruh permukaan fotokatalis. Sebagian partikel Cu/TNT tidak menerima energi cahaya yang cukup untuk menghasilkan pasangan elektron-hole secara optimal sehingga pembentukan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) dan radikal superoksida ($\text{O}_2\bullet^-$) juga berkurang. Penurunan jumlah spesies oksigen reaktif menyebabkan efisiensi fotodegradasi sedikit menurun pada dosis katalis 6 g/L. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada dosis katalis yang lebih tinggi, pengaruh hamburan cahaya lebih dominan dibandingkan peningkatan jumlah situs aktif sehingga aktivitas fotokatalitik Cu/TNT tidak lagi meningkat (Ajmal *et al.*, 2014; Reddy *et al.*, 2016).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan dosis katalis Cu/TNT meningkatkan efisiensi fotodegradasi NBB hingga mencapai kondisi optimum pada dosis 5 g/L dengan persentase *removal* sebesar 59,12%. Hasil penelitian ini sejalan dengan Utami *et al.* (2023) yang menggunakan katalis RGO/NT dan memperoleh kondisi optimum pada dosis 2,4 g/L, di mana peningkatan dosis katalis meningkatkan efisiensi degradasi akibat bertambahnya jumlah situs aktif yang tersedia. Reddy *et al.* (2016) juga melaporkan dosis optimum sebesar 3 g/L menggunakan fotokatalis berbasis Fe. Efisiensi degradasi meningkat hingga dosis optimum, kemudian menurun pada dosis yang lebih tinggi akibat hamburan cahaya (*light scattering*) yang mengurangi penetrasi cahaya ke dalam sistem fotokatalisis. Perbedaan dosis optimum menunjukkan bahwa aktivitas fotokatalitik dipengaruhi oleh karakteristik material, komposisi fotokatalis, dan kondisi operasional yang digunakan. (Reddy *et al.*, 2016; Utami *et al.*, 2023).

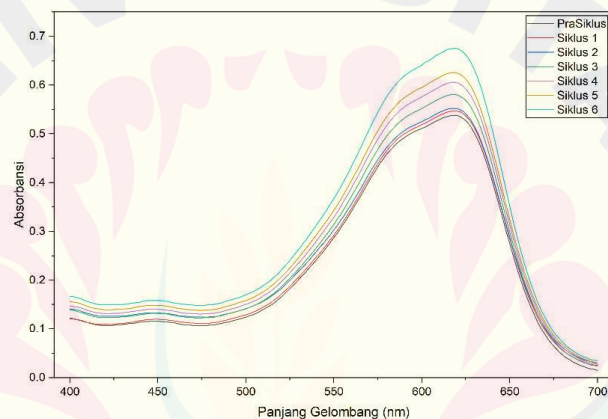
Aktivitas fotokatalitik optimum pada dosis katalis 5 g/L juga didukung oleh karakteristik Cu/TNT 3% yang dilaporkan oleh Adisa (2025). Hasil karakterisasi BET menunjukkan bahwa Cu/TNT 3% memiliki luas permukaan yang tinggi sebesar 139,318 m²/g sehingga menyediakan lebih banyak situs aktif untuk proses adsorpsi dan fotokatalisis. Karakterisasi UV-Vis DRS menunjukkan bahwa Cu/TNT 3% memiliki energi *band gap* sebesar 2,72 eV sehingga lebih mudah menyerap cahaya dan menghasilkan pasangan elektron-*hole*. Karakterisasi EDX juga mengonfirmasi keberadaan Cu pada material yang berperan sebagai penangkap elektron sehingga rekombinasi pasangan elektron-*hole* dapat ditekan. Karakteristik tersebut mendukung aktivitas fotokatalitik Cu/TNT 3% pada dosis katalis optimum 5 g/L (Adisa, 2025).

4.2.3 Uji Reusabilitas

Data pengurangan massa katalis Cu/TNT 3% setelah setiap siklus penggunaan ulang disajikan pada Lampiran 5.6. Massa katalis menurun dari 125 mg menjadi 111 mg setelah enam siklus penggunaan, yang menunjukkan kehilangan massa sebesar 11,2%. Analisis rasio persentase *removal* terhadap massa katalis (%*removal*/massa) menghasilkan nilai berturut-turut sebesar 473,04; 476,28; 480,39; 472,08; 464,14; 464,47; dan 444,25% g⁻¹. Nilai tersebut sedikit meningkat hingga siklus kedua, kemudian menurun pada siklus berikutnya. Tren ini menunjukkan bahwa kehilangan massa pada tahap awal belum berpengaruh signifikan terhadap aktivitas fotokatalitik, sedangkan penurunan efisiensi pada siklus berikutnya diduga berkaitan dengan deposisi produk degradasi, penutupan situs aktif, serta kemungkinan pelepasan sebagian spesies Cu selama proses fotokatalisis. Hasil ini sejalan dengan Moosavi et al. (2020) yang melaporkan bahwa kehilangan material selama proses *recovery* dan penutupan situs aktif oleh produk degradasi menyebabkan efisiensi fotokatalis menurun setelah penggunaan berulang (Moosavi et al., 2020).

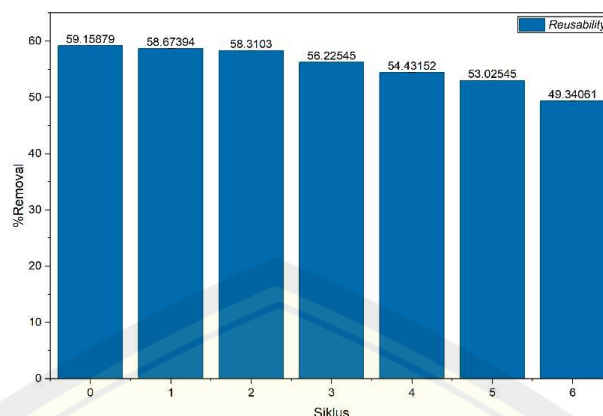
Perubahan spektrum UV-Vis hasil fotodegradasi pada setiap siklus penggunaan ulang ditunjukkan pada Gambar 4.6. Seluruh spektrum memiliki bentuk kurva yang relatif sama dengan puncak serapan utama tetap berada pada sekitar 618 nm tanpa pergeseran panjang gelombang maksimum maupun

munculnya puncak serapan baru. Hasil tersebut menunjukkan bahwa mekanisme fotodegradasi NBB oleh Cu/TNT 3% tetap berlangsung melalui jalur reaksi yang sama selama penggunaan berulang. Intensitas absorbansi yang meningkat pada setiap siklus menunjukkan semakin banyak NBB yang tersisa dalam larutan akibat menurunnya aktivitas fotokatalitik, yang ditunjukkan oleh penurunan persentase *removal* dari 59,12% pada pra-siklus menjadi 49,31% pada siklus ke-6. Hasil ini sejalan dengan Utami et al. (2023), yang melaporkan bahwa fotokatalis TiO₂ termodifikasi tetap mempertahankan pola spektrum UV-Vis tanpa munculnya puncak baru selama penggunaan berulang meskipun efisiensi degradasinya menurun (Utami et al., 2023).



Gambar 4. 6 Grafik panjang gelombang vs absorbansi reusabilitas

Data Ct/Co hasil pengujian reusabilitas menunjukkan bahwa nilai Ct/Co terendah diperoleh pada penggunaan awal (pra-siklus) sebesar 0,4087. Persentase *removal* NBB pada pra-siklus hingga siklus ke-6 yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 berturut-turut sebesar 59,12%; 58,64%; 58,28%; 56,19%; 54,40%; 52,99%; dan 49,31%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa aktivitas fotokatalitik Cu/TNT 3% menurun secara bertahap seiring bertambahnya jumlah siklus penggunaan. Penurunan aktivitas pada siklus 1 dan 2 relatif kecil, sedangkan penurunan yang lebih nyata mulai terjadi pada siklus 3 hingga 6. Persentase *removal* yang masih berada di atas 50% hingga siklus ke-5 menunjukkan bahwa Cu/TNT 3% masih dapat digunakan secara efektif sampai lima siklus penggunaan.



Gambar 4. 7 Diagram batang reusabilitas

Penurunan aktivitas fotokatalitik selama penggunaan berulang diduga disebabkan oleh hilangnya sebagian katalis selama proses pemisahan, pencucian, penyaringan, dan pengeringan. Sebagian situs aktif pada permukaan katalis juga kemungkinan tertutupi oleh produk intermediat hasil degradasi yang tidak seluruhnya terlepas selama proses pencucian sehingga jumlah situs aktif yang tersedia pada penggunaan berikutnya berkurang. Hasil ini sejalan dengan Zafar dan Kim (2020) yang melaporkan bahwa aktivitas fotokatalitik TNT termodifikasi menurun setelah beberapa siklus akibat perubahan pada permukaan katalis. Utami et al. (2023) juga melaporkan bahwa fotokatalis berbasis TiO_2 termodifikasi masih mampu mempertahankan aktivitasnya setelah beberapa siklus penggunaan dengan penurunan efisiensi yang relatif kecil. (Utami *et al.*, 2023; Zafar & Kim, 2020).

Kestabilan aktivitas Cu/TNT 3% juga didukung oleh karakteristik material yang dilaporkan Adisa (2025). Karakterisasi EDX menunjukkan keberadaan Cu pada material, sedangkan UV-Vis DRS menunjukkan energi *band gap* sebesar 2,72 eV. Keberadaan Cu berperan sebagai penangkap elektron sehingga rekombinasi pasangan elektron-hole dapat ditekan, sedangkan energi *band gap* yang rendah meningkatkan pemanfaatan cahaya selama proses fotokatalisis. Karakteristik tersebut mendukung Cu/TNT 3% mempertahankan aktivitas fotokatalitik hingga siklus ke-6 dengan persentase *removal* sebesar 49,31%, atau hanya menurun 9,88% dibandingkan penggunaan awal. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Cu/TNT 3% memiliki kestabilan yang baik dan berpotensi digunakan kembali dalam pengolahan limbah zat warna (Adisa, 2025).

Lampiran 5.7 menunjukkan bahwa berbagai penelitian telah memanfaatkan fotokatalis berbasis TiO_2 termodifikasi untuk degradasi zat warna dengan karakteristik yang berbeda-beda. Utami et al. (2023) menggunakan fotokatalis RGO/NT hasil sintesis hidrotermal dan memperoleh degradasi sebesar 90% dengan pH optimum 5 serta stabil hingga lima siklus penggunaan ulang. Suhan et al. (2025) melaporkan fotokatalis Ce–Fe– TiO_2 hasil sintesis sol-gel yang mencapai degradasi 89,13% pada pH optimum 3. Reddy et al. (2016) menggunakan fotokatalis berbasis Fe dan memperoleh kondisi optimum pada pH 2, dosis 3 g/L, serta waktu penyinaran 60 menit. Penelitian ini menggunakan fotokatalis Cu/TNT hasil sintesis hidrotermal dengan kondisi optimum pada pH 3, dosis 5 g/L, dan waktu penyinaran 60 menit yang menghasilkan persentase *removal* sebesar 59,15% serta tetap stabil hingga lima siklus penggunaan ulang.

Kondisi optimum pada pH 3 menunjukkan kesesuaian dengan penelitian Suhan et al. (2025), sedangkan waktu penyinaran optimum 60 menit serupa dengan hasil Reddy et al. (2016). Perbedaan aktivitas fotokatalitik dipengaruhi oleh karakteristik fotokatalis dan kondisi operasional yang digunakan. RGO/NT memiliki struktur heterojunction yang meningkatkan pemisahan elektron–hole, sedangkan Ce–Fe– TiO_2 merupakan material *co-doped* yang meningkatkan transfer muatan dan respons terhadap cahaya. Fotokatalis Fe yang digunakan Reddy et al. (2016) memiliki morfologi nanopartikel, sedangkan Cu/TNT pada penelitian ini memiliki morfologi nanotube dengan luas permukaan yang tinggi. Persentase *removal* Cu/TNT yang lebih rendah dibandingkan RGO/NT dan Ce–Fe– TiO_2 diduga disebabkan oleh tidak adanya struktur heterojunction maupun *co-doping*, serta penggunaan sumber cahaya tampak yang memiliki energi lebih rendah dibandingkan lampu UV dan UV-C. Cu/TNT tetap menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang baik karena mampu mencapai persentase *removal* sebesar 59,12% dalam waktu penyinaran yang relatif singkat dan mempertahankan kestabilannya hingga lima kali penggunaan ulang.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

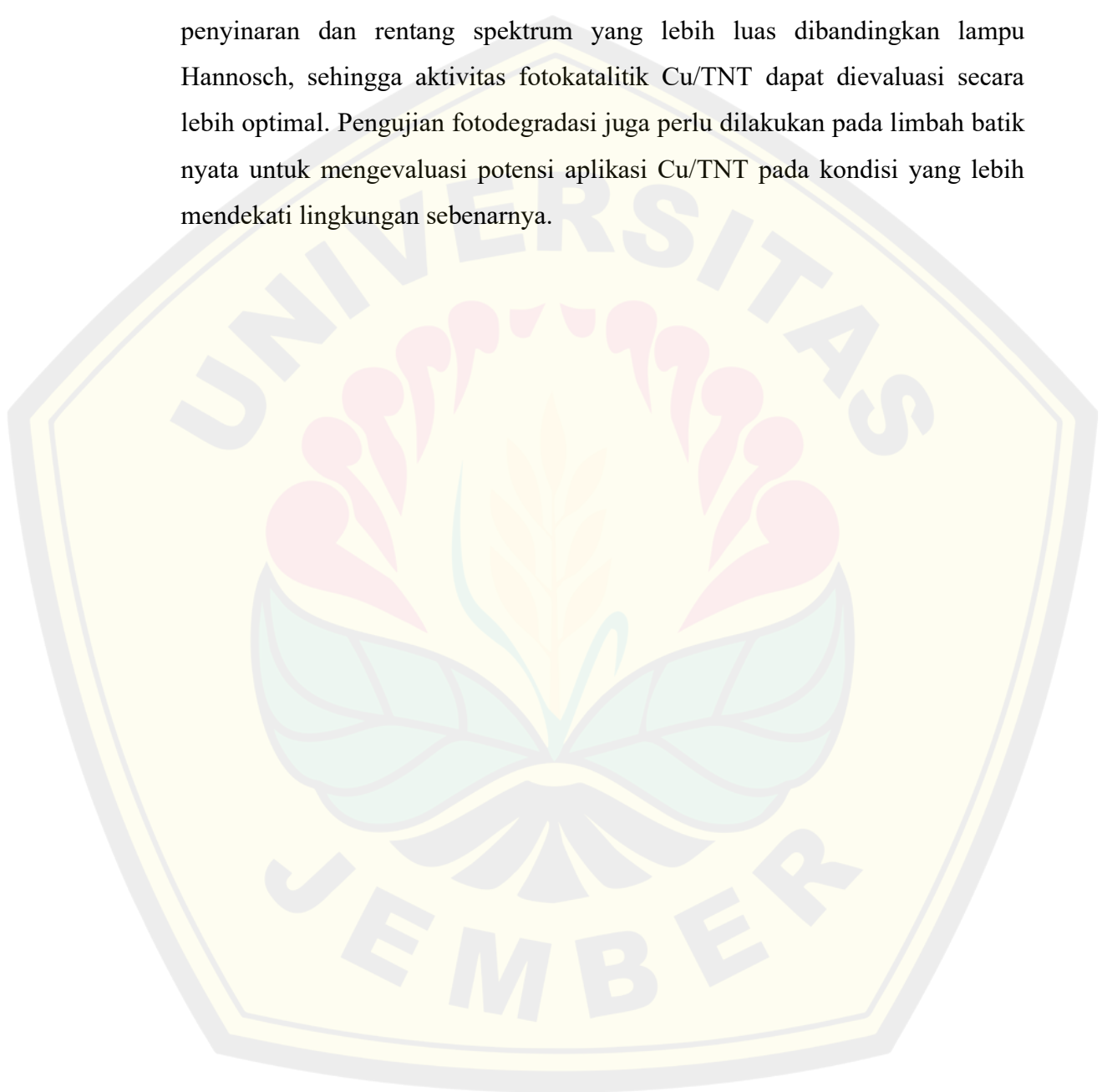
Kesimpulan yang diperoleh pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Variasi persen massa dopan Cu^{2+} berpengaruh terhadap aktivitas fotokatalitik TiO_2 *nanotube* (TNT) dalam mendegradasi *Naphthol Blue Black* (NBB). Peningkatan persen massa Cu dari 0; 0,1; 0,5; 1; hingga 3% meningkatkan kemampuan adsorpsi dan aktivitas fotokatalitik material. Fotokatalis Cu/TNT 3% menunjukkan kinerja terbaik dengan nilai Ct/C_0 terendah sebesar 0,491 pada tahap optimasi persen massa Cu dan persentase *removal* tertinggi sebesar 50,88% pada waktu penyinaran optimum 60 menit. Peningkatan aktivitas tersebut berkaitan dengan peran Cu sebagai penangkap elektron yang menghambat rekombinasi pasangan elektron-hole serta menurunkan energi *band gap* sehingga penyerapan cahaya dan pembentukan spesies oksigen reaktif berlangsung lebih efektif.
2. Variasi pH dan dosis katalis berpengaruh terhadap kinerja fotokatalis Cu/TNT 3% dalam mendegradasi *Naphthol Blue Black* (NBB). Kondisi optimum diperoleh pada pH 3 dengan persentase *removal* sebesar 53,31% dan dosis katalis 5 g/L dengan persentase *removal* sebesar 59,12%. Aktivitas fotokatalitik yang lebih tinggi pada pH 3 dipengaruhi oleh interaksi elektrostatik antara permukaan katalis yang bermuatan positif dan molekul NBB yang bermuatan negatif. Peningkatan dosis katalis hingga 5 g/L meningkatkan jumlah situs aktif untuk proses adsorpsi dan fotodegradasi, sedangkan dosis yang lebih tinggi menurunkan aktivitas akibat hamburan cahaya yang mengurangi penetrasi cahaya.
3. Fotokatalis Cu/TNT 3% memiliki kemampuan reusabilitas yang cukup baik setelah digunakan secara berulang. Aktivitas fotokatalitik masih dapat dipertahankan hingga lima siklus penggunaan dengan persentase *removal* berturut-turut sebesar 58,64%; 58,28%; 56,19%; 54,40%; dan 52,99%. Aktivitas fotokatalitik pada siklus keenam masih mencapai 49,31%, meskipun terjadi penurunan akibat penggunaan berulang. Hasil tersebut

menunjukkan bahwa Cu/TNT 3% berpotensi digunakan kembali dalam proses pengolahan limbah zat warna.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan sumber cahaya dengan intensitas penyinaran dan rentang spektrum yang lebih luas dibandingkan lampu Hannosch, sehingga aktivitas fotokatalitik Cu/TNT dapat dievaluasi secara lebih optimal. Pengujian fotodegradasi juga perlu dilakukan pada limbah batik nyata untuk mengevaluasi potensi aplikasi Cu/TNT pada kondisi yang lebih mendekati lingkungan sebenarnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Adisa, R. A. (2025). *Struktur dan Kinerja Fotokatalis Cu/TiO₂ Nanotube (Cu/TNT) Terhadap Degradasi Diazinon yang Disintesis Dengan Variasi Massa Dopan Cu²⁺*. Universitas Jember.
- Ajmal, A., Majeed, I., Malik, R. N., Idriss, H., & Nadeem, M. A. (2014). Principles and mechanisms of photocatalytic dye degradation on TiO₂ based photocatalysts: A comparative overview. *RSC Advances*, 4(70), 37003–37026.
- Aljar, M. A. A., Zulqarnain, M., Shah, A., Akhter, M. S., & Iftikhar, F. J. (2020). A review of renewable energy generation using modified titania for photocatalytic water splitting. In *AIP Advances*, 10(7), 1–8.
- Bouasla, C., Samar, M. E. H., & Bendjama, H. (2014). Kinetics study and neural network modeling of degradation of Naphtol Blue Black by electro-Fenton process: effects of anions, metal ions, and organic compound. *Desalination and Water Treatment*, 52(34–36), 6733–6744.
- Dong, H., Du, H., Wickramasinghe, S. R., & Qian, X. (2009). The Effects of chemical substitution and polymerization on the pK a values of sulfonic acids. *Journal of Physical Chemistry B*, 113(43), 14094–14101.
- Ferkous, H., Hamdaoui, O., & Merouani, S. (2015). Sonochemical degradation of naphthol blue black in water: Effect of operating parameters. *Ultrasonics Sonochemistry*, 26, 40–47.
- Ganesh, I., Kumar, P. P., Annapoorna, I., Sumliner, J. M., Ramakrishna, M., Hebalkar, N. Y., Padmanabham, G., & Sundararajan, G. (2014). Preparation and characterization of Cu-doped TiO₂ materials for electrochemical, photoelectrochemical, and photocatalytic applications. *Applied Surface Science*, 293, 229–247.
- 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.
- Hernández-Gordillo, A., Bizarro, M., Gadhi, T. A., Martínez, A., Tagliaferro, A., & Rodil, S. E. (2019). Good practices for reporting the photocatalytic evaluation of a visible-light active semiconductor: Bi₂O₃, a case study. *Catalysis Science and Technology*, 9(6), 1476–1496.

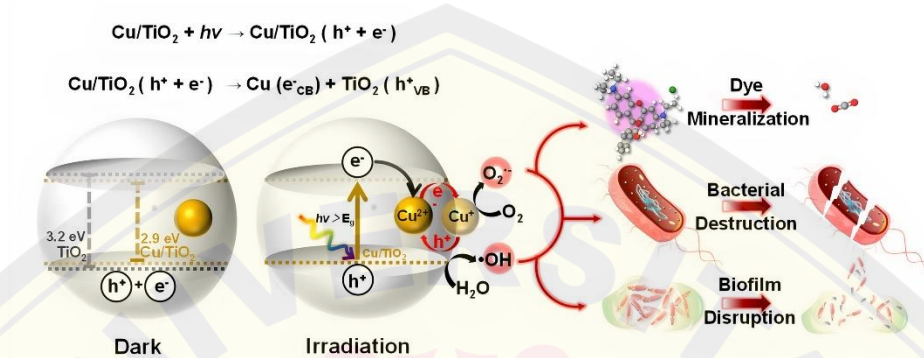
- Jabar, M. A., Rahayu, E. S., & Ramasamy, S. (2024). Ethnobotanical Study on Plants Used as Natural Dye by Handwritten Batik Craftsmen in Cirebon Indonesia. *Biosaintifika*, 16(2), 320–331.
- Jiang, D., Otitoju, T. A., Ouyang, Y., Shoparwe, N. F., Wang, S., Zhang, A., & Li, S. (2021). A review on metal ions modified TiO₂ for photocatalytic degradation of organic pollutants. *Catalysts*, 11(9), 1–82.
- Khan, S., Noor, T., Iqbal, N., & Yaqoob, L. (2024). Photocatalytic Dye Degradation from Textile Wastewater: A Review. *ACS Omega*, 9(20), 21751–21767.
- Krishnakumar, B., & Swaminathan, M. (2013). Solar photocatalytic degradation of Naphthol Blue Black. *Desalination and Water Treatment*, 51(34–36), 6572–6579.
- Kumar, H., Giri, A., & Rai, A. (2024). Photocatalytic degradation of naphthol blue black dye using undoped and Al-doped cobalt ferrite nanoparticles. *Kuwait Journal of Science*, 51(2), 1–14.
- Kusiak-Nejman, E., Sienkiewicz, A., Wanag, A., Rokicka-Konieczna, P., & Morawski, A. W. (2021). The role of adsorption in the photocatalytic decomposition of dyes on APTES-modified TiO₂ nanomaterials. *Catalysts*, 11(2), 1–22.
- Moosavi, S., Li, R. Y. M., Lai, C. W., Yusof, Y., Gan, S., Akbarzadeh, O., Chowhury, Z. Z., Yue, X. G., & Johan, M. R. (2020). Methylene blue dye photocatalytic degradation over synthesised Fe₃O₄ /ac/TiO₂ nano-catalyst: Degradation and reusability studies. *Nanomaterials*, 10(12), 1–15.
- Moumeni, O., Hamdaoui, O., Daoui, I., & Amrane, F. (2020). Oxidation study of an azo dye, naphthol blue black, by fenton and sono-fenton processes. *Desalination and Water Treatment*, 205, 412–421.
- Nasr, C., Vinodgopal, K., Fisher, L., Hotchandani, S., Chattopadhyay, A. K., & Kamat, P. V. (1996). Environmental Photochemistry on Semiconductor Surfaces. Visible Light Induced Degradation of a Textile Diazo Dye, Naphthol Blue Black, on TiO₂ Nanoparticles. *J. Phys. Chem*, 100(20), 8436–8442.
- Nhu, V. T. T., & Hien, C. Van. (2020). Synthesis of Cu/TiO₂ Nanocomposite by Gamma Irradiation for Enhance Photocatalytic Activity. *Journal of Technical Education Science*, 56, 36–40.
- Qomariyah, L., Kadir, A., Hirano, T., Tejamaya, M., Fauziyah, M., Putra, N. R., Sunarno, S. D. A. M., & Atmajaya, H. (2024). Sustainable removal of

- pigment dye from traditional batik textile wastewater using ZnO photocatalysis. *South African Journal of Chemical Engineering*, 50, 223–234.
- Reddy, D. R., Dinesh, G. K., 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: Process Intensification*, 99, 10–18.
- Reza, K. M., Kurny, A., & Gulshan, F. (2017). Parameters affecting the photocatalytic degradation of dyes using TiO₂: a review. *Applied Water Science*, 7, 1569–1578.
- Saefumillah, A., Mahadika, B. S., Saepurahman, Kurnia, K. A., Wellia, D. V., & Apriandanu, D. O. B. (2025). Adsorption and photodegradation of various organic dyes in batch and flow systems over TiO₂-chitosan immobilized on glass beads. *Results in Surfaces and Interfaces*, 18(100418), 1–11.
- Sassi, S., Bouich, A., Bessais, B., Khezami, L., Soucase, B. M., & Hajjaji, A. (2024). Comparative Analysis of Anodized TiO₂ Nanotubes and Hydrothermally Synthesized TiO₂ Nanotubes: Morphological, Structural, and Photoelectrochemical Properties. *Materials*, 17(5182), 1–17.
- Subagyo, P., & Soelistyowati. (2021). Pengaruh Zat Pewarna Sintetis Terhadap Pewarnaan Kain Batik. *Folio*, 2(2), 40–48.
- Suhan, M. B. K., Bahar, M. K., & Islam, M. S. (2025). Ce-doped nano-Fe-TiO₂ composites for photocatalytic degradation of naphthol blue black in aqueous medium. *RSC Advances*, 15(31), 25322–25336.
- 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.
- Woo, S., Jung, H., & Yoon, Y. (2023). Real-Time UV/VIS Spectroscopy to Observe Photocatalytic Degradation. *Catalysts*, 13(4).
- 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.

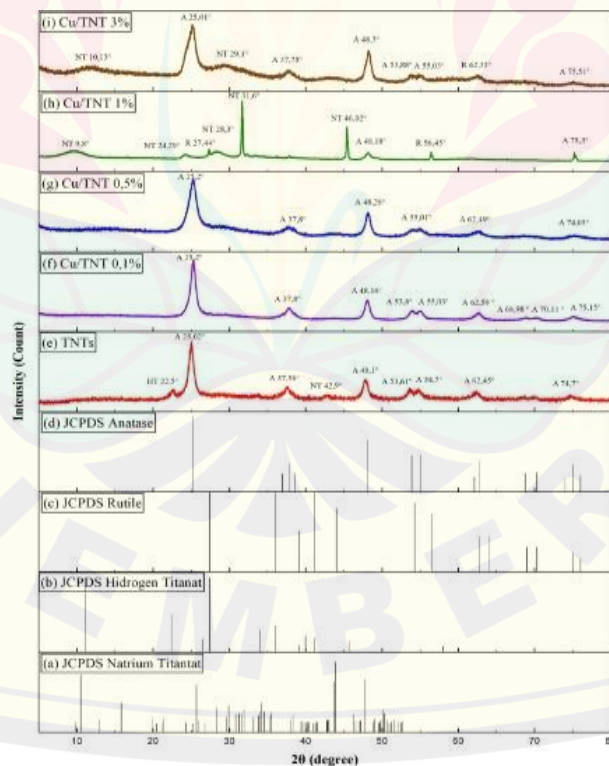
LAMPIRAN

LAMPIRAN BAB 2

Lampiran 1 Hasil Karakterisasi dan Pustaka

Lampiran 2.1 Fotokatalisis Cu/TiO₂Gambar 2.1 Fotokatalisis Cu/TiO₂(Sumber : Yu *et al.*, 2025)

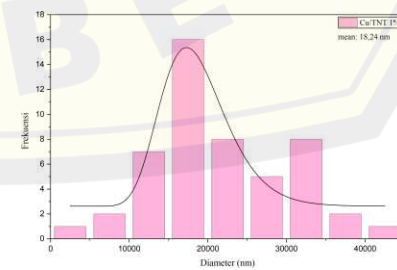
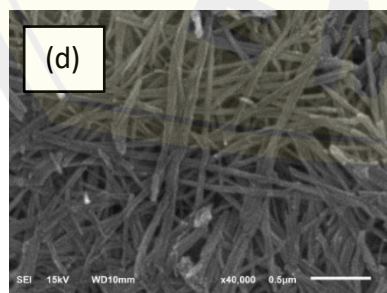
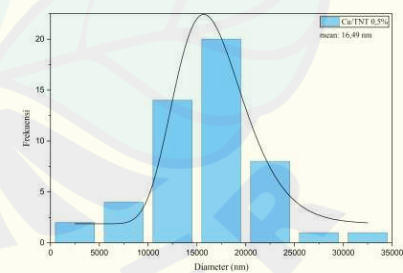
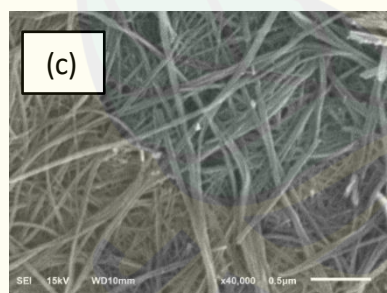
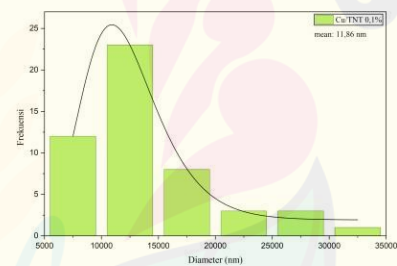
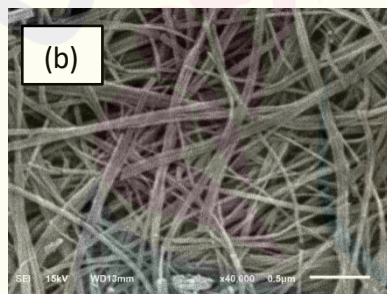
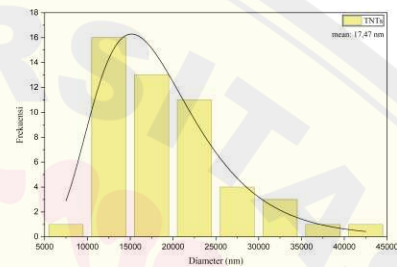
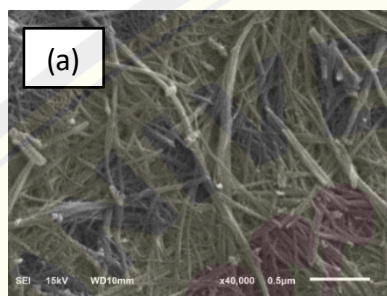
Lampiran 2.2 Hasil Karakterisasi XRD Cu/TNT

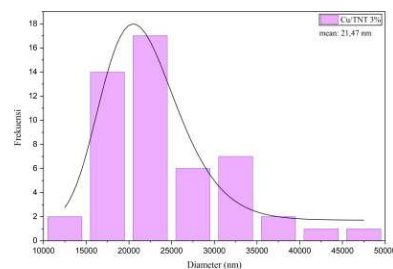
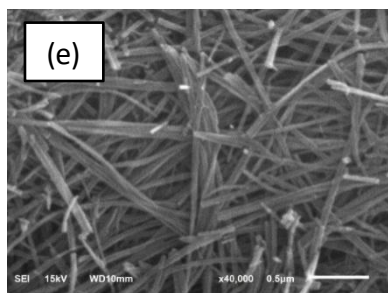


Gambar 2.2 Difaktogram Cu/TNT

Tabel 2.1.1 Ukuran Kristal Cu/TNT

Sampel	Ukuran Kristal
TNT	41,35 nm
Cu/TNT 0,1%	8,33 nm
Cu/TNT 0,5%	5,49 nm
Cu/TNT 1%	40,12 nm
Cu/TNT 3%	5,87 nm

Lampiran 2.3 Hasil Karakterisasi SEM Cu/TNT



Gambar 2.3 Morfologi dan Ukuran Partikel (a) TNT; (b) Cu/TNT 0,1%; (c) Cu/TNT 0,5%; (d) Cu/TNT 1%; (e) Cu/TNT 3%

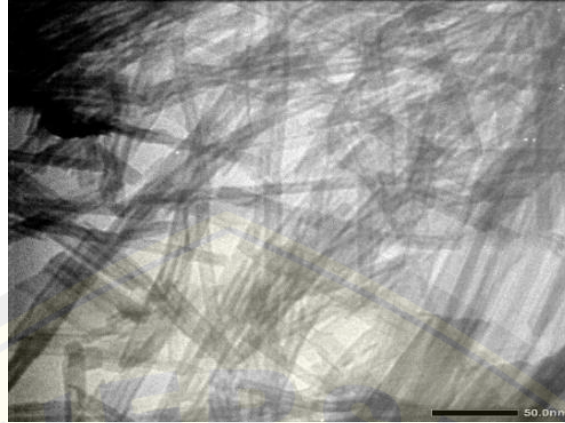
Tabel 2.1.2 Distribusi Ukuran Partikel Cu/TNT

Hasil Perhitungan		
Sampel	Distribusi Ukuran Partikel (nm)	Rata-Rata Ukuran Partikel (nm)
TNT	11-40 nm	17,47 nm
Cu/TNT 0,1%	6-38 nm	11,86 nm
Cu/TNT 0,5%	4-34 nm	16,49 nm
Cu/TNT 1%	2-38 nm	18,24 nm
Cu/TNT 3%	10-46 nm	21,47 nm

Tabel 2.1.3 Hasil Analisis EDX Cu/TNT

Sampel	Weight%		Atomic%	
	%Ti	%Cu	%Ti	%Cu
TNT	64,51%	0%	38,73%	0%
Cu/TNT 0,1%	90,31%	0%	75,68%	0%
Cu/TNT 0,5%	91,33%	0,10%	78,01%	0,06%
Cu/TNT 1%	86,12%	1,22%	68,93%	0,73%
Cu/TNT 3%	88,81%	0,37%	73,10%	0,23%

Lampiran 2.4 Hasil Karakterisasi TEM Cu/TNT

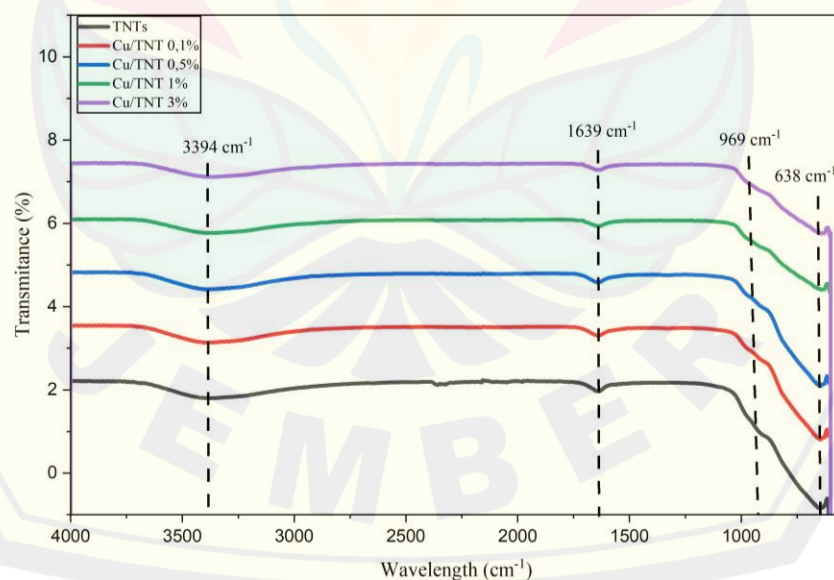


Gambar 2.4 Morfologi TEM pada Cu/TNT 1%

Tabel 2.1.4 Distribusi Ukuran Partikel Cu/TNT 1%

Parameter	Ukuran Rata-Rata (nm)
Diameter Luar	25,395 nm
Diameter Dalam	12,746 nm
Ketebalan Dinding	12,506 nm

Lampiran 2.5 Hasil Karakterisasi FTIR Cu/TNT



Gambar 2.5 Spektra FTIR pada Cu/TNT

Tabel 2.1.5 Gugus Fungsi pada Cu/TNT

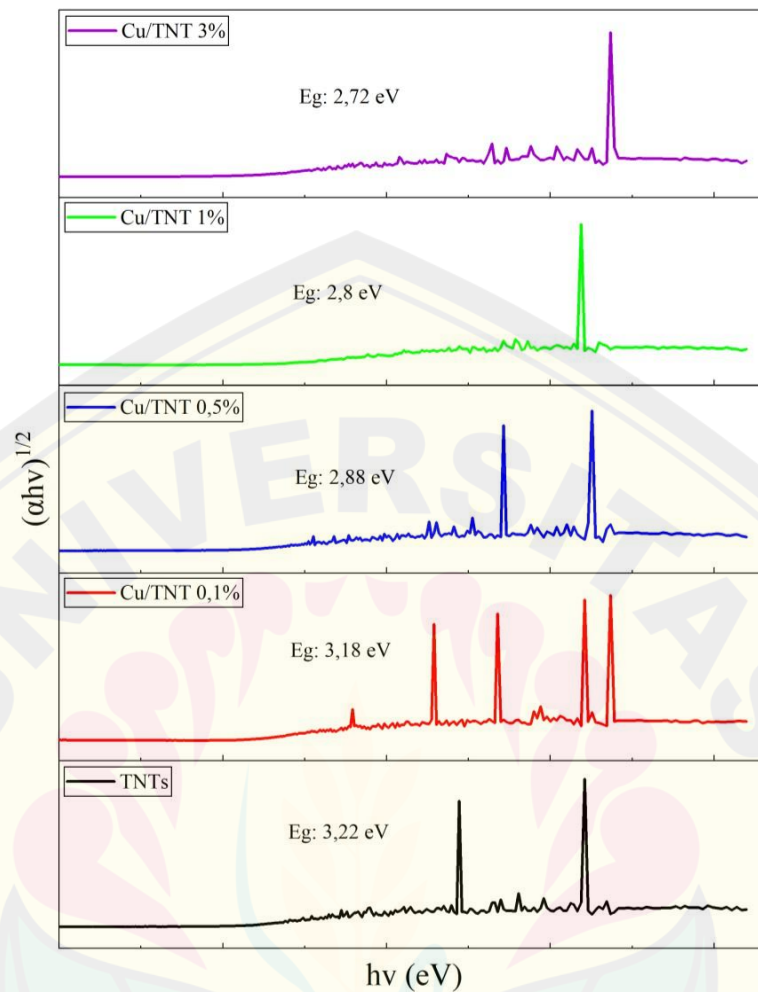
Gugus Fungsi	Panjang Gelombang (cm ⁻¹)				
	TNT	Cu/TNT	Cu/TNT	Cu/TNT	Cu/TNT
		0,1%	0,5%	1%	3%
Regangan -OH	3375	3375	3375	3383	3383
Tekuk H-O-H	1629	1638	1638	1638	1638
Regangan Ti-O-Ti	922	930	938	947	964
Regangan Ti-O	639	638	636	633	631

Lampiran 2.6 Hasil Karakterisasi BET Cu/TNT

Tabel 2.1.6 Luas Permukaan Cu/TNT

Sampel	Luas Permukaan
TNT	122,787 m ² /g
Cu/TNT 0,1%	152,862 m ² /g
Cu/TNT 0,5%	178,878 m ² /g
Cu/TNT 1%	64,727 m ² /g
Cu/TNT 3%	139,318 m ² /g

Lampiran 2.7 Hasil Karakterisasi FTIR Cu/TNT

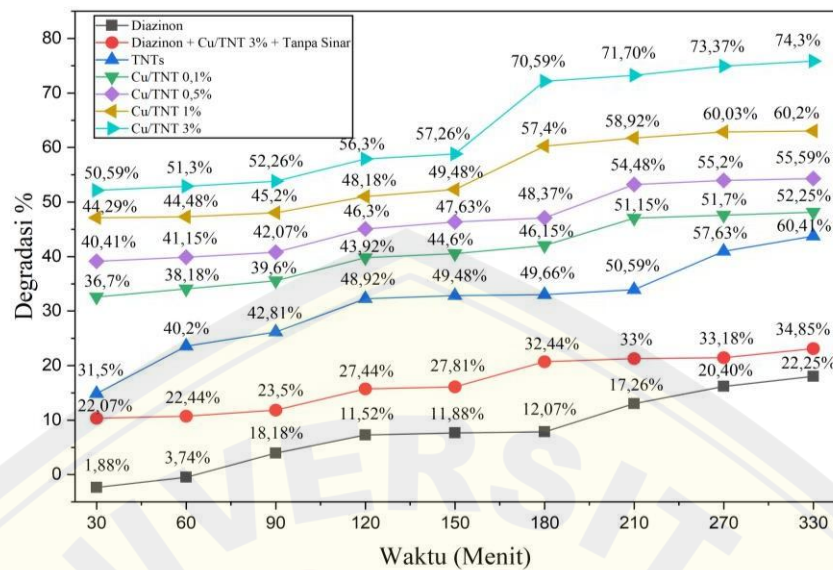


Gambar 2.6 Kurva Energi Bandgap Cu/TNT

Tabel 2.1.7 Nilai Energi Bandgap Cu/TNT

Sampel	Energi Bandgap (E_g)
TNT	3,22 eV
Cu/TNT 0,1%	3,18 eV
Cu/TNT 0,5%	2,88 eV
Cu/TNT 1%	2,8 eV
Cu/TNT 3%	2,72 eV

Lampiran 2.8 Hasil Fotodegradasi Cu/TNT dengan Diazinon

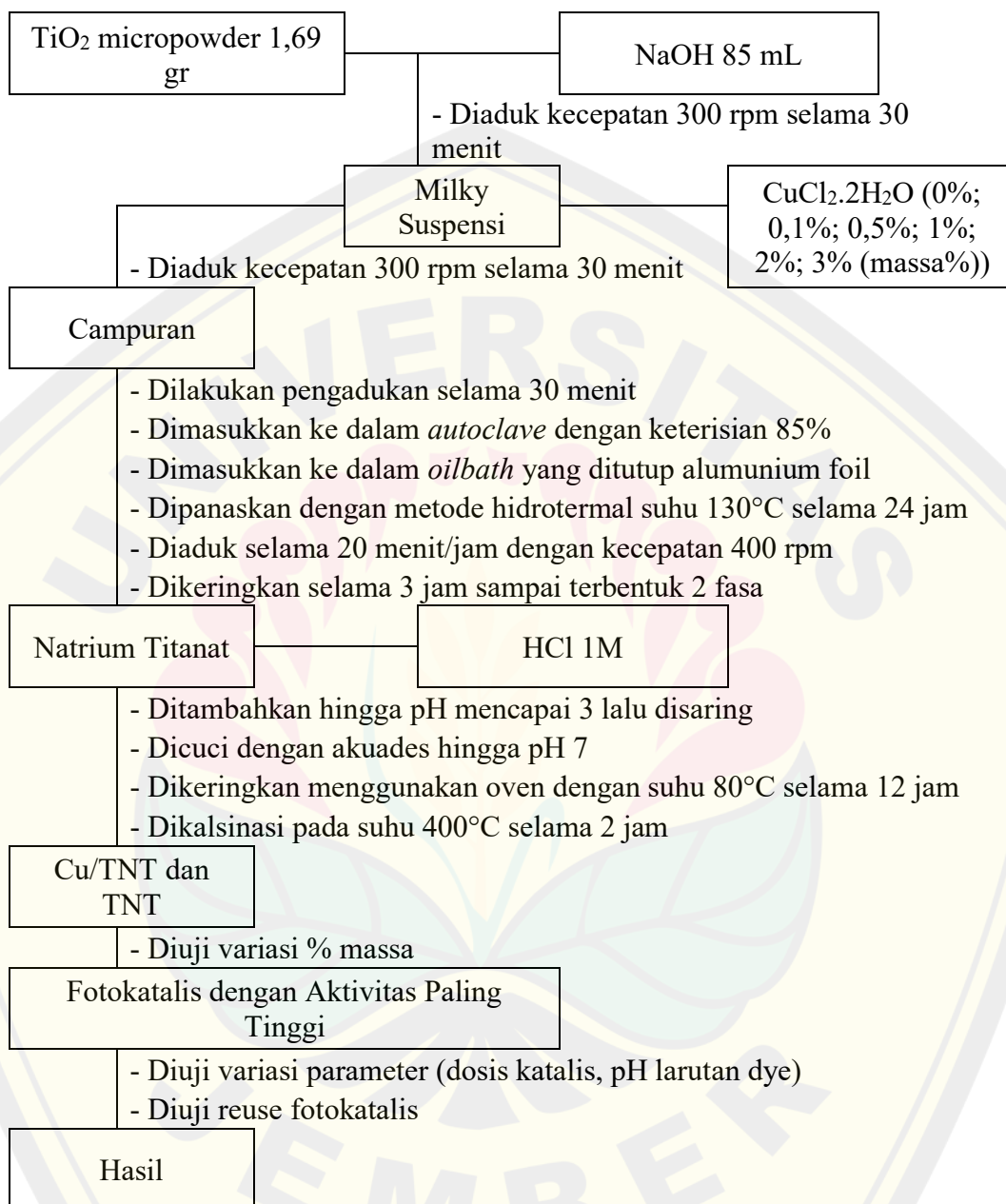


Gambar 2.7 Hasil Fotodegradasi Cu/TNT dengan Diazinon

LAMPIRAN BAB 3

Lampiran 2 Prosedur

Lampiran 3.1 Diagram Alir



Lampiran 3.2 Prosedur Sintesis TNT dan Cu/TNT

a. Pembuatan Larutan NaOH 10 M

Padatan NaOH sebanyak 40 gram ditimbang menggunakan neraca analitik, lalu dimasukkan ke dalam gelas beaker 100 mL. Padatan NaOH dilarutkan dengan akuades dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga larutan menjadi homogen. Larutan kemudian diencerkan dalam labu ukur 100 mL hingga mencapai tanda batas.

b. Pembuatan Larutan HCl 1 M

Larutan HCl 37% sebanyak 20,8 mL diambil menggunakan pipet volume 20 mL dan pipet mohr 1 mL. Larutan kemudian dituangkan ke dalam gelas beaker, lalu diencerkan dengan akuades dalam labu ukur 250 mL hingga mencapai tanda batas.

c. Pembuatan Larutan NaOH 0.1 M

Larutan HCl 37 % di ambil sebanyak 2,08 mL dengan pipet mohr 5 mL. Larutan kemudian dilarutkan dalam gelas beaker kemudian diencerkan dalam labu ukur 250 mL menggunakan akuades hingga tanda batas.

Lampiran 3.3 Pembuatan Larutan pH

a. Pembuatan Larutan H_3PO_4 0.1 M

Larutan H_3PO_4 dibuat dengan mengambil H_3PO_4 pekat sebanyak 0,7 mL menggunakan pipet ukur, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur. Larutan selanjutnya diencerkan menggunakan akuades hingga tanda batas dan dihomogenkan.

b. Pembuatan Larutan KH_2PO_4 0.1 M

Padatan KH_2PO_4 ditimbang sebanyak 1,36 gram menggunakan neraca analitik, kemudian dimasukkan ke dalam gelas beker dan dilarutkan menggunakan akuades. Larutan dipindahkan ke dalam labu ukur, lalu ditambahkan akuades hingga tanda batas dan dihomogenkan.

c. Pembuatan Larutan Na_2HPO_4 0.1 M

Padatan Na_2HPO_4 ditimbang sebanyak 1,42 gram menggunakan neraca analitik, kemudian dilarutkan dengan akuades di dalam gelas beker. Larutan dipindahkan ke dalam labu ukur dan diencerkan menggunakan akuades hingga tanda batas, kemudian dihomogenkan.

Lampiran 3.4 Prosedur Pembuatan Larutan Buffer

a. Buffer Fosfat pH 2

Larutan H_3PO_4 0,1 M dan KH_2PO_4 0,1 M dicampurkan dengan rasio 59:41. Larutan H_3PO_4 0,1 M sebanyak 59 mL dicampurkan dengan 41 mL larutan KH_2PO_4 0,1 M di dalam gelas beker. Campuran kemudian dihomogenkan menggunakan batang pengaduk dan diukur pH-nya menggunakan pH meter hingga diperoleh pH 2.

b. Buffer Fosfat pH 3

Larutan H_3PO_4 0,1 M dan KH_2PO_4 0,1 M dicampurkan dengan rasio 12:88. Larutan H_3PO_4 0,1 M sebanyak 12 mL dicampurkan dengan 88 mL larutan KH_2PO_4 0,1 M. Campuran dihomogenkan, kemudian dilakukan pengukuran pH menggunakan pH meter. Penyesuaian pH dilakukan apabila diperlukan hingga diperoleh pH 3.

c. Buffer Fosfat pH 4

Larutan KH_2PO_4 0,1 M digunakan sebagai larutan utama, kemudian ditambahkan larutan HCl 0,1 M secara bertahap hingga mencapai pH 4. Larutan KH_2PO_4 0,1 M sebanyak 100 mL dimasukkan ke dalam gelas beker, kemudian ditambahkan larutan HCl 0,1 M sambil diaduk hingga pH larutan mencapai pH 4.

d. Buffer Fosfat pH 5

Larutan KH_2PO_4 0,1 M dan Na_2HPO_4 0,1 M dicampurkan dengan rasio 95:5. Larutan KH_2PO_4 0,1 M sebanyak 95 mL dicampurkan dengan 5 mL larutan Na_2HPO_4 0,1 M. Larutan dihomogenkan dan diukur pH-nya menggunakan pH meter. Apabila diperlukan, dilakukan penyesuaian pH menggunakan larutan NaOH atau HCl 0,1 M hingga diperoleh pH 5.

e. Buffer Fosfat pH 8

Larutan KH_2PO_4 0,1 M dan Na_2HPO_4 0,1 M dicampurkan dengan rasio 14:86. Larutan KH_2PO_4 0,1 M sebanyak 14 mL dicampurkan dengan 86 mL larutan Na_2HPO_4 0,1 M. Campuran dihomogenkan kemudian diukur menggunakan pH meter hingga diperoleh pH 8.

Lampiran 3 Perhitungan

Lampiran 4.1 Perhitungan Massa TNT

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

Diketahui : M NaOH = 10 M

V NaOH = 85 mL = 0,085 L

Mr NaOH = 40 g/mol

Mr TiO_2 = 79,80 g/mol

M = Mol NaOH $\times$ V NaOH

10 mol/L = Mol NaOH $\times$ 0,085 L

Mol NaOH = 0,85 mol

Rasio mol = Mol TiO_2 $\times$ Mol NaOH

0,025 = Mol TiO_2 $\times$ 0,85 mol

Mol TiO_2 = 0,02125 mol

Massa TiO_2 = Mol TiO_2 $\times$ Mr TiO_2

Massa TiO_2 = 0,02125 $\times$ 79,8 g/mol

Massa TiO_2 = 1,69 gram

Mol TiO_2 = $\frac{\text{Massa } \text{TiO}_2}{\text{Mr } \text{TiO}_2}$

Mol TiO_2 = $\frac{1,69 \text{ gram}}{79,866 \text{ g/mol}}$

Mol TiO_2 = 0,02116 mol

2. Massa NaOH yang dibutuhkan

M = n $\times$ v $\times$ Mr

10 mol/L = 0,85 mol $\times$ 0,17 L $\times$ 40 g/mol

Massa NaOH = 20 gram

3. Keterisian = V NaOH yang digunakan $\times$ V *autoclave* $\times$ 100%

= 85 mL $\times$ 100 mL $\times$ 100%

= 85 mL

Lampiran 4.2 Perhitungan Variasi Persen Massa Cu/TNT1. Variasi Massa Cu/TiO₂ 0%

$$\text{Persen Massa} = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa Cu} + \text{Massa TiO}_2}$$

$$0\% = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa Cu} + \text{Massa TiO}_2}$$

$$0\% = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa Cu} + 1,697 \text{ gram}}$$

$$0 = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa Cu} + 1,697 \text{ gram}}$$

$$0 (1,69 \text{ gram} + \text{Massa Cu}) = \text{Massa Cu}$$

$$0 + 0 = \text{Massa Cu}$$

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

$$\text{Massa CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{\frac{\text{Massa Cu}}{\text{Ar Cu}}}{\text{Mr CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}$$

$$\text{Massa CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{\frac{0 \text{ gram}}{63,5}}{170,49 \text{ g/mol}}$$

$$\text{Massa CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{0 \text{ gram}}{0,37245 \text{ g/mol}}$$

$$\text{Massa CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 0 \text{ gram}$$

$$\text{Mol Cu} = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Mr TiO}_2}$$

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

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

$$\text{Perbandingan Mol TiO}_2 : \text{Cu} = \frac{\text{Mol Cu}}{\text{Mr TiO}_2}$$

$$\frac{\text{Massa Cu}}{\text{Mr TiO}_2} = \frac{0}{0,02116 \text{ mol}}$$

$$\frac{\text{Massa Cu}}{1} = \frac{0}{0,02116 \text{ mol}}$$

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

2. Variasi Massa Cu/TiO₂ 0,1%

$$\text{Persen Massa} = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa Cu} + \text{Massa TiO}_2}$$

$$0,1\% = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa Cu} + \text{Massa TiO}_2}$$

$$0,1\% = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa Cu} + 1,697 \text{ gram}}$$

$$0,001 = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa Cu} + 1,697 \text{ gram}}$$

$$0,001 (1,69 \text{ gram} + \text{Massa Cu}) = \text{Massa Cu}$$

$$0,00169 \text{ gram} + 0,001 \text{ Massa Cu} = \text{Massa Cu}$$

$$0,00169 \text{ gram} = \text{Massa Cu} - 0,001 \text{ Massa Cu}$$

$$0,00169 \text{ gram} = 0,999 \text{ Massa Cu}$$

$$\text{Massa Cu} = \frac{0,00169 \text{ gram}}{0,999}$$

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

$$\text{Massa CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{\text{Massa Cu}}{\frac{\text{Ar Cu}}{\text{Mr CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}}$$

$$\text{Massa CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{0,00169 \text{ gram}}{\frac{63,5}{170,49 \text{ g/mol}}}$$

$$\text{Massa CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{0,00169 \text{ gram}}{0,37245 \text{ g/mol}}$$

$$\text{Massa CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 0,00454 \text{ gram}$$

$$\text{Mol Cu} = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Mr TiO}_2}$$

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

$$\text{Mol Cu} = 0,000021 \text{ mol}$$

$$\text{Perbandingan Mol TiO}_2 : \text{Cu} = \frac{\text{Mol Cu}}{\text{Mr TiO}_2}$$

$$\frac{\text{Massa Cu}}{\text{Mr TiO}_2} = \frac{0,000021}{0,02116 \text{ mol}}$$

$$\frac{\text{Massa Cu}}{1} = \frac{0,000021}{0,02116 \text{ mol}}$$

$$\text{Mol Cu} = 0,000992 \text{ mol}$$

3. Variasi Massa Cu/TiO₂ 0,5%

$$\text{Persen Massa} = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa Cu} + \text{Massa TiO}_2}$$

$$0,5\% = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa Cu} + \text{Massa TiO}_2}$$

$$0,5\% = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa Cu} + 1,697 \text{ gram}}$$

$$0,005 = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa Cu} + 1,697 \text{ gram}}$$

$$0,005 (1,69 \text{ gram} + \text{Massa Cu}) = \text{Massa Cu}$$

$$0,00845 \text{ gram} + 0,005 \text{ Massa Cu} = \text{Massa Cu}$$

$$0,00845 \text{ gram} = \text{Massa Cu} - 0,005 \text{ Massa Cu}$$

$$0,00845 \text{ gram} = 0,995 \text{ Massa Cu}$$

$$\text{Massa Cu} = \frac{0,00845 \text{ gram}}{0,995}$$

$$\text{Massa Cu} = 0,00849 \text{ gram}$$

$$\text{Massa CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{\text{Massa Cu}}{\frac{\text{Ar Cu}}{\text{Mr CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}}$$

$$\text{Massa CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{0,00849 \text{ gram}}{\frac{63,5}{170,49 \text{ g/mol}}}$$

$$\text{Massa CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{0,00849 \text{ gram}}{0,37245 \text{ g/mol}}$$

$$\text{Massa CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 0,02279 \text{ gram}$$

$$\text{Mol Cu} = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Mr TiO}_2}$$

$$\text{Mol Cu} = \frac{0,00849 \text{ gram}}{79,866 \text{ g/mol}}$$

$$\text{Mol Cu} = 0,0001 \text{ mol}$$

$$\text{Perbandingan Mol TiO}_2 : \text{Cu} = \frac{\text{Mol Cu}}{\text{Mr TiO}_2}$$

$$\frac{\text{Massa Cu}}{\text{Mr TiO}_2} = \frac{0,0001}{0,02116 \text{ mol}}$$

$$\frac{\text{Massa Cu}}{1} = \frac{0,0001}{0,02116 \text{ mol}}$$

$$\text{Mol Cu} = 0,00472 \text{ mol}$$

4. Variasi Massa Cu/TiO₂ 1%

$$\text{Persen Massa} = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa Cu} + \text{Massa TiO}_2}$$

$$1\% = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa Cu} + \text{Massa TiO}_2}$$

$$1\% = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa Cu} + 1,697 \text{ gram}}$$

$$0,01 = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa Cu} + 1,697 \text{ gram}}$$

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

$$0,0169 \text{ gram} + 0,001 \text{ Massa Cu} = \text{Massa Cu}$$

$$0,0169 \text{ gram} = \text{Massa Cu} - 0,01 \text{ Massa Cu}$$

$$0,0169 \text{ gram} = 0,99 \text{ Massa Cu}$$

$$\text{Massa Cu} = \frac{0,0169 \text{ gram}}{0,99}$$

$$\text{Massa Cu} = 0,017 \text{ gram}$$

$$\text{Massa CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{\text{Massa Cu}}{\frac{\text{Ar Cu}}{\text{Mr CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}}$$

$$\text{Massa CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{0,017 \text{ gram}}{\frac{63,5}{170,49 \text{ g/mol}}}$$

$$\text{Massa CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{0,017 \text{ gram}}{0,37245 \text{ g/mol}}$$

$$\text{Massa CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 0,0456 \text{ gram}$$

$$\text{Mol Cu} = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Mr TiO}_2}$$

$$\text{Mol Cu} = \frac{0,017 \text{ gram}}{79,866 \text{ g/mol}}$$

$$\text{Mol Cu} = 0,000213 \text{ mol}$$

$$\text{Perbandingan Mol TiO}_2 : \text{Cu} = \frac{\text{Mol Cu}}{\text{Mr TiO}_2}$$

$$\frac{\text{Massa Cu}}{\text{Mr TiO}_2} = \frac{0,000213}{0,02116 \text{ mol}}$$

$$\frac{\text{Massa Cu}}{1} = \frac{0,000213}{0,02116 \text{ mol}}$$

$$\text{Mol Cu} = 0,01 \text{ mol}$$

5. Variasi Massa Cu/TiO₂ 3%

$$\text{Persen Massa} = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa Cu} + \text{Massa TiO}_2}$$

$$3\% = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa Cu} + \text{Massa TiO}_2}$$

$$3\% = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa Cu} + 1,697 \text{ gram}}$$

$$0,03 = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa Cu} + 1,697 \text{ gram}}$$

$$0,03 (1,69 \text{ gram} + \text{Massa Cu}) = \text{Massa Cu}$$

$$0,05 \text{ gram} + 0,03 \text{ Massa Cu} = \text{Massa Cu}$$

$$0,05 \text{ gram} = \text{Massa Cu} - 0,03 \text{ Massa Cu}$$

$$0,05 \text{ gram} = 0,97 \text{ Massa Cu}$$

$$\text{Massa Cu} = \frac{0,05 \text{ gram}}{0,97}$$

$$\text{Massa Cu} = 0,0515 \text{ gram}$$

$$\text{Massa CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{\text{Massa Cu}}{\frac{\text{Ar Cu}}{\text{Mr CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}}$$

$$\text{Massa CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{0,0515 \text{ gram}}{\frac{63,5}{170,49 \text{ g/mol}}}$$

$$\text{Massa CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{0,0515 \text{ gram}}{0,37245 \text{ g/mol}}$$

$$\text{Massa CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 0,138 \text{ gram}$$

$$\text{Mol Cu} = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Mr TiO}_2}$$

$$\text{Mol Cu} = \frac{0,0515 \text{ gram}}{79,866 \text{ g/mol}}$$

$$\text{Mol Cu} = 0,00064 \text{ mol}$$

$$\text{Perbandingan Mol TiO}_2 : \text{Cu} = \frac{\text{Mol Cu}}{\text{Mr TiO}_2}$$

$$\frac{\text{Massa Cu}}{\text{Mr TiO}_2} = \frac{0,00064}{0,02116 \text{ mol}}$$

$$\frac{\text{Massa Cu}}{1} = \frac{0,00064}{0,02116 \text{ mol}}$$

$$\text{Mol Cu} = 0,03 \text{ mol}$$

Lampiran 4.3 Perhitungan Konsentrasi *Naphthol Blue Black*

$$\text{Konsentrasi Stok} = \frac{100 \text{ mg}}{0,1 \text{ L}} = 1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 1000 \text{ ppm}$$

1. Konsentrasi 1 ppm

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

$$1 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} = 1000 \text{ ppm} \times V_2$$

$$V_2 = 0,1 \text{ mL}$$

2. Konsentrasi 2 ppm

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

$$2 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} = 1000 \text{ ppm} \times V_2$$

$$V_2 = 0,2 \text{ mL}$$

3. Konsentrasi 3 ppm

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

$$3 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} = 1000 \text{ ppm} \times V_2$$

$$V_2 = 0,3 \text{ mL}$$

4. Konsentrasi 4 ppm

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

$$4 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} = 1000 \text{ ppm} \times V_2$$

$$V_2 = 0,4 \text{ mL}$$

5. Konsentrasi 5 ppm

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

$$5 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} = 1000 \text{ ppm} \times V_2$$

$$V_2 = 0,5 \text{ mL}$$

6. Konsentrasi 10 ppm

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

$$10 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} = 1000 \text{ ppm} \times V_2$$

$$V_2 = 1 \text{ mL}$$

7. Konsentrasi 15 ppm

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

$$15 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} = 1000 \text{ ppm} \times V_2$$

$$V_2 = 1,5 \text{ mL}$$

8. Konsentrasi 20 ppm

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

$$20 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} = 1000 \text{ ppm} \times V_2$$

$$V_2 = 2 \text{ mL}$$



Lampiran 4.4 Perhitungan Larutan Buffer Fosfat1. Larutan H_3PO_4 0,1 M (100 mL)

Diketahui :

$$\text{Mr H}_3\text{PO}_4 = 98 \text{ g/mol}$$

$$\text{Konsentrasi H}_3\text{PO}_4 \text{ pekat} = 85\%$$

$$\rho \text{ H}_3\text{PO}_4 \text{ pekat} = 1,685 \text{ g/mL}$$

$$\text{Molaritas yang diinginkan} = 0,1 \text{ M}$$

$$\text{Volume larutan} = 100 \text{ mL} = 0,1 \text{ L}$$

Jumlah mol yang diperlukan :

$$n = M \times V$$

$$n = 0,01 \text{ M} \times 0,1 \text{ L}$$

$$n = 0,01 \text{ mol}$$

Massa H_3PO_4 murni yang diperlukan :

$$m = n \times \text{Mr}$$

$$m = 0,01 \text{ mol} \times 98 \text{ g/mol}$$

$$m = 0,98 \text{ gram}$$

Massa H_3PO_4 pekat yang diperlukan :

$$m \text{ pekat} = 0,98 \text{ gram} \times 85\%$$

$$m \text{ pekat} = 1,153 \text{ gram}$$

Volume H_3PO_4 pekat :

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{1,153 \text{ gram}}{1,653 \text{ g/mL}}$$

$$V = 0,684 \text{ mL} \approx 0,7 \text{ mL}$$

2. Larutan KH_2PO_4 0,1 M (100 mL)

Diketahui :

$$\text{Mr KH}_2\text{PO}_4 = 136,09 \text{ g/mol}$$

$$\text{Molaritas} = 0,1 \text{ M}$$

$$V \text{ larutan} = 1000 \text{ mL} = 0,1 \text{ L}$$

Jumlah mol yang diperlukan :

$$n = M \times V$$

$$n = 0,01 \text{ M} \times 0,1 \text{ L}$$

$$n = 0,01 \text{ mol}$$

Massa yang diperlukan :

$$m = n \times \text{Mr}$$

$$m = 0,01 \text{ mol} \times 136,09 \text{ g/mol}$$

$$m = 1,3609 \text{ gram} \approx 1,36 \text{ gram}$$

3. Larutan Na_2HPO_4 0,1 M (100 mL)

Diketahui :

$$\text{Mr Na}_2\text{HPO}_4 = 141,96 \text{ g/mol}$$

$$\text{Molaritas} = 0,1 \text{ M}$$

$$\text{Volume Larutan} = 1000 \text{ mL} = 0,1 \text{ L}$$

Jumlah mol yang diperlukan :

$$n = M \times V$$

$$n = 0,01 \text{ M} \times 0,1 \text{ L}$$

$$n = 0,01 \text{ mol}$$

Massa yang diperlukan :

$$m = n \times \text{Mr}$$

$$m = 0,01 \text{ mol} \times 141,96 \text{ g/mol}$$

$$m = 1,4196 \text{ gram} \approx 1,42 \text{ gram}$$

Lampiran 4.5 Perhitungan Pengurangan Persen Massa Reusabilitas

Siklus 1

$$\% \text{Penurunan Massa} = \frac{m_{n-1} - m_n}{m_{n-1}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \% \text{Penurunan Massa} &= \frac{0,12500 - 0,12313}{0,12500} \times 100\% \\ &= \frac{0,00187}{0,12500} \times 100\% \\ &= 1,496\% \end{aligned}$$

Siklus 2

$$\begin{aligned} \% \text{Penurunan Massa} &= \frac{0,12313 - 0,12132}{0,12313} \times 100\% \\ &= \frac{0,00181}{0,12313} \times 100\% \\ &= 1,470\% \end{aligned}$$

Siklus 3

$$\begin{aligned} \% \text{Penurunan Massa} &= \frac{0,12132 - 0,11904}{0,12132} \times 100\% \\ &= \frac{0,00228}{0,12132} \times 100\% \\ &= 1,879\% \end{aligned}$$

Siklus 4

$$\begin{aligned} \% \text{Penurunan Massa} &= \frac{0,11904 - 0,11721}{0,11904} \times 100\% \\ &= \frac{0,00183}{0,11904} \times 100\% \\ &= 1,537\% \end{aligned}$$

Siklus 5

$$\begin{aligned} \% \text{Penurunan Massa} &= \frac{0,11721 - 0,11410}{0,11721} \times 100\% \\ &= \frac{0,00311}{0,11721} \times 100\% \\ &= 2,653\% \end{aligned}$$

Siklus 6

$$\begin{aligned}\% \text{Penurunan Massa} &= \frac{0,11410 - 0,11120}{0,11410} \times 100\% \\ &= \frac{0,00290}{0,11410} \times 100\% \\ &= 2,542\%\end{aligned}$$

Rata-Rata Penurunan Massa Per Siklus

$$\frac{1,496 + 1,470 + 1,879 + 1,537 + 2,653 + 2,542}{6} = 1,930\%$$

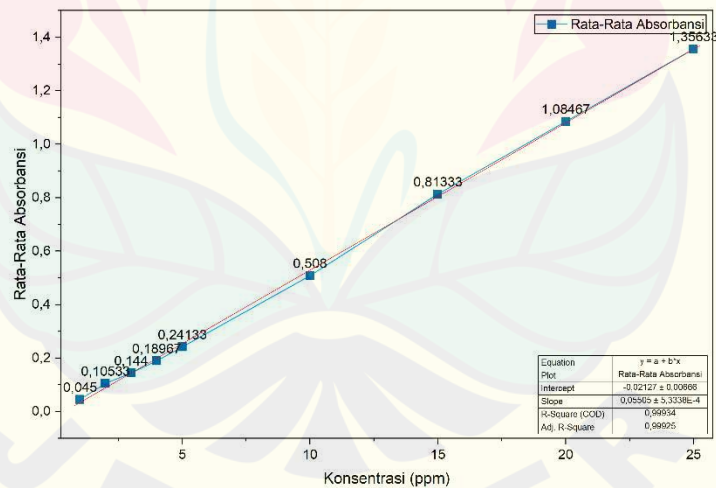
Penurunan Massa Total

$$\begin{aligned}\% \text{Penurunan Massa} &= \frac{0,12500 - 0,11120}{0,12500} \times 100\% \\ &= \frac{0,01380}{0,12500} \times 100\% \\ &= 11,04\%\end{aligned}$$

LAMPIRAN 5 BAB 4**Lampiran 4 Hasil Pembahasan****Lampiran 5.1 Kurva Kalibrasi NBB**

Tabel 5.1 Kurva Kalibrasi

No.	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi (A)			Rata-Rata Absorbansi
		A ₁	A ₂	A ₃	
1.	1	0,055	0,036	0,044	0,045
2.	2	0,108	0,107	0,101	0,105
3.	3	0,144	0,144	0,144	0,144
4.	4	0,198	0,182	0,189	0,189
5.	5	0,235	0,254	0,235	0,241
6.	10	0,414	0,578	0,532	0,508
7.	15	0,79	0,795	0,855	0,813
8.	20	1,087	1,106	1,061	1,084
9.	25	1,374	1,322	1,373	1,356



Gambar 5.1 Kurva Kalibrasi NBB

Lampiran 5.2 Hasil Adsorpsi Tanpa Cahaya

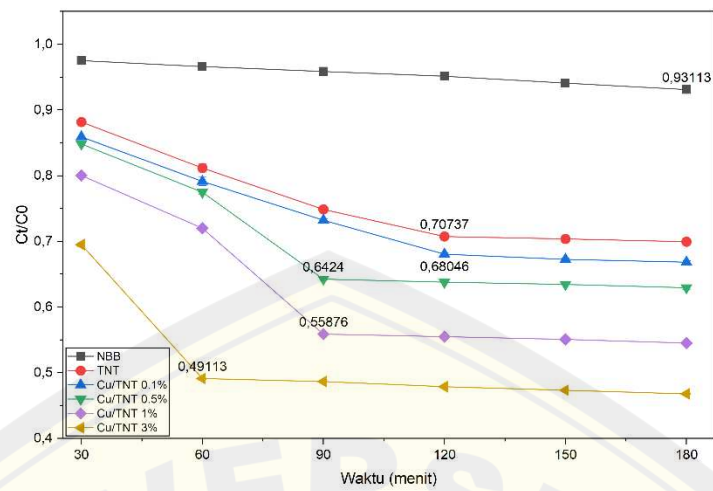
Tabel 5.2 Analisis Adsorpsi Fotokatalis Cu/TNT 3%

No	Waktu (menit)	Absorbansi (A)	C _t (mg/L)	C _t /C ₀
1.	10	A ₁ = 0,829	C _{t1} = 15,460	C _t /C ₀₍₁₎ = 0,618
		A ₂ = 0,827	C _{t2} = 15,423	C _t /C ₀₍₂₎ = 0,616
		A ₃ = 0,821	C _{t3} = 15,314	C _t /C ₀₍₃₎ = 0,612
		$\bar{x} = 0,825$	$\bar{x} = 15,399$	$\bar{x} = 0,615$
2.	20	A ₁ = 0,658	C _{t1} = 12,350	C _t /C ₀₍₁₎ = 0,494
		A ₂ = 0,659	C _{t2} = 12,369	C _t /C ₀₍₂₎ = 0,494
		A ₃ = 0,656	C _{t3} = 12,314	C _t /C ₀₍₃₎ = 0,492
		$\bar{x} = 0,657$	$\bar{x} = 12,337$	$\bar{x} = 0,493$
3.	30	A ₁ = 0,692	C _{t1} = 12,969	C _t /C ₀₍₁₎ = 0,518
		A ₂ = 0,693	C _{t2} = 12,987	C _t /C ₀₍₂₎ = 0,519
		A ₃ = 0,695	C _{t3} = 13,023	C _t /C ₀₍₃₎ = 0,520
		$\bar{x} = 0,693$	$\bar{x} = 12,993$	$\bar{x} = 0,519$
4.	40	A ₁ = 0,839	C _{t1} = 15,641	C _t /C ₀₍₁₎ = 0,625
		A ₂ = 0,840	C _{t2} = 15,660	C _t /C ₀₍₂₎ = 0,626
		A ₃ = 0,843	C _{t3} = 15,714	C _t /C ₀₍₃₎ = 0,628
		$\bar{x} = 0,840$	$\bar{x} = 15,672$	$\bar{x} = 0,626$
5.	50	A ₁ = 1,175	C _{t1} = 21,750	C _t /C ₀₍₁₎ = 0,870
		A ₂ = 1,174	C _{t2} = 21,732	C _t /C ₀₍₂₎ = 0,869
		A ₃ = 1,172	C _{t3} = 21,696	C _t /C ₀₍₃₎ = 0,867
		$\bar{x} = 1,173$	$\bar{x} = 21,726$	$\bar{x} = 0,869$

Lampiran 5.3 Hasil Fotokatalisis

Tabel 5.3 Analisis Cu/TNT 3% terhadap Fotokatalisis NBB

No.	Waktu (menit)	Absorbansi (t)	C _t (mg/L)	C _t /C ₀	% Degradasi
1.	30	A ₁ : 0,933	C _{t1} : 17,350	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,694	%D ₍₁₎ : 30,596
		A ₂ : 0,931	C _{t2} : 17,314	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,692	%D ₍₂₎ : 30,741
		A ₃ : 0,939	C _{t3} : 17,460	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,698	%D ₍₃₎ : 30,160
		Rata : 0,934	Rata : 17,375	Rata : 0,695	Rata : 30,494
2.	60	A ₁ : 0,654	C _{t1} : 12,278	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,491	%D ₍₁₎ : 50,887
		A ₂ : 0,656	C _{t2} : 12,314	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,492	%D ₍₂₎ : 50,741
		A ₃ : 0,652	C _{t3} : 12,241	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,489	%D ₍₃₎ : 51,032
		Rata : 0,654	Rata : 12,278	Rata : 0,491	Rata : 50,887
3.	90	A ₁ : 0,650	C _{t1} : 12,205	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,488	%D ₍₁₎ : 51,178
		A ₂ : 0,647	C _{t2} : 12,150	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,486	%D ₍₂₎ : 51,396
		A ₃ : 0,646	C _{t3} : 12,132	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,485	%D ₍₃₎ : 51,469
		Rata : 0,647	Rata : 12,163	Rata : 0,486	Rata : 51,347
4.	120	A ₁ : 0,637	C _{t1} : 11,969	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,478	%D ₍₁₎ : 52,123
		A ₂ : 0,634	C _{t2} : 11,914	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,476	%D ₍₂₎ : 52,341
		A ₃ : 0,64	C _{t3} : 12,023	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,480	%D ₍₃₎ : 52,905
		Rata : 0,637	Rata : 11,969	Rata : 0,478	Rata : 52,123
5.	150	A ₁ : 0,630	C _{t1} : 11,841	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,473	%D ₍₁₎ : 52,632
		A ₂ : 0,631	C _{t2} : 11,860	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,474	%D ₍₂₎ : 52,560
		A ₃ : 0,627	C _{t3} : 11,787	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,471	%D ₍₃₎ : 52,850
		Rata : 0,629	Rata : 11,829	Rata : 0,473	Rata : 52,681
4.	180	A ₁ : 0,623	C _{t1} : 11,714	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,468	%D ₍₁₎ : 53,141
		A ₂ : 0,622	C _{t2} : 11,696	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,467	%D ₍₂₎ : 53,214
		A ₃ : 0,621	C _{t3} : 11,678	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,467	%D ₍₃₎ : 53,287
		Rata : 0,622	Rata : 11,696	Rata : 0,467	Rata : 53,214



Gambar 5.2 Grafik C_t/C_0 Variasi %Massa terhadap NBB

Lampiran 5.4 Hasil Variasi pH

Tabel 5.4 Panjang gelombang dan absorbansi NBB 25 ppm

Panjang Gelombang	Absorbansi		
	A ₁	A ₂	A ₃
700.0	0.032	0.026	0.032
699.0	0.034	0.028	0.034
698.0	0.036	0.029	0.036
697.0	0.038	0.032	0.038
696.0	0.040	0.034	0.041
695.0	0.042	0.037	0.043
694.0	0.045	0.039	0.046
693.0	0.048	0.042	0.049
692.0	0.051	0.045	0.052
691.0	0.055	0.048	0.055
690.0	0.059	0.052	0.058
689.0	0.063	0.056	0.062
688.0	0.068	0.060	0.067
687.0	0.073	0.065	0.073
686.0	0.078	0.070	0.079
685.0	0.083	0.076	0.084
684.0	0.089	0.081	0.089
683.0	0.094	0.087	0.094
682.0	0.100	0.092	0.100
681.0	0.107	0.099	0.107
680.0	0.115	0.107	0.115
679.0	0.124	0.115	0.124
678.0	0.134	0.125	0.134
677.0	0.144	0.134	0.143
676.0	0.153	0.143	0.153
675.0	0.163	0.152	0.162
674.0	0.173	0.162	0.172
673.0	0.183	0.172	0.183
672.0	0.195	0.183	0.195
671.0	0.208	0.196	0.208
670.0	0.223	0.211	0.223
669.0	0.240	0.227	0.240
668.0	0.258	0.244	0.257
667.0	0.275	0.261	0.275
666.0	0.292	0.277	0.292
665.0	0.310	0.294	0.309
664.0	0.327	0.310	0.326
663.0	0.346	0.328	0.345

662.0	0.366	0.348	0.365
661.0	0.388	0.370	0.388
660.0	0.413	0.394	0.413
659.0	0.441	0.421	0.440
658.0	0.469	0.448	0.469
657.0	0.497	0.475	0.497
656.0	0.524	0.502	0.524
655.0	0.551	0.527	0.551
654.0	0.577	0.552	0.576
653.0	0.603	0.578	0.603
652.0	0.632	0.605	0.632
651.0	0.664	0.636	0.663
650.0	0.698	0.669	0.698
649.0	0.735	0.704	0.734
648.0	0.772	0.740	0.771
647.0	0.808	0.775	0.807
646.0	0.841	0.807	0.841
645.0	0.872	0.837	0.872
644.0	0.902	0.865	0.901
643.0	0.931	0.894	0.931
642.0	0.962	0.923	0.961
641.0	0.994	0.954	0.993
640.0	1.027	0.987	1.027
639.0	1.061	1.020	1.061
638.0	1.095	1.052	1.095
637.0	1.125	1.082	1.126
636.0	1.153	1.108	1.153
635.0	1.178	1.132	1.177
634.0	1.200	1.153	1.199
633.0	1.220	1.173	1.220
632.0	1.240	1.192	1.240
631.0	1.260	1.212	1.260
630.0	1.279	1.230	1.279
629.0	1.297	1.248	1.297
628.0	1.313	1.263	1.313
627.0	1.327	1.276	1.327
626.0	1.338	1.287	1.338
625.0	1.347	1.296	1.347
624.0	1.354	1.303	1.354
623.0	1.360	1.309	1.360
622.0	1.365	1.314	1.365
621.0	1.369	1.317	1.369

620.0	1.372	1.320	1.371
619.0	1.374	1.322	1.373
618.0	1.374	1.322	1.373
617.0	1.373	1.322	1.373
616.0	1.372	1.321	1.372
615.0	1.370	1.319	1.370
614.0	1.368	1.317	1.368
613.0	1.365	1.314	1.365
612.0	1.362	1.311	1.361
611.0	1.358	1.308	1.357
610.0	1.354	1.303	1.353
609.0	1.349	1.299	1.349
608.0	1.345	1.294	1.344
607.0	1.340	1.290	1.340
606.0	1.336	1.286	1.335
605.0	1.332	1.282	1.332
604.0	1.328	1.279	1.328
603.0	1.325	1.275	1.324
602.0	1.321	1.271	1.320
601.0	1.317	1.267	1.316
600.0	1.313	1.263	1.312
599.0	1.309	1.259	1.308
598.0	1.304	1.255	1.303
597.0	1.300	1.251	1.299
596.0	1.296	1.248	1.295
595.0	1.292	1.244	1.292
594.0	1.289	1.240	1.288
593.0	1.285	1.236	1.284
592.0	1.280	1.231	1.279
591.0	1.275	1.226	1.274
590.0	1.268	1.220	1.268
589.0	1.261	1.214	1.260
588.0	1.254	1.206	1.253
587.0	1.246	1.199	1.245
586.0	1.238	1.191	1.237
585.0	1.230	1.183	1.230
584.0	1.222	1.175	1.222
583.0	1.213	1.167	1.212
582.0	1.203	1.157	1.202
581.0	1.192	1.147	1.191
580.0	1.179	1.134	1.178
579.0	1.165	1.121	1.164

578.0	1.150	1.106	1.150
577.0	1.136	1.092	1.135
576.0	1.122	1.079	1.121
575.0	1.108	1.066	1.107
574.0	1.094	1.053	1.094
573.0	1.080	1.040	1.080
572.0	1.065	1.025	1.065
571.0	1.049	1.010	1.049
570.0	1.032	0.993	1.032
569.0	1.014	0.976	1.013
568.0	0.995	0.958	0.995
567.0	0.978	0.941	0.977
566.0	0.961	0.925	0.961
565.0	0.946	0.910	0.946
564.0	0.932	0.897	0.931
563.0	0.917	0.883	0.917
562.0	0.902	0.868	0.902
561.0	0.886	0.853	0.886
560.0	0.869	0.836	0.869
559.0	0.852	0.820	0.852
558.0	0.835	0.804	0.835
557.0	0.820	0.789	0.820
556.0	0.806	0.775	0.805
555.0	0.793	0.763	0.792
554.0	0.780	0.751	0.780
553.0	0.768	0.739	0.768
552.0	0.755	0.727	0.755
551.0	0.742	0.714	0.742
550.0	0.728	0.700	0.728
549.0	0.714	0.687	0.714
548.0	0.700	0.673	0.700
547.0	0.687	0.661	0.687
546.0	0.676	0.650	0.675
545.0	0.665	0.639	0.665
544.0	0.655	0.630	0.654
543.0	0.645	0.620	0.644
542.0	0.634	0.609	0.634
541.0	0.622	0.598	0.622
540.0	0.610	0.587	0.610
539.0	0.598	0.575	0.598
538.0	0.586	0.563	0.585
537.0	0.574	0.552	0.574

536.0	0.564	0.542	0.563
535.0	0.554	0.532	0.554
534.0	0.545	0.524	0.545
533.0	0.536	0.515	0.536
532.0	0.526	0.506	0.526
531.0	0.516	0.496	0.516
530.0	0.504	0.485	0.504
529.0	0.493	0.474	0.493
528.0	0.482	0.463	0.482
527.0	0.472	0.453	0.472
526.0	0.462	0.444	0.462
525.0	0.454	0.436	0.454
524.0	0.446	0.429	0.446
523.0	0.438	0.421	0.438
522.0	0.430	0.413	0.430
521.0	0.422	0.405	0.422
520.0	0.413	0.397	0.413
519.0	0.404	0.388	0.404
518.0	0.396	0.380	0.396
517.0	0.388	0.372	0.388
516.0	0.381	0.365	0.381
515.0	0.375	0.359	0.375
514.0	0.369	0.354	0.369
513.0	0.364	0.349	0.364
512.0	0.358	0.344	0.359
511.0	0.353	0.339	0.353
510.0	0.347	0.333	0.347
509.0	0.342	0.328	0.342
508.0	0.337	0.323	0.337
507.0	0.332	0.318	0.332
506.0	0.328	0.315	0.328
505.0	0.325	0.311	0.325
504.0	0.321	0.308	0.322
503.0	0.318	0.305	0.319
502.0	0.316	0.303	0.316
501.0	0.313	0.299	0.313
500.0	0.309	0.296	0.309
499.0	0.306	0.293	0.306
498.0	0.303	0.290	0.303
497.0	0.301	0.288	0.301
496.0	0.298	0.286	0.298
495.0	0.296	0.283	0.296

494.0	0.294	0.282	0.294
493.0	0.292	0.279	0.292
492.0	0.289	0.277	0.290
491.0	0.287	0.275	0.287
490.0	0.285	0.273	0.285
489.0	0.283	0.270	0.283
488.0	0.280	0.268	0.280
487.0	0.278	0.266	0.279
486.0	0.277	0.264	0.277
485.0	0.275	0.263	0.275
484.0	0.274	0.262	0.274
483.0	0.272	0.261	0.272
482.0	0.271	0.259	0.271
481.0	0.270	0.258	0.270
480.0	0.269	0.257	0.269
479.0	0.268	0.256	0.268
478.0	0.267	0.256	0.267
477.0	0.267	0.255	0.267
476.0	0.267	0.255	0.267
475.0	0.266	0.255	0.267
474.0	0.267	0.255	0.267
473.0	0.267	0.255	0.267
472.0	0.267	0.255	0.267
471.0	0.268	0.256	0.268
470.0	0.268	0.257	0.268
469.0	0.269	0.257	0.269
468.0	0.270	0.258	0.270
467.0	0.271	0.259	0.271
466.0	0.272	0.260	0.272
465.0	0.273	0.261	0.274
464.0	0.275	0.263	0.275
463.0	0.276	0.264	0.276
462.0	0.278	0.265	0.278
461.0	0.279	0.266	0.279
460.0	0.280	0.268	0.281
459.0	0.282	0.269	0.282
458.0	0.284	0.271	0.284
457.0	0.285	0.272	0.285
456.0	0.287	0.274	0.287
455.0	0.288	0.275	0.288
454.0	0.289	0.276	0.289
453.0	0.290	0.277	0.290

452.0	0.291	0.278	0.291
451.0	0.291	0.279	0.292
450.0	0.292	0.279	0.292
449.0	0.292	0.279	0.293
448.0	0.292	0.279	0.293
447.0	0.292	0.279	0.292
446.0	0.292	0.279	0.292
445.0	0.291	0.278	0.292
444.0	0.291	0.278	0.291
443.0	0.290	0.277	0.291
442.0	0.289	0.276	0.289
441.0	0.288	0.275	0.288
440.0	0.287	0.274	0.287
439.0	0.285	0.272	0.285
438.0	0.284	0.271	0.284
437.0	0.282	0.269	0.282
436.0	0.281	0.268	0.281
435.0	0.280	0.267	0.280
434.0	0.279	0.266	0.279
433.0	0.278	0.265	0.278
432.0	0.277	0.264	0.277
431.0	0.276	0.263	0.276
430.0	0.275	0.262	0.275
429.0	0.274	0.261	0.274
428.0	0.273	0.260	0.273
427.0	0.272	0.259	0.273
426.0	0.272	0.259	0.272
425.0	0.271	0.258	0.272
424.0	0.271	0.258	0.271
423.0	0.271	0.258	0.271
422.0	0.271	0.258	0.271
421.0	0.271	0.258	0.271
420.0	0.271	0.258	0.271
419.0	0.271	0.258	0.272
418.0	0.272	0.259	0.272
417.0	0.273	0.260	0.273
416.0	0.274	0.261	0.274
415.0	0.275	0.262	0.276
414.0	0.277	0.263	0.277
413.0	0.279	0.265	0.279
412.0	0.281	0.267	0.281
411.0	0.284	0.270	0.284

410.0	0.287	0.273	0.287
409.0	0.290	0.276	0.291
408.0	0.294	0.280	0.294
407.0	0.297	0.283	0.298
406.0	0.300	0.286	0.300
405.0	0.303	0.288	0.303
404.0	0.305	0.290	0.305
403.0	0.307	0.292	0.307
402.0	0.308	0.293	0.309
401.0	0.309	0.294	0.310
400.0	0.310	0.295	0.310

Tabel 5.5 Data Panjang Gelombang dan Absorbansi Semua Variasi pH

Panjang Gelombang	25 ppm	pH 2	pH 3	pH 4	pH 5	pH 8
700.0	0.030	0.017	0.011	0.012	0.021	0.015
699.0	0.032	0.018	0.011	0.012	0.021	0.016
698.0	0.034	0.019	0.012	0.013	0.022	0.017
697.0	0.036	0.020	0.013	0.014	0.023	0.018
696.0	0.038	0.021	0.014	0.015	0.025	0.020
695.0	0.041	0.023	0.016	0.017	0.026	0.021
694.0	0.043	0.024	0.017	0.018	0.027	0.022
693.0	0.046	0.025	0.018	0.019	0.029	0.023
692.0	0.049	0.027	0.020	0.021	0.030	0.025
691.0	0.052	0.028	0.021	0.022	0.032	0.026
690.0	0.056	0.030	0.022	0.024	0.033	0.029
689.0	0.060	0.032	0.025	0.026	0.035	0.030
688.0	0.065	0.034	0.027	0.028	0.037	0.033
687.0	0.070	0.037	0.029	0.030	0.040	0.035
686.0	0.076	0.039	0.031	0.032	0.042	0.038
685.0	0.081	0.042	0.034	0.035	0.045	0.040
684.0	0.086	0.045	0.037	0.038	0.048	0.043
683.0	0.092	0.047	0.04	0.040	0.050	0.046
682.0	0.097	0.050	0.042	0.043	0.053	0.049
681.0	0.104	0.054	0.045	0.047	0.057	0.052
680.0	0.112	0.057	0.049	0.050	0.060	0.056
679.0	0.121	0.061	0.052	0.054	0.064	0.060
678.0	0.131	0.065	0.056	0.057	0.068	0.065
677.0	0.140	0.069	0.06	0.062	0.072	0.069
676.0	0.150	0.074	0.065	0.066	0.077	0.074

675.0	0.159	0.079	0.07	0.071	0.082	0.079
674.0	0.169	0.084	0.075	0.076	0.087	0.084
673.0	0.179	0.090	0.08	0.082	0.093	0.089
672.0	0.191	0.096	0.086	0.087	0.098	0.095
671.0	0.204	0.102	0.092	0.093	0.104	0.102
670.0	0.219	0.108	0.098	0.100	0.111	0.108
669.0	0.235	0.115	0.104	0.106	0.117	0.116
668.0	0.253	0.122	0.111	0.113	0.124	0.124
667.0	0.270	0.130	0.119	0.121	0.132	0.132
666.0	0.287	0.138	0.127	0.129	0.140	0.141
665.0	0.304	0.147	0.136	0.138	0.149	0.150
664.0	0.321	0.157	0.145	0.147	0.158	0.159
663.0	0.339	0.166	0.154	0.157	0.168	0.168
662.0	0.360	0.177	0.164	0.167	0.178	0.178
661.0	0.382	0.187	0.174	0.177	0.188	0.189
660.0	0.407	0.198	0.185	0.188	0.199	0.201
659.0	0.434	0.209	0.196	0.199	0.210	0.214
658.0	0.462	0.221	0.207	0.210	0.222	0.227
657.0	0.490	0.233	0.219	0.223	0.234	0.241
656.0	0.517	0.246	0.232	0.235	0.247	0.254
655.0	0.543	0.260	0.245	0.249	0.260	0.267
654.0	0.568	0.274	0.258	0.262	0.274	0.280
653.0	0.595	0.288	0.272	0.276	0.288	0.294
652.0	0.623	0.303	0.286	0.291	0.302	0.308
651.0	0.654	0.317	0.301	0.305	0.317	0.324
650.0	0.688	0.333	0.315	0.320	0.332	0.340
649.0	0.725	0.348	0.33	0.335	0.347	0.357
648.0	0.761	0.364	0.345	0.351	0.362	0.375
647.0	0.797	0.379	0.361	0.366	0.378	0.392
646.0	0.829	0.395	0.376	0.382	0.394	0.408
645.0	0.860	0.411	0.391	0.398	0.409	0.423
644.0	0.890	0.427	0.407	0.413	0.425	0.438
643.0	0.919	0.442	0.422	0.428	0.440	0.453
642.0	0.949	0.457	0.436	0.443	0.455	0.468
641.0	0.980	0.472	0.451	0.458	0.469	0.484
640.0	1.014	0.487	0.465	0.473	0.484	0.499
639.0	1.048	0.501	0.479	0.487	0.498	0.515
638.0	1.080	0.515	0.492	0.501	0.512	0.530
637.0	1.111	0.529	0.506	0.515	0.525	0.545
636.0	1.138	0.542	0.518	0.528	0.538	0.558
635.0	1.162	0.554	0.53	0.540	0.550	0.570
634.0	1.184	0.565	0.541	0.551	0.561	0.581

633.0	1.204	0.576	0.551	0.561	0.572	0.591
632.0	1.224	0.586	0.561	0.571	0.581	0.600
631.0	1.244	0.595	0.569	0.580	0.590	0.61
630.0	1.263	0.603	0.578	0.588	0.598	0.618
629.0	1.281	0.611	0.585	0.596	0.606	0.627
628.0	1.296	0.618	0.592	0.603	0.613	0.634
627.0	1.310	0.624	0.598	0.609	0.619	0.640
626.0	1.321	0.63	0.603	0.614	0.625	0.646
625.0	1.330	0.634	0.608	0.619	0.629	0.650
624.0	1.337	0.638	0.612	0.623	0.633	0.653
623.0	1.343	0.641	0.615	0.626	0.636	0.656
622.0	1.348	0.644	0.617	0.628	0.638	0.658
621.0	1.352	0.646	0.619	0.630	0.640	0.660
620.0	1.354	0.647	0.62	0.631	0.641	0.661
619.0	1.356	0.648	0.62	0.632	0.642	0.662
618.0	1.357	0.648	0.621	0.632	0.642	0.662
617.0	1.356	0.648	0.62	0.632	0.642	0.661
616.0	1.355	0.647	0.62	0.631	0.642	0.661
615.0	1.353	0.646	0.619	0.630	0.641	0.660
614.0	1.351	0.645	0.617	0.628	0.640	0.658
613.0	1.348	0.644	0.616	0.627	0.638	0.657
612.0	1.345	0.642	0.614	0.625	0.637	0.655
611.0	1.341	0.641	0.612	0.623	0.635	0.653
610.0	1.337	0.639	0.61	0.621	0.633	0.651
609.0	1.332	0.637	0.608	0.619	0.631	0.649
608.0	1.328	0.635	0.606	0.617	0.629	0.647
607.0	1.323	0.633	0.604	0.615	0.627	0.645
606.0	1.319	0.631	0.602	0.612	0.625	0.643
605.0	1.315	0.629	0.6	0.610	0.623	0.641
604.0	1.312	0.627	0.598	0.608	0.621	0.639
603.0	1.308	0.625	0.595	0.606	0.619	0.637
602.0	1.304	0.623	0.593	0.604	0.618	0.635
601.0	1.300	0.621	0.591	0.602	0.616	0.634
600.0	1.296	0.62	0.589	0.600	0.614	0.632
599.0	1.292	0.618	0.588	0.598	0.613	0.630
598.0	1.288	0.616	0.586	0.596	0.611	0.628
597.0	1.284	0.615	0.584	0.594	0.609	0.626
596.0	1.280	0.613	0.582	0.592	0.607	0.625
595.0	1.276	0.611	0.58	0.590	0.605	0.623
594.0	1.272	0.608	0.578	0.588	0.603	0.621
593.0	1.268	0.606	0.576	0.585	0.601	0.619
592.0	1.264	0.604	0.573	0.583	0.599	0.617

591.0	1.258	0.602	0.571	0.581	0.597	0.614
590.0	1.252	0.599	0.568	0.578	0.594	0.611
589.0	1.245	0.596	0.565	0.575	0.591	0.608
588.0	1.238	0.593	0.562	0.572	0.588	0.604
587.0	1.230	0.59	0.558	0.568	0.585	0.600
586.0	1.222	0.586	0.555	0.565	0.581	0.596
585.0	1.215	0.582	0.551	0.561	0.578	0.592
584.0	1.206	0.578	0.547	0.556	0.573	0.588
583.0	1.197	0.574	0.542	0.552	0.569	0.584
582.0	1.188	0.569	0.537	0.547	0.564	0.579
581.0	1.176	0.564	0.532	0.542	0.559	0.573
580.0	1.164	0.559	0.527	0.537	0.554	0.567
579.0	1.150	0.553	0.522	0.531	0.549	0.560
578.0	1.135	0.547	0.516	0.525	0.543	0.553
577.0	1.121	0.541	0.51	0.519	0.536	0.546
576.0	1.107	0.534	0.503	0.512	0.530	0.539
575.0	1.094	0.527	0.497	0.505	0.523	0.532
574.0	1.081	0.52	0.49	0.499	0.516	0.525
573.0	1.067	0.514	0.483	0.492	0.510	0.518
572.0	1.052	0.507	0.476	0.485	0.503	0.511
571.0	1.036	0.499	0.469	0.478	0.496	0.503
570.0	1.019	0.492	0.462	0.471	0.489	0.495
569.0	1.001	0.485	0.455	0.463	0.481	0.486
568.0	0.983	0.477	0.447	0.456	0.474	0.478
567.0	0.965	0.469	0.44	0.448	0.466	0.469
566.0	0.949	0.461	0.432	0.440	0.458	0.461
565.0	0.934	0.453	0.424	0.432	0.450	0.453
564.0	0.920	0.446	0.417	0.424	0.443	0.446
563.0	0.906	0.438	0.41	0.417	0.435	0.439
562.0	0.891	0.431	0.403	0.410	0.428	0.431
561.0	0.875	0.424	0.396	0.403	0.422	0.424
560.0	0.858	0.417	0.389	0.396	0.415	0.416
559.0	0.841	0.41	0.382	0.389	0.408	0.408
558.0	0.825	0.403	0.375	0.382	0.401	0.400
557.0	0.810	0.396	0.368	0.375	0.394	0.393
556.0	0.795	0.389	0.361	0.368	0.387	0.386
555.0	0.783	0.382	0.355	0.361	0.380	0.379
554.0	0.770	0.375	0.348	0.355	0.373	0.373
553.0	0.758	0.369	0.342	0.348	0.367	0.366
552.0	0.746	0.363	0.336	0.342	0.361	0.360
551.0	0.732	0.357	0.33	0.337	0.355	0.354
550.0	0.719	0.351	0.324	0.331	0.349	0.347

549.0	0.705	0.345	0.319	0.325	0.344	0.341
548.0	0.691	0.34	0.313	0.320	0.338	0.334
547.0	0.678	0.334	0.308	0.314	0.333	0.328
546.0	0.667	0.328	0.302	0.308	0.327	0.323
545.0	0.656	0.322	0.297	0.303	0.321	0.317
544.0	0.646	0.317	0.291	0.297	0.316	0.312
543.0	0.636	0.311	0.286	0.292	0.310	0.307
542.0	0.626	0.306	0.281	0.286	0.305	0.302
541.0	0.614	0.301	0.276	0.281	0.300	0.296
540.0	0.602	0.296	0.271	0.277	0.295	0.290
539.0	0.590	0.291	0.266	0.272	0.290	0.285
538.0	0.578	0.286	0.261	0.267	0.285	0.279
537.0	0.567	0.281	0.256	0.262	0.280	0.273
536.0	0.556	0.276	0.251	0.257	0.275	0.268
535.0	0.547	0.27	0.247	0.252	0.270	0.264
534.0	0.538	0.265	0.242	0.247	0.265	0.259
533.0	0.529	0.26	0.237	0.242	0.260	0.254
532.0	0.519	0.256	0.232	0.237	0.256	0.250
531.0	0.509	0.251	0.228	0.233	0.251	0.245
530.0	0.498	0.246	0.223	0.228	0.246	0.239
529.0	0.487	0.241	0.219	0.224	0.242	0.234
528.0	0.476	0.237	0.214	0.219	0.237	0.229
527.0	0.466	0.232	0.21	0.215	0.232	0.224
526.0	0.456	0.227	0.205	0.210	0.228	0.219
525.0	0.448	0.223	0.201	0.206	0.224	0.215
524.0	0.440	0.219	0.197	0.202	0.219	0.211
523.0	0.433	0.214	0.193	0.197	0.215	0.207
522.0	0.425	0.21	0.189	0.193	0.211	0.203
521.0	0.416	0.206	0.185	0.190	0.207	0.199
520.0	0.408	0.202	0.181	0.186	0.203	0.195
519.0	0.399	0.198	0.178	0.182	0.199	0.191
518.0	0.390	0.194	0.174	0.178	0.196	0.187
517.0	0.383	0.191	0.171	0.175	0.192	0.183
516.0	0.376	0.187	0.167	0.171	0.189	0.18
515.0	0.370	0.184	0.164	0.168	0.185	0.177
514.0	0.364	0.181	0.161	0.165	0.182	0.174
513.0	0.359	0.178	0.159	0.162	0.179	0.171
512.0	0.354	0.175	0.156	0.160	0.177	0.169
511.0	0.348	0.172	0.153	0.157	0.174	0.166
510.0	0.343	0.17	0.151	0.155	0.171	0.163
509.0	0.337	0.168	0.148	0.153	0.169	0.161
508.0	0.332	0.165	0.146	0.150	0.167	0.158

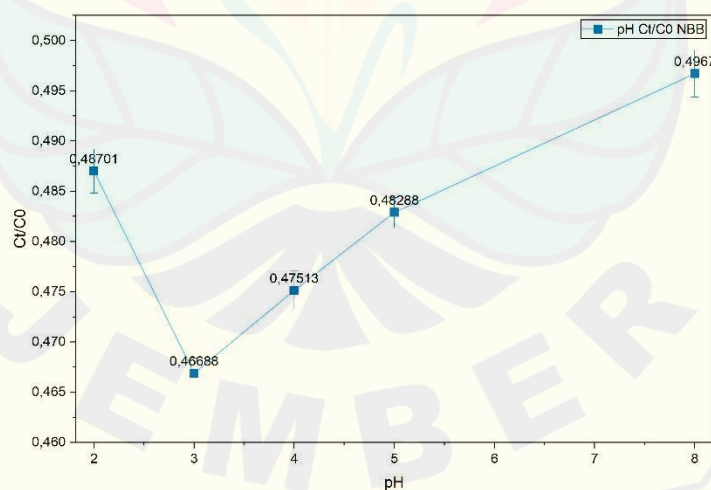
507.0	0.327	0.163	0.144	0.148	0.165	0.156
506.0	0.324	0.161	0.142	0.146	0.162	0.154
505.0	0.320	0.159	0.141	0.144	0.161	0.152
504.0	0.317	0.157	0.139	0.143	0.159	0.151
503.0	0.314	0.155	0.137	0.141	0.157	0.149
502.0	0.311	0.154	0.136	0.140	0.156	0.148
501.0	0.308	0.152	0.135	0.138	0.154	0.146
500.0	0.305	0.151	0.133	0.137	0.153	0.145
499.0	0.302	0.149	0.132	0.135	0.151	0.143
498.0	0.299	0.148	0.131	0.134	0.150	0.142
497.0	0.296	0.147	0.129	0.133	0.149	0.141
496.0	0.294	0.145	0.128	0.132	0.147	0.140
495.0	0.292	0.144	0.127	0.130	0.146	0.139
494.0	0.290	0.143	0.126	0.129	0.145	0.138
493.0	0.288	0.141	0.125	0.128	0.143	0.136
492.0	0.286	0.14	0.124	0.127	0.142	0.135
491.0	0.283	0.139	0.123	0.126	0.141	0.134
490.0	0.281	0.138	0.122	0.125	0.140	0.133
489.0	0.279	0.137	0.121	0.124	0.139	0.132
488.0	0.276	0.136	0.12	0.123	0.138	0.131
487.0	0.274	0.135	0.119	0.122	0.137	0.130
486.0	0.273	0.134	0.118	0.121	0.136	0.129
485.0	0.271	0.133	0.117	0.120	0.135	0.128
484.0	0.270	0.132	0.117	0.119	0.134	0.128
483.0	0.268	0.131	0.116	0.119	0.133	0.127
482.0	0.267	0.13	0.115	0.118	0.133	0.126
481.0	0.266	0.13	0.114	0.118	0.132	0.126
480.0	0.265	0.129	0.114	0.117	0.132	0.125
479.0	0.264	0.129	0.113	0.117	0.131	0.125
478.0	0.263	0.128	0.113	0.116	0.131	0.124
477.0	0.263	0.128	0.113	0.116	0.130	0.124
476.0	0.263	0.128	0.113	0.116	0.130	0.124
475.0	0.263	0.128	0.113	0.116	0.130	0.124
474.0	0.263	0.128	0.113	0.116	0.130	0.124
473.0	0.263	0.128	0.113	0.116	0.130	0.124
472.0	0.263	0.128	0.113	0.116	0.130	0.124
471.0	0.264	0.128	0.113	0.116	0.130	0.124
470.0	0.264	0.128	0.113	0.116	0.130	0.125
469.0	0.265	0.128	0.113	0.116	0.131	0.125
468.0	0.266	0.129	0.114	0.117	0.131	0.125
467.0	0.267	0.129	0.114	0.117	0.131	0.126
466.0	0.268	0.129	0.115	0.118	0.132	0.126

465.0	0.270	0.13	0.115	0.118	0.132	0.127
464.0	0.271	0.13	0.116	0.119	0.133	0.128
463.0	0.272	0.131	0.116	0.119	0.133	0.128
462.0	0.273	0.132	0.117	0.120	0.134	0.129
461.0	0.275	0.132	0.117	0.121	0.135	0.130
460.0	0.276	0.133	0.118	0.121	0.135	0.130
459.0	0.278	0.134	0.119	0.122	0.136	0.131
458.0	0.280	0.134	0.119	0.123	0.137	0.132
457.0	0.281	0.135	0.12	0.123	0.137	0.132
456.0	0.282	0.135	0.12	0.124	0.138	0.133
455.0	0.284	0.136	0.121	0.124	0.138	0.134
454.0	0.285	0.137	0.122	0.125	0.139	0.134
453.0	0.286	0.137	0.122	0.125	0.139	0.135
452.0	0.287	0.137	0.122	0.126	0.140	0.135
451.0	0.287	0.138	0.122	0.126	0.140	0.135
450.0	0.288	0.138	0.123	0.126	0.140	0.135
449.0	0.288	0.138	0.123	0.126	0.140	0.135
448.0	0.288	0.138	0.123	0.126	0.140	0.135
447.0	0.288	0.138	0.123	0.126	0.140	0.135
446.0	0.288	0.138	0.122	0.126	0.140	0.135
445.0	0.287	0.138	0.122	0.126	0.140	0.135
444.0	0.286	0.137	0.122	0.125	0.140	0.134
443.0	0.286	0.137	0.121	0.125	0.139	0.134
442.0	0.285	0.137	0.121	0.124	0.139	0.133
441.0	0.284	0.136	0.12	0.124	0.138	0.133
440.0	0.282	0.136	0.119	0.123	0.138	0.132
439.0	0.281	0.135	0.119	0.122	0.137	0.131
438.0	0.279	0.134	0.118	0.122	0.137	0.130
437.0	0.278	0.134	0.117	0.121	0.136	0.130
436.0	0.277	0.133	0.117	0.120	0.136	0.129
435.0	0.275	0.133	0.116	0.120	0.135	0.128
434.0	0.274	0.132	0.116	0.119	0.135	0.128
433.0	0.273	0.132	0.115	0.118	0.134	0.127
432.0	0.272	0.131	0.114	0.118	0.134	0.126
431.0	0.271	0.131	0.113	0.117	0.133	0.126
430.0	0.271	0.131	0.113	0.117	0.133	0.125
429.0	0.270	0.13	0.112	0.116	0.133	0.125
428.0	0.269	0.13	0.112	0.116	0.133	0.124
427.0	0.268	0.13	0.112	0.116	0.132	0.124
426.0	0.268	0.13	0.111	0.115	0.132	0.124
425.0	0.267	0.13	0.111	0.115	0.132	0.123
424.0	0.267	0.129	0.111	0.115	0.132	0.123

423.0	0.267	0.13	0.111	0.115	0.132	0.123
422.0	0.266	0.129	0.111	0.114	0.132	0.123
421.0	0.266	0.13	0.11	0.114	0.132	0.123
420.0	0.267	0.13	0.11	0.114	0.132	0.123
419.0	0.267	0.13	0.11	0.114	0.132	0.123
418.0	0.268	0.13	0.11	0.114	0.132	0.123
417.0	0.269	0.131	0.11	0.115	0.133	0.123
416.0	0.270	0.131	0.111	0.115	0.134	0.124
415.0	0.271	0.132	0.112	0.116	0.134	0.124
414.0	0.272	0.133	0.112	0.117	0.135	0.125
413.0	0.274	0.134	0.113	0.117	0.137	0.126
412.0	0.277	0.135	0.114	0.118	0.138	0.127
411.0	0.279	0.137	0.115	0.119	0.139	0.128
410.0	0.282	0.138	0.116	0.121	0.140	0.130
409.0	0.286	0.14	0.118	0.121	0.142	0.131
408.0	0.289	0.141	0.119	0.123	0.143	0.133
407.0	0.293	0.143	0.12	0.125	0.145	0.134
406.0	0.295	0.144	0.122	0.126	0.147	0.136
405.0	0.298	0.146	0.123	0.127	0.148	0.137
404.0	0.300	0.147	0.124	0.129	0.149	0.138
403.0	0.302	0.148	0.125	0.130	0.150	0.139
402.0	0.302	0.149	0.126	0.130	0.151	0.140
401.0	0.304	0.149	0.126	0.131	0.152	0.140
400.0	0.305	0.15	0.126	0.131	0.152	0.140

Tabel 5.6 Analisis Variasi pH Larutan NBB terhadap Aktivitas Fotokatalis

No.	pH	Absorbansi (A)	C _t (mg/L)	C _t /C ₀	% Degradasi
1.	2	A ₁ : 0,649	C _{t1} : 12,187	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,487	%D ₍₁₎ : 51,250
		A ₂ : 0,645	C _{t2} : 12,114	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,484	%D ₍₂₎ : 51,541
		A ₃ : 0,651	C _{t3} : 12,223	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,488	%D ₍₃₎ : 51,105
		Rata : 0,648	Rata : 12,175	Rata : 0,487	Rata : 51,299
2.	3	A ₁ : 0,623	C _{t1} : 11,714	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,468	%D ₍₁₎ : 53,141
		A ₂ : 0,620	C _{t2} : 11,660	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,466	%D ₍₂₎ : 53,360
		A ₃ : 0,619	C _{t3} : 11,641	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,465	%D ₍₃₎ : 53,432
		Rata : 0,620	Rata : 11,672	Rata : 0,466	Rata : 53,311
3.	4	A ₁ : 0,635	C _{t1} : 11,932	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,477	%D ₍₁₎ : 52,269
		A ₂ : 0,631	C _{t2} : 11,860	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,474	%D ₍₂₎ : 52,560
		A ₃ : 0,630	C _{t3} : 11,841	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,473	%D ₍₃₎ : 52,632
		Rata : 0,632	Rata : 11,878	Rata : 0,475	Rata : 52,487
4.	5	A ₁ : 0,642	C _{t1} : 12,060	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,482	%D ₍₁₎ : 51,760
		A ₂ : 0,640	C _{t2} : 12,041	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,481	%D ₍₂₎ : 51,832
		A ₃ : 0,645	C _{t3} : 12,114	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,484	%D ₍₃₎ : 51,541
		Rata : 0,642	Rata : 12,072	Rata : 0,482	Rata : 51,711
5.	8	A ₁ : 0,665	C _{t1} : 12,478	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,499	%D ₍₁₎ : 50,087
		A ₂ : 0,663	C _{t2} : 12,441	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,497	%D ₍₂₎ : 50,232
		A ₃ : 0,657	C _{t3} : 12,332	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,493	%D ₍₃₎ : 50,669
		Rata : 0,661	Rata : 12,417	Rata : 0,496	Rata : 50,329

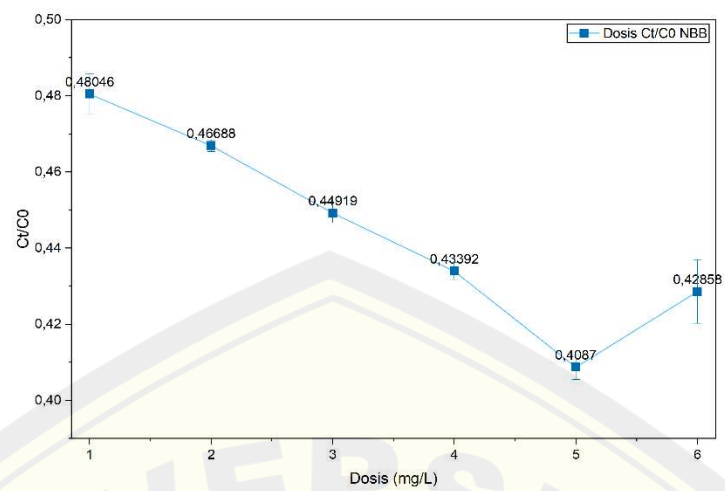
Gambar 5.2 Grafik C_t/C₀ Variasi pH pada Larutan NBB

Lampiran 5.5 Hasil Variasi Dosis

Tabel 5.7 Analisis Variasi Dosis Katalis Cu/TNT terhadap Aktivitas

Fotokatalis

No.	Dosis (g/L)	Absorbansi (t)	C _t (mg/L)	C _t /C ₀	% Degradasi
1.	1	A ₁ : 0,645	C _{t1} : 12,114	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,484	%D ₍₁₎ : 51,541
		A ₂ : 0,642	C _{t2} : 12,060	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,482	%D ₍₂₎ : 51,760
		A ₃ : 0,631	C _{t3} : 11,860	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,474	%D ₍₃₎ : 51,560
		Rata : 0,639	Rata : 12,011	Rata : 0,480	Rata : 51,953
2.	2	A ₁ : 0,619	C _{t1} : 11,641	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,465	%D ₍₁₎ : 53,432
		A ₂ : 0,623	C _{t2} : 11,714	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,468	%D ₍₂₎ : 53,141
		A ₃ : 0,620	C _{t3} : 11,660	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,466	%D ₍₃₎ : 53,360
		Rata : 0,620	Rata : 11,672	Rata : 0,466	Rata : 53,311
3.	3	A ₁ : 0,600	C _{t1} : 11,296	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,451	%D ₍₁₎ : 54,814
		A ₂ : 0,593	C _{t2} : 11,169	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,446	%D ₍₂₎ : 55,323
		A ₃ : 0,596	C _{t3} : 11,223	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,448	%D ₍₃₎ : 55,105
		Rata : 0,596	Rata : 11,229	Rata : 0,449	Rata : 55,081
4.	4	A ₁ : 0,578	C _{t1} : 10,896	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,435	%D ₍₁₎ : 56,414
		A ₂ : 0,576	C _{t2} : 10,860	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,434	%D ₍₂₎ : 56,560
		A ₃ : 0,572	C _{t3} : 10,787	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,431	%D ₍₃₎ : 56,850
		Rata : 0,573	Rata : 10,847	Rata : 0,433	Rata : 56,608
5.	5	A ₁ : 0,545	C _{t1} : 10,296	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,411	%D ₍₁₎ : 58,814
		A ₂ : 0,541	C _{t2} : 10,223	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,408	%D ₍₂₎ : 59,105
		A ₃ : 0,537	C _{t3} : 10,132	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,405	%D ₍₃₎ : 59,469
		Rata : 0,541	Rata : 10,217	Rata : 0,408	Rata : 59,129
6.	6	A ₁ : 0,557	C _{t1} : 10,514	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,420	%D ₍₁₎ : 57,941
		A ₂ : 0,567	C _{t2} : 10,696	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,427	%D ₍₂₎ : 57,214
		A ₃ : 0,580	C _{t3} : 10,932	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,437	%D ₍₃₎ : 56,269
		Rata : 0,568	Rata : 10,714	Rata : 0,428	Rata : 57,141



Gambar 5.3 Grafik C_t/C_o Variasi Dosis pada Larutan NBB

Lampiran 5.6 Hasil Uji Reusabilitas

Tabel 5.8 Data Panjang Gelombang dan Absorbansi Uji Reusabilitas

Panjang Gelombang	Pra Siklus	Siklus 1	Siklus 2	Siklus 3	Siklus 4	Siklus 5	Siklus 6
700.0	0.015	0.025	0.030	0.024	0.027	0.030	0.034
698.0	0.017	0.026	0.031	0.025	0.029	0.032	0.036
696.0	0.018	0.027	0.033	0.026	0.030	0.033	0.037
694.0	0.020	0.029	0.035	0.029	0.032	0.036	0.040
692.0	0.023	0.032	0.037	0.031	0.035	0.039	0.043
690.0	0.025	0.035	0.040	0.034	0.038	0.042	0.046
688.0	0.029	0.038	0.043	0.038	0.042	0.046	0.050
686.0	0.032	0.042	0.047	0.042	0.046	0.050	0.055
684.0	0.037	0.046	0.051	0.046	0.051	0.055	0.060
682.0	0.041	0.051	0.056	0.051	0.056	0.061	0.066
680.0	0.047	0.056	0.061	0.057	0.062	0.067	0.073
678.0	0.053	0.063	0.068	0.064	0.069	0.074	0.081
676.0	0.061	0.07	0.075	0.072	0.077	0.082	0.089
674.0	0.069	0.078	0.083	0.080	0.087	0.092	0.099
672.0	0.078	0.088	0.092	0.090	0.097	0.102	0.111
670.0	0.089	0.098	0.103	0.101	0.108	0.114	0.124
668.0	0.100	0.109	0.114	0.114	0.121	0.128	0.138
666.0	0.113	0.123	0.128	0.128	0.136	0.143	0.154
664.0	0.129	0.138	0.143	0.144	0.153	0.16	0.173
662.0	0.145	0.155	0.159	0.162	0.171	0.179	0.193
660.0	0.163	0.172	0.177	0.181	0.191	0.199	0.215
658.0	0.182	0.192	0.196	0.201	0.212	0.221	0.238
656.0	0.203	0.213	0.217	0.224	0.235	0.245	0.264
654.0	0.226	0.236	0.240	0.248	0.260	0.27	0.292
652.0	0.250	0.26	0.263	0.273	0.286	0.297	0.321
650.0	0.275	0.285	0.288	0.299	0.314	0.325	0.352
648.0	0.300	0.311	0.314	0.327	0.342	0.354	0.384
646.0	0.327	0.337	0.340	0.355	0.371	0.384	0.416
644.0	0.353	0.363	0.366	0.383	0.400	0.414	0.448
642.0	0.379	0.389	0.392	0.410	0.428	0.443	0.480
640.0	0.404	0.414	0.417	0.437	0.456	0.471	0.510
638.0	0.428	0.438	0.441	0.462	0.482	0.498	0.540
636.0	0.450	0.46	0.463	0.486	0.506	0.523	0.567
634.0	0.470	0.48	0.483	0.507	0.528	0.546	0.592
632.0	0.487	0.497	0.501	0.526	0.548	0.566	0.613
630.0	0.501	0.512	0.515	0.541	0.564	0.583	0.631

628.0	0.514	0.524	0.528	0.555	0.578	0.597	0.646
626.0	0.524	0.533	0.537	0.565	0.588	0.608	0.658
624.0	0.530	0.54	0.545	0.572	0.596	0.616	0.666
622.0	0.535	0.545	0.549	0.577	0.602	0.622	0.672
620.0	0.538	0.547	0.552	0.580	0.605	0.625	0.675
618.0	0.538	0.547	0.552	0.581	0.606	0.626	0.675
616.0	0.537	0.546	0.552	0.580	0.605	0.625	0.674
614.0	0.535	0.544	0.550	0.578	0.603	0.623	0.672
612.0	0.533	0.541	0.547	0.575	0.600	0.62	0.668
610.0	0.529	0.538	0.544	0.572	0.596	0.616	0.664
608.0	0.526	0.534	0.540	0.568	0.592	0.612	0.660
606.0	0.522	0.53	0.536	0.564	0.588	0.608	0.655
604.0	0.518	0.526	0.532	0.560	0.584	0.604	0.650
602.0	0.514	0.522	0.529	0.556	0.580	0.599	0.646
600.0	0.511	0.519	0.525	0.552	0.576	0.595	0.641
598.0	0.508	0.515	0.522	0.548	0.572	0.592	0.637
596.0	0.505	0.512	0.518	0.545	0.568	0.588	0.633
594.0	0.501	0.508	0.515	0.541	0.564	0.583	0.629
592.0	0.497	0.504	0.511	0.537	0.560	0.579	0.624
590.0	0.492	0.5	0.506	0.532	0.555	0.574	0.619
588.0	0.487	0.495	0.501	0.526	0.549	0.568	0.612
586.0	0.481	0.489	0.495	0.520	0.542	0.561	0.605
584.0	0.474	0.481	0.488	0.512	0.535	0.553	0.596
582.0	0.466	0.474	0.480	0.504	0.526	0.544	0.586
580.0	0.458	0.465	0.472	0.495	0.517	0.535	0.576
578.0	0.448	0.455	0.462	0.485	0.506	0.524	0.564
576.0	0.438	0.444	0.452	0.474	0.495	0.512	0.551
574.0	0.426	0.433	0.441	0.462	0.483	0.5	0.537
572.0	0.415	0.421	0.430	0.45	0.470	0.487	0.523
570.0	0.403	0.409	0.418	0.437	0.457	0.473	0.508
568.0	0.390	0.397	0.405	0.424	0.443	0.459	0.493
566.0	0.377	0.384	0.392	0.41	0.429	0.445	0.477
564.0	0.365	0.371	0.380	0.397	0.415	0.43	0.462
562.0	0.353	0.359	0.368	0.384	0.402	0.417	0.447
560.0	0.341	0.347	0.356	0.372	0.389	0.404	0.433
558.0	0.329	0.335	0.345	0.359	0.376	0.391	0.418
556.0	0.318	0.324	0.333	0.347	0.364	0.378	0.405
554.0	0.307	0.312	0.323	0.335	0.351	0.365	0.391
552.0	0.296	0.302	0.312	0.325	0.340	0.354	0.379
550.0	0.287	0.292	0.303	0.314	0.329	0.343	0.367
548.0	0.277	0.283	0.293	0.304	0.319	0.332	0.356
546.0	0.268	0.273	0.284	0.294	0.309	0.322	0.344

544.0	0.258	0.264	0.275	0.285	0.299	0.312	0.333
542.0	0.250	0.255	0.267	0.275	0.289	0.302	0.323
540.0	0.241	0.247	0.258	0.266	0.280	0.292	0.312
538.0	0.233	0.239	0.250	0.257	0.270	0.283	0.302
536.0	0.225	0.23	0.241	0.248	0.261	0.273	0.292
534.0	0.216	0.222	0.233	0.24	0.252	0.264	0.282
532.0	0.209	0.214	0.225	0.231	0.243	0.255	0.272
530.0	0.201	0.206	0.218	0.223	0.235	0.246	0.263
528.0	0.193	0.199	0.211	0.215	0.227	0.237	0.254
526.0	0.186	0.191	0.203	0.208	0.219	0.229	0.245
524.0	0.179	0.184	0.196	0.2	0.211	0.221	0.236
522.0	0.172	0.177	0.189	0.193	0.203	0.213	0.228
520.0	0.165	0.171	0.182	0.186	0.196	0.206	0.220
518.0	0.159	0.164	0.177	0.179	0.189	0.199	0.212
516.0	0.153	0.159	0.171	0.173	0.183	0.192	0.206
514.0	0.148	0.153	0.166	0.168	0.177	0.187	0.199
512.0	0.144	0.149	0.161	0.163	0.172	0.181	0.194
510.0	0.140	0.145	0.157	0.158	0.168	0.176	0.189
508.0	0.136	0.141	0.153	0.154	0.163	0.172	0.184
506.0	0.132	0.137	0.150	0.15	0.159	0.168	0.180
504.0	0.129	0.134	0.147	0.147	0.156	0.164	0.176
502.0	0.127	0.131	0.144	0.144	0.153	0.161	0.173
500.0	0.124	0.129	0.141	0.142	0.150	0.158	0.170
498.0	0.122	0.127	0.139	0.139	0.148	0.156	0.167
496.0	0.120	0.125	0.137	0.137	0.145	0.154	0.164
494.0	0.118	0.123	0.135	0.135	0.143	0.151	0.162
492.0	0.116	0.121	0.133	0.133	0.141	0.149	0.160
490.0	0.114	0.119	0.131	0.131	0.139	0.147	0.158
488.0	0.113	0.117	0.130	0.129	0.137	0.145	0.156
486.0	0.111	0.116	0.128	0.127	0.135	0.143	0.153
484.0	0.110	0.114	0.126	0.126	0.134	0.141	0.152
482.0	0.108	0.113	0.125	0.124	0.132	0.14	0.150
480.0	0.108	0.112	0.125	0.123	0.132	0.139	0.149
478.0	0.107	0.111	0.124	0.123	0.131	0.139	0.149
476.0	0.107	0.111	0.124	0.123	0.131	0.138	0.148
474.0	0.107	0.111	0.124	0.122	0.130	0.138	0.148
472.0	0.107	0.111	0.124	0.122	0.131	0.138	0.148
470.0	0.107	0.112	0.124	0.123	0.131	0.139	0.149
468.0	0.108	0.112	0.125	0.123	0.132	0.139	0.149
466.0	0.108	0.113	0.126	0.124	0.132	0.14	0.150
464.0	0.109	0.114	0.126	0.125	0.133	0.141	0.151
462.0	0.110	0.115	0.127	0.126	0.134	0.142	0.152

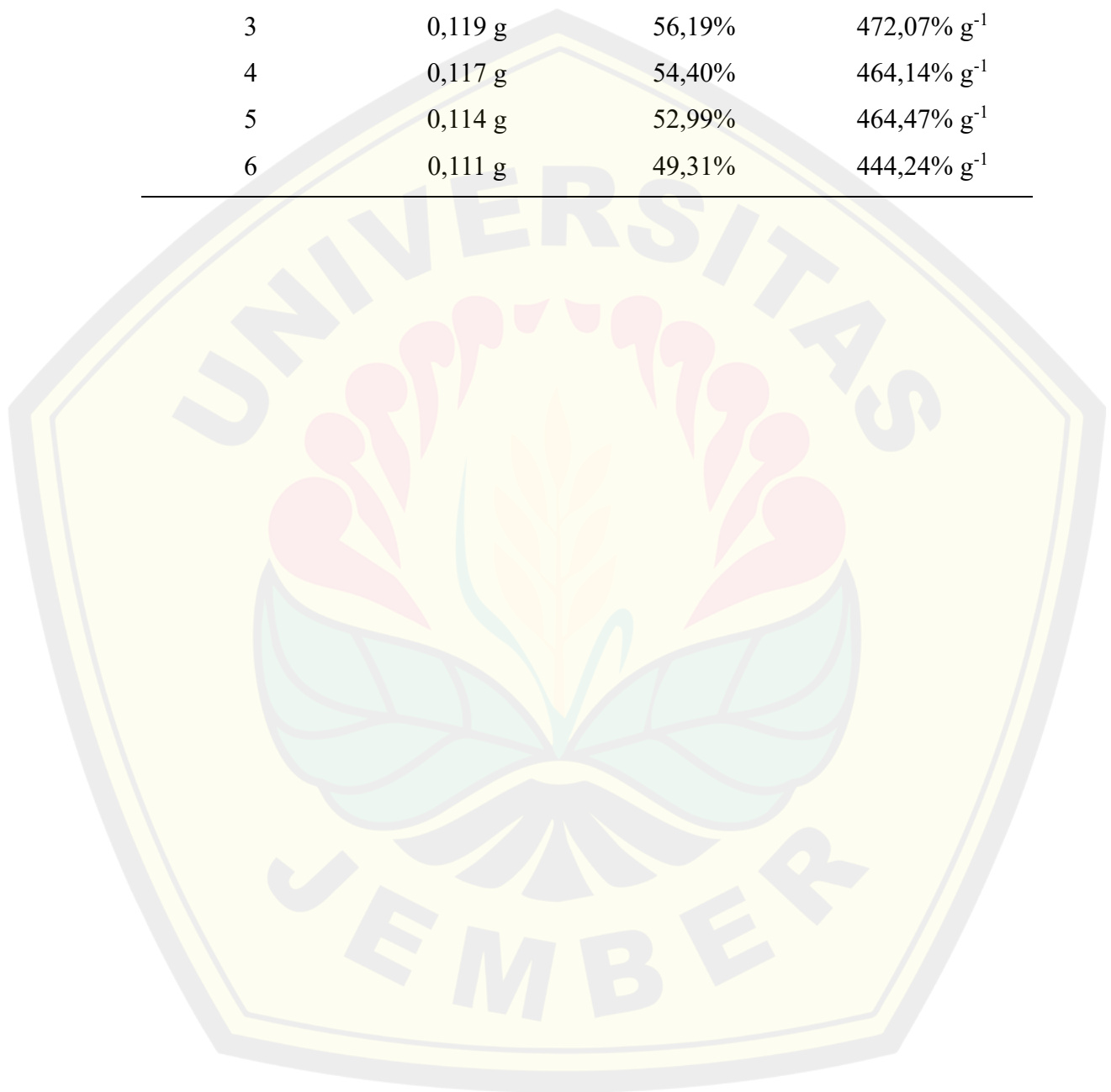
460.0	0.112	0.116	0.129	0.127	0.136	0.143	0.153
458.0	0.113	0.117	0.130	0.128	0.137	0.145	0.154
456.0	0.114	0.118	0.131	0.13	0.138	0.146	0.156
454.0	0.115	0.119	0.132	0.131	0.139	0.147	0.157
452.0	0.115	0.119	0.132	0.131	0.140	0.148	0.158
450.0	0.116	0.12	0.133	0.132	0.140	0.148	0.158
448.0	0.116	0.12	0.133	0.132	0.141	0.148	0.158
446.0	0.116	0.119	0.133	0.132	0.140	0.148	0.158
444.0	0.115	0.119	0.133	0.131	0.140	0.148	0.158
442.0	0.115	0.118	0.132	0.13	0.139	0.147	0.157
440.0	0.114	0.117	0.131	0.129	0.138	0.146	0.155
438.0	0.113	0.116	0.130	0.128	0.137	0.145	0.154
436.0	0.111	0.114	0.129	0.127	0.136	0.143	0.153
434.0	0.111	0.113	0.128	0.126	0.135	0.142	0.152
432.0	0.110	0.112	0.127	0.125	0.134	0.141	0.151
430.0	0.109	0.111	0.127	0.125	0.133	0.141	0.150
428.0	0.108	0.111	0.126	0.124	0.132	0.14	0.150
426.0	0.108	0.11	0.126	0.123	0.132	0.14	0.149
424.0	0.107	0.109	0.126	0.123	0.132	0.139	0.149
422.0	0.107	0.109	0.126	0.123	0.131	0.139	0.149
420.0	0.107	0.109	0.126	0.123	0.131	0.139	0.149
418.0	0.107	0.109	0.126	0.123	0.132	0.14	0.149
416.0	0.108	0.109	0.127	0.124	0.133	0.141	0.150
414.0	0.109	0.11	0.128	0.125	0.134	0.142	0.152
412.0	0.111	0.112	0.130	0.127	0.136	0.144	0.154
410.0	0.113	0.113	0.132	0.129	0.138	0.146	0.156
408.0	0.115	0.116	0.134	0.132	0.141	0.149	0.159
406.0	0.117	0.118	0.137	0.134	0.143	0.152	0.162
404.0	0.119	0.119	0.139	0.136	0.145	0.154	0.164
402.0	0.121	0.12	0.140	0.138	0.146	0.155	0.166
400.0	0.122	0.121	0.141	0.139	0.147	0.156	0.167

Tabel 5.9 Analisis Uji Reusabilitas

No.	Siklus	Absorbansi (t)	C _t (mg/L)	C _t /C ₀	% Degradasi
1.	0	A ₁ : 0,545	C _{t1} : 10,296	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,411	%D ₍₁₎ : 58,814
		A ₂ : 0,541	C _{t2} : 10,223	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,408	%D ₍₂₎ : 59,105
		A ₃ : 0,536	C _{t3} : 10,132	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,405	%D ₍₃₎ : 59,469
		Rata : 0,540	Rata : 10,217	Rata : 0,408	Rata : 59,129
2.	1	A ₁ : 0,550	C _{t1} : 10,387	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,415	%D ₍₁₎ : 58,450
		A ₂ : 0,547	C _{t2} : 10,332	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,413	%D ₍₂₎ : 58,669
		A ₃ : 0,545	C _{t3} : 10,296	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,411	%D ₍₃₎ : 58,814
		Rata : 0,547	Rata : 10,338	Rata : 0,413	Rata : 58,664
3.	2	A ₁ : 0,551	C _{t1} : 10,405	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,416	%D ₍₁₎ : 58,378
		A ₂ : 0,550	C _{t2} : 10,387	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,415	%D ₍₂₎ : 58,450
		A ₃ : 0,556	C _{t3} : 10,496	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,419	%D ₍₃₎ : 58,014
		Rata : 0,552	Rata : 10,429	Rata : 0,417	Rata : 58,281
4.	3	A ₁ : 0,575	C _{t1} : 10,841	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,433	%D ₍₁₎ : 56,632
		A ₂ : 0,583	C _{t2} : 10,987	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,439	%D ₍₂₎ : 56,050
		A ₃ : 0,585	C _{t3} : 11,023	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,440	%D ₍₃₎ : 55,905
		Rata : 0,581	Rata : 10,950	Rata : 0,438	Rata : 56,196
5.	4	A ₁ : 0,602	C _{t1} : 11,332	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,453	%D ₍₁₎ : 54,669
		A ₂ : 0,609	C _{t2} : 11,460	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,458	%D ₍₂₎ : 54,160
		A ₃ : 0,606	C _{t3} : 11,405	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,456	%D ₍₃₎ : 54,378
		Rata : 0,605	Rata : 11,399	Rata : 0,455	Rata : 54,402
6.	5	A ₁ : 0,626	C _{t1} : 11,769	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,470	%D ₍₁₎ : 52,923
		A ₂ : 0,624	C _{t2} : 11,732	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,469	%D ₍₂₎ : 52,069
		A ₃ : 0,625	C _{t3} : 11,750	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,470	%D ₍₃₎ : 52,996
		Rata : 0,625	Rata : 11,750	Rata : 0,470	Rata : 52,996
7.	6	A ₁ : 0,683	C _{t1} : 12,805	C _t /C ₀₍₁₎ : 0,512	%D ₍₁₎ : 48,778
		A ₂ : 0,680	C _{t2} : 12,750	C _t /C ₀₍₂₎ : 0,510	%D ₍₂₎ : 48,996
		A ₃ : 0,664	C _{t3} : 12,46	C _t /C ₀₍₃₎ : 0,498	%D ₍₃₎ : 50,160
		Rata : 0,675	Rata : 12,672	Rata : 0,506	Rata : 49,311

Tabel 5.10 Hasil Pengurangan Massa Uji Reusabilitas

Siklus	Massa	%Removal	%Removal/Massa
Pra Siklus	0,125 g	59,12%	473,03% g ⁻¹
1	0,123 g	58,64%	476,28% g ⁻¹
2	0,121 g	58,28%	480,39% g ⁻¹
3	0,119 g	56,19%	472,07% g ⁻¹
4	0,117 g	54,40%	464,14% g ⁻¹
5	0,114 g	52,99%	464,47% g ⁻¹
6	0,111 g	49,31%	444,24% g ⁻¹



Tabel 5.11 Hasil Penelitian dengan Pewarna NBB

No.	Fotokatalis	Metode Sintesis	Jenis Lampu	pH	Dosis	Lama Penyinaran	%Degradasi	Reuse	Referensi
1.	RGO/NT (Reduced Graphene Oxide/N-doped TiO ₂)	Hidrotermal	UV	4, 5, 6, 7, 8, 9 optimum pH 5	10-60 mg optimum 60 mg	0-120 menit optimum 15 menit	90%	5 Siklus	Utami <i>et al.</i> , 2023
2.	Ce-Fe-TiO ₂ (TFC; Fe ₂ O ₃ -CeO ₂ /TiO ₂)	Sol Gel	Empat lampu UV-C 25 W (200–280 nm)	3, 7, 11 optimum pH 3	-	0-330 menit optimum 260 menit	89,13%	-	Suhan <i>et al.</i> , 2025
3.	Fe, TiO ₂ , Fe-doped TiO ₂	Sonikasi	Lampu UV-C Philips 4 W, 256 nm	2-10 optimum pH 2	0,2-5 g/L optimum Fe 3 g/L dan TiO ₂ 4 g/L	60 menit	-	-	Reddy <i>et al.</i> , 2016
4.	Cu/TNT	Hidrotermal	Lampu Hannosch 100 W	2, 3, 4, 5, dan 8 optimum pH 3	1, 2, 3, 4, 5, dan 6 g/L	0-180 menit optimum 60 menit	59,15%	5 siklus	Penelitian ini