



TESIS - CL 235401

PENGGUNAAN METODE FOTOKATALISIS DALAM PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI HASIL PERIKANAN

DESANTY PRIHASTYA NINGRUM
6014222003

DOSEN PEMBIMBING
Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D.

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2024



TESIS - CL 235401

**PENGGUNAAN METODE FOTOKATALISIS DALAM
PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI HASIL
PERIKANAN**

DESANTY PRIHASTYA NINGRUM
6014222003

DOSEN PEMBIMBING
Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D.

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2024



THESIS - CL 235401

PHOTOCATALYSIS METHOD IN WASTEWATER TREATMENT OF FISHERY PRODUCTS INDUSTRY

DESANTY PRIHASTYA NINGRUM
6014222003

SUPERVISOR
Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D.

MASTER STUDY ENVIRONMENTAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL, PLANNING, AND GEO ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2024

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DESANTY PRIHASTYA NINGRUM

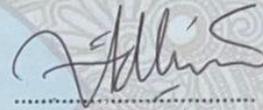
NRP. 6014222003

Tanggal Ujian: 16 Juli 2024

Periode Wisuda: September 2024

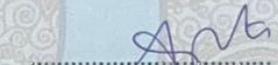
Disetujui oleh:
Pembimbing:

1. Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph. D.
NIP. 19730601 200003 1 001



Penguji:

1. Prof. Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.
NIP. 19820804 200501 1 001
2. Ervin Nurhayati, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 1980201712041
3. Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScES.
NIP. 19540824 198403 1 001



Kepala Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

 **Dr. Eng. Arie Dipareza Syafe'i, S.T., MEPM**
NIP. 19820119 200501 1 001



KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah dan hidayah-Nya sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Tesis yang berjudul "Penggunaan Metode Fotokatalisis dalam Pengolahan Air Limbah Industri Hasil Perikanan" dibuat untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan dalam Program Studi Magister Teknik Lingkungan ITS. Dalam penulisan tesis ini, Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak antara lain:

1. Bapak Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing Penulis serta selalu memberi nasihat, saran dan masukan yang tiada hentinya kepada Penulis.
2. Bapak Prof. Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D. selaku dosen penguji 1 dan Ibu Ervin Nurhayati, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen penguji 2 yang telah memberikan Penulis saran dan masukan serta ilmu yang bermanfaat bagi Penulis.
3. Bapak Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES selaku dosen penguji tamu yang telah memberikan Penulis saran dan masukan yang sangat bermanfaat.
4. Kedua orang tua dan adik yang selalu memberikan dukungan, semangat dan selalu mendoakan Penulis sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.

Surabaya, Juli 2024

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PENGGUNAAN METODE FOTOKATALISIS DALAM PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI HASIL PERIKANAN

Nama : Desanty Prihastya Ningrum
NRP : 6014222003
Pembimbing : Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Perkembangan industri yang semakin pesat untuk mendukung kebutuhan hidup manusia, salah satunya dalam industri makanan yang berupa pengolahan ikan di Sentra Ikan Bulak Surabaya. Sentra Ikan Bulak Surabaya memiliki IPAL yang terdiri dari bak penampung, bak pengendap dan biofilter. Metode fotokatalisis yang digunakan dalam penelitian berfungsi untuk meringankan beban organik yang terkandung dalam air limbah sebelum dialirkan menuju unit biofilter. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan massa senyawa ZnO dan TiO₂, waktu dan intensitas penyinaran yang optimum untuk menurunkan parameter BOD, COD dan NH₄ dalam limbah cair industri hasil perikanan serta penentuan kinetika kimia.

Pada metode fotokatalisis yang menggunakan senyawa ZnO dan TiO₂ memiliki massa masing-masing 1 g, 1,5 g dan 2 g. Kemudian terdapat variabel intensitas penyinaran sebesar 732±5,17 μW/cm², 743±3,56 μW/cm² dan 849±1,92 μW/cm² serta variabel waktu penyinaran selama 8 jam yang dilakukan sampling pada setiap jamnya. Setelah itu akan dilakukan analisa hasil dan pembahasan yang digunakan untuk menjawab tujuan penelitian.

Proses fotokatalisis menggunakan ZnO diketahui dapat menurunkan kandungan BOD, COD dan NH₄ sebesar 27%, 31% dan 35%. Sedangkan proses fotokatalisis menggunakan TiO₂ diketahui dapat menurunkan kandungan BOD, COD dan NH₄ sebesar 62%, 66% dan 79%. Proses fotokatalisis yang terjadi cenderung mengacu pada model kinetika kimia orde 0 yang berarti laju reaksi tidak bergantung pada konsentrasi ZnO dan TiO₂.

Kata kunci: metode fotokatalisis, ZnO, TiO₂, limbah cair industri hasil perikanan, kinetika kimia

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PHOTOCATALYSIS METHOD IN WASTEWATER TREATMENT OF FISHERY PRODUCTS INDUSTRY

By : Desanty Prihastya Ningrum
Student Identity Number : 6014222003
Supervisor : Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

The development of the industry is increasingly rapid to support the needs of human life, one of which is in the food industry in the form of fish processing at the Bulak Fish Center Surabaya. The Bulak Fish Center Surabaya has a WWTP consisting of a storage tank, a settling tank and a biofilter. The photocatalysis method used in the study serves to remove the organic load contained in the wastewater before it is flowed to the biofilter unit. In addition, this study aims to determine the mass of ZnO and TiO₂ compounds, the optimal irradiation time and irradiation intensity to reduce the parameters of BOD, COD and NH₄ in the wastewater of the fishery processing industry and also determination of chemical kinetics.

In the photocatalysis method using ZnO and TiO₂ compounds, they have masses of 1 g, 1.5 g and 2 g, respectively. In addition, there are also irradiation intensity variables of $732 \pm 5,17 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $743 \pm 3,56 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ and $849 \pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ with irradiation time variables of 8 hours which were sampled at each hour. After that, the results will be analyzed and discussed to answer the research objectives.

The photocatalysis process using ZnO is known to reduce BOD, COD and NH₄ by 27%, 31% and 35%. Meanwhile, the photocatalysis process using TiO₂ is known to reduce BOD, COD and NH₄ by 62%, 66% and 79%. The photocatalysis process that occurs tends to refer to the zero-order chemical kinetics model, which means that the reaction rate does not depend on the concentration of ZnO and TiO₂.

Keywords: photocatalysis method, ZnO, TiO₂, fish products wastewater, chemical kinetics

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	5
2.1 Limbah cair industri hasil perikanan	5
2.2 Proses Fotokatalisis	6
2.4.1 Seng Oksida (ZnO)	7
2.4.2 Titanium Oksida (TiO ₂).....	9
2.3 Kinetika Kimia	11
2.5.1 Reaksi Orde 0 (Nol)	11
2.5.2 Reaksi Orde 1 (Satu)	12
2.5.3 Reaksi Orde 2 (Dua).....	13
2.4 Penelitian Terdahulu	14
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Lokasi dan Pengambilan Sampel	17
3.2 Kerangka Penelitian	17
3.3 Studi Literatur.....	18
3.4 Ide Penelitian	19
3.5 Persiapan Alat dan Bahan.....	19
3.5.1 Persiapan Rangkaian Reaktor	19
3.5.2 Persiapan Alat dan Bahan Penelitian.....	20
3.6 Penelitian Pendahuluan	21
3.7 Penelitian Utama	21

3.8	Hasil dan Pembahasan	22
3.9	Kesimpulan dan Saran	23
3.10	Rancangan Percobaan	23
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1	Penelitian Pendahuluan	29
4.2	Metode Fotokatalisis ZnO dan TiO ₂ pada Limbah Cair Pengolahan Hasil Perikanan	29
4.2.1	Perubahan pH	31
4.2.2	Penyisihan <i>Ammonium</i> (NH ₄)	34
4.2.3	Penyisihan <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	40
4.2.4	Penyisihan <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	46
4.3	Pengaplikasian Metode Fotokatalisis dalam Pengolahan Air Limbah Hasil Industri Perikanan	53
4.4	Analisis Pengaruh Massa ZnO dan TiO ₂ , Waktu Penyinaran dan Intensitas Penyinaran terhadap Penurunan Konsentrasi NH ₄ , BOD dan COD	53
4.4.1	Pengaruh Massa ZnO dan TiO ₂	54
4.4.2	Pengaruh Waktu Penyinaran	55
4.4.3	Pengaruh Intensitas Penyinaran	56
BAB 5	KESIMPULAN	59
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran	59
	DAFTAR PUSTAKA	61
	LAMPIRAN	67
	BIOGRAFI PENULIS	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Panjang Gelombang Sinar UV-C	6
Gambar 2.2 Senyawa Seng Oksida (ZnO)	8
Gambar 2.3 Struktur Kristal ZnO.....	8
Gambar 2.4 Senyawa Titanium Oksida (TiO ₂)	9
Gambar 2.5 Fase Kristal TiO ₂	9
Gambar 2.6 Perbedaan Struktur Anatase dan Rutile	10
Gambar 2.7 Prinsip Semikonduktor Fotokatalisis	10
Gambar 2.8 Gafik Reaksi Orde 0 (Nol)	12
Gambar 2.9 Gafik Reaksi Orde 1 (Satu)	13
Gambar 2.10 Gafik Reaksi Orde 2 (Dua).....	13
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	18
Gambar 3.2 Dimensi Reaktor.....	20
Gambar 3.3 Desain Reaktor Penelitian	20
Gambar 3.4 Desain Reaktor Penelitian (2)	20
Gambar 3.5 Desain Reaktor Penelitian (3)	20
Gambar 4.1 Proses Fotokatalisis	30
Gambar 4.2 Nilai pH dalam Fotokatalisis menggunakan ZnO	31
Gambar 4.3 Nilai pH dalam Fotokatalisis menggunakan TiO ₂	33
Gambar 4.4 Konsentrasi NH ₄ dalam Fotokatalisis menggunakan ZnO	34
Gambar 4.5 Kemampuan ZnO dalam Mengadsorpsi NH ₄	35
Gambar 4.6 Konsentrasi NH ₄ dalam Fotokatalisis menggunakan TiO ₂	37
Gambar 4.7 Kemampuan TiO ₂ dalam Mengadsorpsi NH ₄	38
Gambar 4.8 Konsentrasi BOD dalam Fotokatalisis menggunakan ZnO	41
Gambar 4.9 Kemampuan ZnO dalam Mengadsorpsi BOD	42
Gambar 4.10 Konsentrasi BOD dalam Fotokatalisis menggunakan TiO ₂	44
Gambar 4.11 Kemampuan TiO ₂ dalam Mengadsorpsi BOD	45
Gambar 4.12 Konsentrasi COD dalam Fotokatalisis menggunakan ZnO	47
Gambar 4.13 Kemampuan ZnO dalam Mengadsorpsi COD	48
Gambar 4.14 Konsentrasi COD dalam Fotokatalisis menggunakan TiO ₂	50
Gambar 4.15 Kemampuan TiO ₂ dalam Mengadsorpsi COD	51

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu.....	14
Tabel 3.1 Metode Analisis Parameter.....	22
Tabel 3.2 Rancangan Percobaan ZnO	23
Tabel 3.3 Rancangan Percobaan TiO ₂	25
Tabel 4.1 Hasil Penelitian Pendahuluan.....	29
Tabel 4.2 Kinetika Reaksi Fotokatalisis ZnO terhadap Penyisihan NH ₄	36
Tabel 4.3 Kinetika Reaksi Fotokatalisis TiO ₂ terhadap Penyisihan NH ₄	39
Tabel 4.4 Kinetika Reaksi Fotokatalisis ZnO terhadap Penyisihan BOD.....	42
Tabel 4.5 Kinetika Reaksi Fotokatalisis TiO ₂ terhadap Penyisihan BOD	45
Tabel 4.6 Kinetika Reaksi Fotokatalisis ZnO terhadap Penyisihan COD.....	49
Tabel 4.7 Kinetika Reaksi Fotokatalisis TiO ₂ terhadap Penyisihan COD	52
Tabel 4.8 Uji Normalitas Massa ZnO dan TiO ₂ terhadap Konsentrasi NH ₄ , BOD dan COD	54
Tabel 4.9 Uji <i>Kruskal-Wallis</i> Pengaruh Massa ZnO dan TiO ₂	54
Tabel 4.10 Uji Normalitas Waktu Penyinaran terhadap Konsentrasi NH ₄ , BOD dan COD	55
Tabel 4.11 Uji <i>Kruskal-Wallis</i> Pengaruh Waktu Penyinaran.....	56
Tabel 4.12 Uji Normalitas Intensitas Penyinaran terhadap Konsentrasi NH ₄ , BOD dan COD	56
Tabel 4.13 Uji <i>Kruskal-Wallis</i> Pengaruh Intensitas Penyinaran	57

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan industri yang semakin pesat dalam pemenuhan kebutuhan manusia, salah satunya yaitu industri pengolahan ikan berupa Sentra Ikan Bulak di Surabaya, Jawa Timur. Konsumsi ikan secara global telah berkembang dari 111 juta ton pada tahun 2004-2006 menjadi 146 juta ton pada tahun 2014-2016 dan akan diperkirakan meningkat hingga 194 juta ton pada tahun 2026. Limbah cair industri hasil perikanan pada umumnya memiliki karakteristik berupa Sulfida, Klor bebas, Minyak dan Lemak, Ammonium (NH_4), padatan terlarut, kekeruhan, serta BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang tinggi (Anh, Shahsavari, Bott, & Ball, 2021). Limbah cair Sentra Ikan Bulak memiliki beberapa parameter yang melebihi batas baku mutu sesuai dengan Baku Mutu Air Limbah untuk Hasil Perikanan. Nilai COD yang dihasilkan sebesar 1616,7 mg/L, BOD yang dihasilkan sebesar 864 mg/L dan NH_4 yang dihasilkan sebesar 1,75 mg/L. Material organik yang terkandung dalam limbah cair industri hasil perikanan cukup tinggi, hal tersebut diakibatkan oleh adanya bagian-bagian dari ikan dan darah ikan yang terkandung dalam air limbah tersebut (Anh, Shahsavari, Bott, & Ball, 2021). Limbah cair industri hasil perikanan dihasilkan oleh kegiatan pemotongan ikan hingga pencucian dan pembersihan perut ikan.

Beberapa metode pengolahan limbah cair industri hasil perikanan dapat digolongkan ke dalam tiga jenis metode pengolahan yaitu secara fisika, kimia dan biologis yang dapat berupa adsorpsi, filtrasi, *ion exchange*, bahkan proses fotokatalisis. Sentra Ikan Bulak memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) berupa bak penampungan, bak pengendapan dan biofilter. Penelitian ini menggunakan metode pengolahan secara fisika dan kimia yang berupa proses fotokatalisis menggunakan sinar UV dengan bantuan senyawa kimia yang bersifat fotokatalisis semi konduktor seperti ZnO , TiO_2 , MnO_2 , WO_x dan $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ (Le

et al., 2022). Penggunaan metode fotokatalisis dalam pengolahan limbah cair industri ikan difungsikan sebagai proses pengolahan sebelum air limbah dialirkan menuju unit biofilter yang digunakan untuk meringankan beban organik sebelum diolah menggunakan biofilter. Senyawa kimia yang digunakan pada penelitian ini yaitu ZnO dan TiO₂ karena bersifat *non-toxic*, harga relatif lebih murah, ramah lingkungan, memiliki kondisi thermal dan rangkaian kimia yang stabil (Upadhyay et al., 2019). Selain itu senyawa TiO₂ dan ZnO memiliki sifat dapat menyerap cahaya pada berbagai spektrum panjang gelombang, hal tersebut disebabkan oleh adanya cacat kisi kristal sehingga terdapat tingkat energi pada celah pita energinya (Mohar, Soewoto, & Garinas, 2021).

Faktor yang memengaruhi kinerja proses fotokatalisis adalah jumlah polutan, jenis katalis, nilai pH, suhu, serta intensitas cahaya yang terdapat dalam lampu UV. Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu faktor paling signifikan yang dapat memengaruhi proses fotokatalisis sebagai pengolahan limbah cair industri hasil perikanan. Hal tersebut dikarenakan pH dapat memengaruhi muatan pada partikel katalis, konduktansi dan pita valensi, sehingga berpengaruh terhadap kemampuan adsorpsi yang terjadi pada proses fotokatalisis (Sujatha, Shantakumar, & Chiampo, 2020). Suhu dan intensitas cahaya memiliki pengaruh yang saling berhubungan karena peningkatan suhu yang stabil dapat diakibatkan oleh intensitas cahaya dari sinar UV yang cukup tinggi. Kenaikan suhu disebabkan oleh pancaran energi foton dari sinar UV yang mampu menembus katalis dan mengenai air limbah (Priantoro & R, 2020).

Metode fotokatalisis merupakan suatu proses konversi energi cahaya menjadi energi kimia dan proses ini menghasilkan radikal hidroksil untuk berinteraksi secara oksidasi dan reduksi. Proses oksidasi dan reduksi akan bereaksi dengan polutan organik yang terdapat dalam air limbah industri pengolahan ikan (Utami, et al., 2023). Metode fotokatalisis dipilih karena memiliki biaya operasional yang lebih murah jika dibandingkan dengan metode *Advanced Oxidation Process* (AOPs) lainnya. Selain itu memiliki tidak membutuhkan metode pengolahan lanjutan dari hasil degradasinya (Annisaputri, Azzah, & Wibisono, 2020), dapat mendegradasi senyawa organik serta mereduksi senyawa anorganik

menjadi komponen sederhana yang aman bagi lingkungan (Wildan & Mutiara, 2019). Sehingga pada penelitian ini akan menggunakan BOD, COD dan NH_4 sebagai polutan yang akan didegradasi oleh senyawa kimia ZnO dan TiO_2 melalui proses fotokatalisis. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menentukan massa senyawa ZnO dan TiO_2 , waktu penyinaran dan intensitas penyinaran yang optimum untuk menurunkan parameter BOD, COD dan NH_4 pada limbah cair industri hasil perikanan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Berapakah massa senyawa ZnO dan TiO_2 yang optimum dalam proses fotokatalisis pada limbah cair industri hasil perikanan?
2. Berapakah lama waktu penyinaran dan intensitas penyinaran yang optimum dalam proses fotokatalisis pada limbah cair industri hasil perikanan?
3. Bagaimanakah kinetika kimia yang terjadi pada proses fotokatalisis limbah cair industri hasil perikanan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis massa senyawa ZnO dan TiO_2 yang optimum untuk menurunkan BOD, COD dan NH_4 pada limbah cair industri hasil perikanan
2. Menganalisis waktu penyinaran dan intensitas penyinaran yang optimum untuk menurunkan BOD, COD dan NH_4 pada limbah cair industri hasil perikanan
3. Menganalisis kinetika kimia yang terjadi pada proses fotokatalisis limbah cair industri hasil perikanan

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai alternatif teknologi untuk mengolah limbah cair hasil industri perikanan yang berada di Sentra Ikan Bulak Surabaya dalam menurunkan senyawa organik.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Sampel diambil dari air limbah pengolahan ikan di Sentra Ikan Bulak, Surabaya
2. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Air, Departemen Teknik Lingkungan ITS dengan sistem *batch*
3. Volume air limbah yang digunakan sebesar 4 L
4. Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu parameter pH, COD, BOD dan *Ammonium* (NH₄)
5. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:
 - a. Senyawa ZnO dan TiO₂ dengan massa masing-masing 1 g, 1,5 g dan 2 g
 - b. Waktu penyinaran selama 8 jam dengan pengambilan sampel setiap jam
 - c. Intensitas penyinaran sebesar $732\pm 5,17 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $743\pm 3,56 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ dan $849\pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Limbah cair industri hasil perikanan

Industri pengolahan ikan merupakan salah satu industri yang sedang berkembang pada saat ini dengan proses produksi yang beragam, sehingga dapat menghasilkan kualitas limbah cair yang berbeda. Limbah cair industri hasil perikanan memiliki kandungan minyak, lemak dan protein yang tinggi dari hasil proses pengolahan ikan meliputi pencucian, fermentasi, *filleting*, hingga pengalengan. Hal tersebut menyebabkan tingginya kandungan *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), serta nutrisi yang terdapat dalam air limbah industri pengolahan ikan (Khalatbari, et al., 2023).

Pengolahan limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan industri pengolahan ikan dapat dilakukan menggunakan berbagai metode seperti fitoremediasi yang mampu menyisihkan kadar TDS, (Widiyanti & Hamidah, 2021). Metode lain yang telah dilakukan oleh Pangestika, et al. (2022) yaitu metode ozonisasi yang mampu menyisihkan kadar TDS, TSS, BOD dan COD, selain itu juga dapat menggunakan metode *electrochemical oxidation* yang mampu menyisihkan kadar COD dan BOD (Souli, et al., 2023).

2.1.1 Ammonium (NH₄)

Ammonium (NH₄) merupakan salah satu senyawa nitrogen dalam air limbah, kemudian secara perlahan diubah menggunakan proses biokimia alami pada kondisi asam. NH₄ dapat ditemukan pada air limbah dengan konsentrasi pH pada rentang 6-8 (Malovanyy, et al., (2019). NH₄ dapat menyebabkan bahaya pada ekosistem perairan apabila memiliki konsentrasi melebihi baku mutu yang ditetapkan (Ngibad, 2019).

2.1.2 Biological Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan parameter yang digunakan untuk menentukan kebutuhan total oksigen oleh mikroorganisme untuk proses

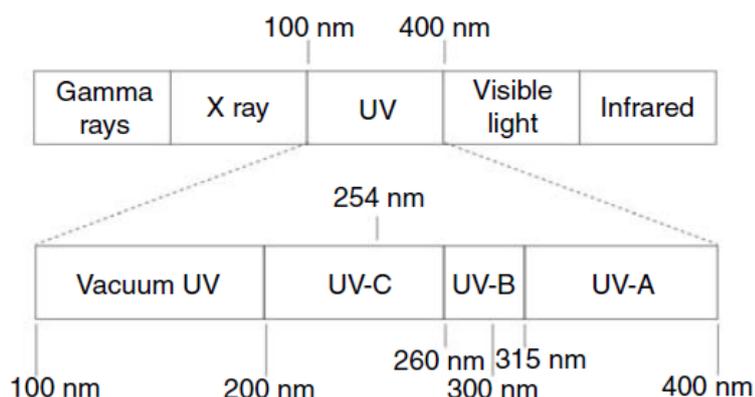
degradasi polutan (Sincero Sr. & Sincero, 2003). Tingkat konsentrasi BOD yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan ekosistem pada perairan, karena kehidupan organisme yang membutuhkan oksigen menjadi terganggu. Selain itu juga dapat mengakibatkan penipisan oksigen yang ada dalam air limbah dan adanya kondisi anaerobik dalam air limbah (Astuti & Rosemalia, 2022).

2.1.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan parameter yang digunakan untuk menentukan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimiawi. Konsentrasi COD dalam air limbah akan bertambah seiring meningkatnya kandungan senyawa organik yang tersedia dalam air limbah. Tingginya konsentrasi COD dapat menyebabkan bahaya bagi lingkungan, karena dapat menurunkan kandungan oksigen terlarut dalam air (Harahap, Amanda, & Matondang, 2020).

2.2 Proses Fotokatalisis

Proses fotokatalisis adalah proses mengubah energi cahaya menjadi energi kimia dan dalam prosesnya akan menghasilkan radikal hidroksil yang akan bereaksi redoks dengan senyawa organik (polutan), sehingga air akan kembali jernih karena terpisahkan dari limbah cair (Sucahya et al., 2016).



Gambar 2.1 Panjang Gelombang Sinar UV-C

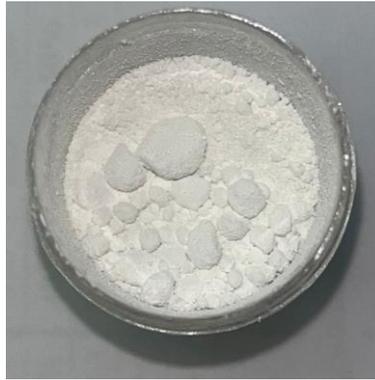
Proses fotokatalisis dapat dipercepat dengan menggunakan bahan yang bersifat fotokatalis, yaitu bahan yang mampu mempercepat reaksi fotokimia. Sinar UV yang digunakan dalam proses fotokatalisis yaitu UV C dengan panjang

gelombang 200 hingga 260 nm (Hammer Sr. & Hammer Jr., 2014). Beberapa senyawa kimia yang memiliki sifat fotokatalisis adalah titanium oksida (TiO_2) dan seng oksida (ZnO), karena memiliki besar energi gap pada rentang yang sama. Selain itu TiO_2 dan ZnO memiliki sifat elektronik, kimia dan optik yang dapat digolongkan ke dalam kategori sangat baik sebagai material fotokatalisis. TiO_2 dan ZnO dapat digolongkan sebagai material fotokatalisis yang sangat baik karena TiO_2 dan ZnO merupakan bahan semikonduktor yang memiliki potensial redoks negatif, serta dapat menghasilkan pasangan *electron hole*. Karakteristik dari ZnO adalah memiliki potensial reduksi dan mobilitas elektron yang tinggi, akan tetapi ZnO memiliki luas permukaan kontak yang rendah jika dibandingkan dengan TiO_2 . Sedangkan karakteristik TiO_2 yaitu memiliki luas permukaan kontak yang lebih besar, akan tetapi memiliki mobilitas elektron yang rendah (Ramadhika, Aprilia, & Safriani, 2021).

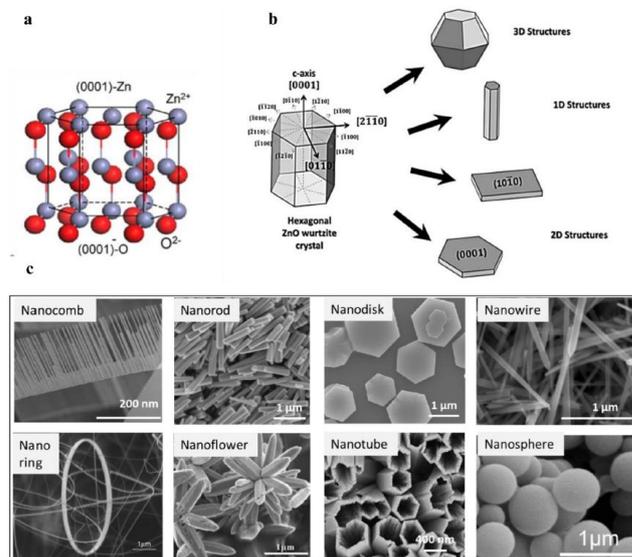
Keunggulan proses fotokatalisis dibandingkan dengan metode *Advanced Oxidation Process* (AOPs) lainnya yaitu biaya yang lebih murah, tidak berbahaya dan memiliki karakteristik yang dapat dimodifikasi melalui teknik doping serta pengurangan ukuran (Mukherjee, et al., 2023). Selain itu keunggulan lain dari metode fotokatalisis adalah metode ini dapat dilakukan menggunakan sumber energi lain yang dapat diperbaharui (*renewable*) seperti cahaya matahari, ramah lingkungan serta berkelanjutan (*sustainable*) (Raizada, Sudhaik, & Singh, 2019).

2.4.1 Seng Oksida (ZnO)

ZnO memiliki energi celah pita (E_g) yang cukup besar hingga 3,37 eV yang hanya dapat diaktifkan melalui sumber cahaya dengan energi yang relatif tinggi seperti sinar UV. Secara umum ketika ZnO dipaparkan dengan sinar UV yang memiliki energi lebih besar dari pita energi, akan menghasilkan pasangan elektron dan lubang. Kemudian akan bereaksi dengan molekul air dan oksigen terlarut serta menghasilkan radikal hidroksil dan radikal superoksida yang dapat digunakan untuk menguraikan polutan organik dalam air limbah (Le, Le, Cheong, & Pung, 2022). Senyawa ZnO yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.2, senyawa ZnO dapat terbentuk dalam tiga struktur kristal yang berbeda yaitu *wurtzite*, *rocksalt* dan *zinc-blend* yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



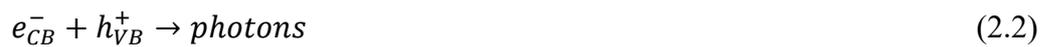
Gambar 2.2 Senyawa Seng Oksida (ZnO)



Gambar 2.3 Struktur Kristal ZnO

Sumber: (Le, Le, Cheong, & Pung, 2022)

Reaksi fotokatalisis yang terjadi pada saat menggunakan senyawa ZnO dapat diuraikan sebagai berikut (Le, Le, Cheong, & Pung, 2022).

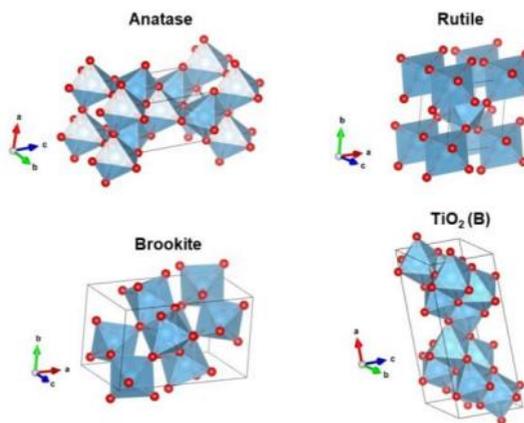


2.4.2 Titanium Oksida (TiO₂)

TiO₂ merupakan semikonduktor oksida berwarna putih yang dapat berada pada 3 fase kristal polimorfik yaitu *rutile*, *anatase* dan *brookite* (Utami, et al., 2023). Fase kristal yang dimiliki oleh TiO₂ dengan keberadaan yang cukup stabil hanya terdapat pada fase *rutile* dan *anatase*. Di sisi lain, terdapat polimorfik lain yaitu TiO₂ (B) yang memiliki sifat yang berbeda serta kinerja fotokatalisis yang berbeda (Eddy, et al., 2023). Senyawa TiO₂ dapat dilihat pada Gambar 2.4 dan fase kristal TiO₂ dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.4 Senyawa Titanium Oksida (TiO₂)

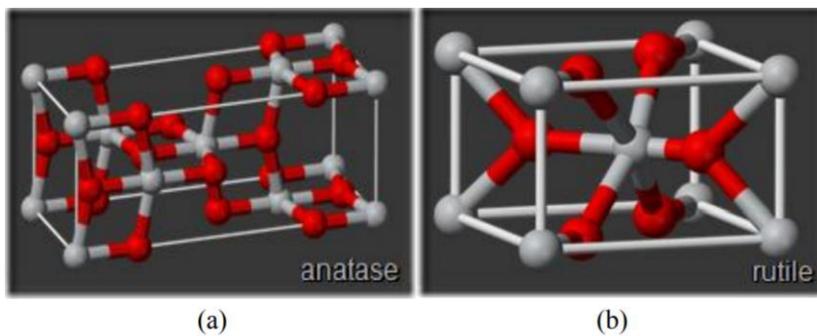


Gambar 2.5 Fase Kristal TiO₂

Sumber: (Eddy, et al., 2023)

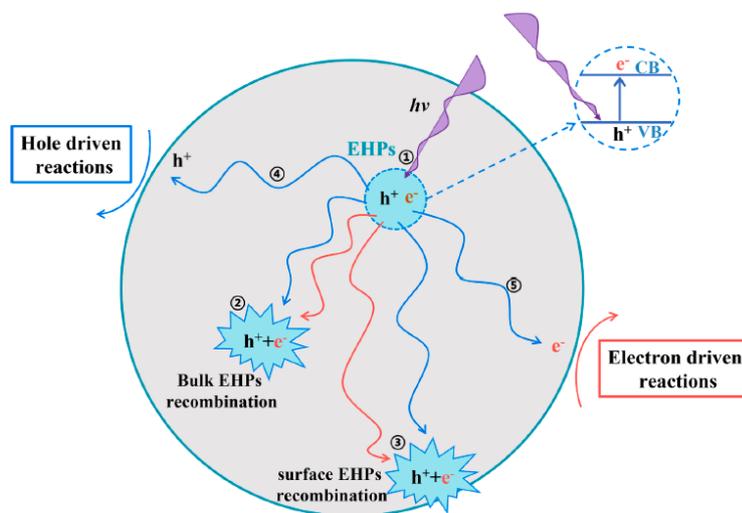
TiO₂ dikenal sebagai senyawa kimia yang memiliki energi celah pita yang besar yaitu sekitar 3,2 eV pada fase *anatase* dan 3,0 eV pada fase *rutile* sehingga

menjadikan TiO₂ sebagai senyawa yang tepat untuk digunakan sebagai material fotokatalisis (Sadikin, et al., 2023). TiO₂ juga memiliki keunggulan lain di antaranya yaitu tingkat kestabilan yang tinggi, tahan terhadap korosi, ketersediaan TiO₂ yang banyak di alam serta memiliki harga yang relatif murah (Adnan, Hidayat, & Meicahayanti, 2021). Selain itu keunggulan dari TiO₂ yaitu memiliki kemampuan absorpsi sinar *ultra-violet* yang tinggi dan tidak beracun (Eddy, et al., 2023). Pada penelitian yang akan dilakukan, menggunakan TiO₂ dengan fase *anatase* karena pada proses fotokatalisis struktur *anatase* lebih aktif jika dibandingkan dengan struktur *rutile* yang disebabkan oleh perbedaan letak distorsi struktur oktahedron (Rizqullah, 2018).



Gambar 2.6 Perbedaan Struktur Anatase dan Rutile

Sumber: (Rizqullah, 2018)



Gambar 2.7 Prinsip Semikonduktor Fotokatalisis

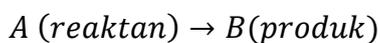
Sumber: (Liang, et al., 2024)

Reaksi fotokatalisis yang terjadi pada saat menggunakan senyawa TiO_2 dapat diuraikan sebagai berikut (Liang, et al., 2024).



2.3 Kinetika Kimia

Kinetika proses digunakan untuk menentukan laju reaksi yang terdapat pada pengolahan air dan air limbah (Hammer Sr. & Hammer Jr., 2014). Reaksi kimia yang terjadi dalam proses pengolahan air limbah dapat berlangsung secara optimal jika memiliki laju reaksi yang bermakna. Laju reaksi dapat ditentukan melalui stoikiometri dan berbasis jumlah mol reaktan yang harus membentuk produk. Definisi dari laju reaksi (r) adalah perubahan konsentrasi reaktan atau produk terhadap waktu, seperti pada persamaan berikut (Masduqi & Assomadi, 2019).



Sehingga diperoleh laju reaksi sebagai berikut.

$$r = -\frac{d[A]}{dt} = -\frac{dC}{dt} = kC^m \quad (2.10)$$

Selain itu penentuan laju reaksi juga dapat ditentukan berbasis kinetika dengan orde reaksi (pangkat reaksi) yang terdiri dari reaksi orde 0 atau 1 atau 2 dan seterusnya (Masduqi & Assomadi, 2019).

2.5.1 Reaksi Orde 0 (Nol)

Suatu reaksi dapat dikatakan sebagai reaksi orde 0 apabila nilai m pada persamaan (2.10) memiliki nilai 0, sehingga reaksi orde 0 memiliki persamaan sebagai berikut.

$$\frac{dC}{dt} = kC^0 = -k \quad (2.11)$$

Jika diintegalkan menjadi:

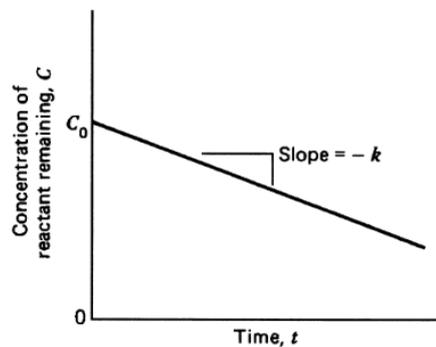
$$C = C_0 - kt \quad (2.12)$$

Dimana,

C = konsentrasi reaktan pada waktu t , mg/L

C_0 = konsentrasi awal reaktan, mg/L

Pada Gambar 2.8 merupakan grafik reaksi orde 0 (nol) dengan nilai *slope* sebesar $-k$ yang disebabkan oleh adanya penurunan konsentrasi reaktan seiring berjalannya waktu (Hammer Sr. & Hammer Jr., 2014).



Gambar 2.8 Grafik Reaksi Orde 0 (Nol)

Sumber: (Hammer Sr. & Hammer Jr., 2014)

2.5.2 Reaksi Orde 1 (Satu)

Reaksi orde 1 berlangsung ketika nilai m pada persamaan (2.10) memiliki nilai 1, sehingga persamaan reaksi orde 1 sebagai berikut (Hammer Sr. & Hammer Jr., 2014).

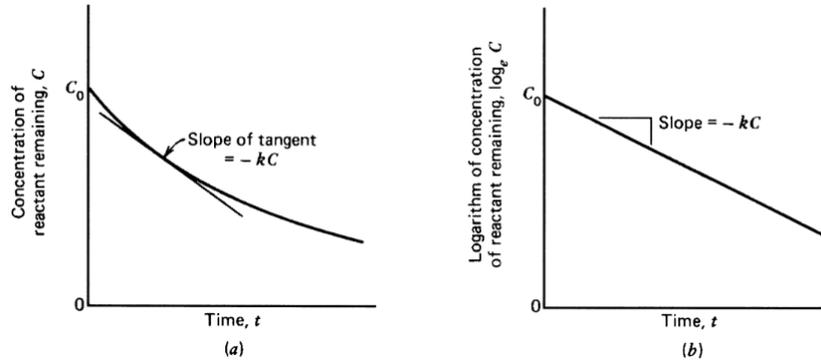
$$\frac{dC}{dt} = -kC \quad (2.13)$$

Jika diintegalkan dengan nilai C sama dengan C_0 dan nilai t sama dengan 0, menjadi:

$$\log_e \frac{C}{C_0} = -kt \text{ atau } C = C_0 e^{-kt} \quad (2.14)$$

Pada Gambar 2.9 merupakan grafik reaksi orde 1 yang menjelaskan bahwa pada grafik (a) dengan nilai *slope* sebesar $-kC$ berarti sejak awal reaksi berjalan, laju reaksi akan menurunkan seiring berkurangnya konsentrasi reaktan yang tersisa.

Sedangkan pada grafik (b) menggambarkan persamaan (2.14) dalam bentuk grafik linier (Hammer Sr. & Hammer Jr., 2014).



Gambar 2.9 Grafik Reaksi Orde 1 (Satu)

Sumber: (Hammer Sr. & Hammer Jr., 2014)

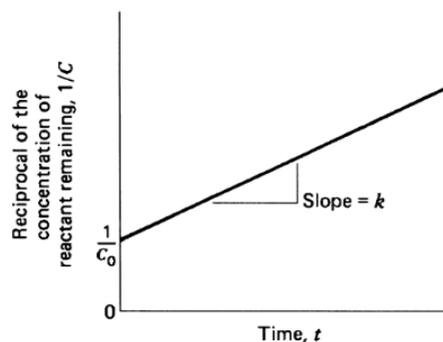
2.5.3 Reaksi Orde 2 (Dua)

Reaksi orde 2 berlangsung ketika m pada persamaan (2.10) memiliki nilai 2, sehingga berikut merupakan persamaan reaksi orde 2 (Hammer Sr. & Hammer Jr., 2014).

$$\frac{dc}{dt} = -kC^2 \quad (2.15)$$

Jika diintegalkan menjadi:

$$\frac{1}{c} - \frac{1}{c_0} = kt \quad (2.16)$$



Gambar 2.10 Grafik Reaksi Orde 2 (Dua)

Sumber: (Hammer Sr. & Hammer Jr., 2014)

Pada Gambar 2.10 merupakan grafik reaksi orde 2 yang menjelaskan bahwa nilai *slope* sebesar k berarti kebalikan dari konsentrasi reaktan yang tersisa seiring berjalannya waktu (Hammer Sr. & Hammer Jr., 2014).

2.4 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang digunakan dalam penelitian tesis ini mengutip dari beberapa jurnal ilmiah yang dirangkum dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Penulis	Judul Penelitian	Metode	Hasil
Ibrahim Abdelfattah, Adel A. Ismail (2023)	<i>Reduction of COD concentration and complete removal of phenol in industrial wastewater utilizing mesoporous TiO₂ nanoparticles under UVA illumination</i>	Penelitian ini mengati tentang proses fotokatalisis menggunakan TiO ₂ NPs yang dilakukan di bawah UVA dalam mendegradasi fenol dan COD pada air limbah industri (farmasi)	Hasil dari penelitian ini adalah proses fotokatalisis menggunakan TiO ₂ NPs dapat menyisihkan massa COD dari 2476 mg/L menjadi 904,6 mg/L, sehingga diperoleh efisiensi penyisihan sebesar 60,4% dalam waktu 140 menit.
Khairun Nisah, Nur Aida, Zarifatul Maufunna (2023)	Uji Efektivitas Pengolahan Air Limbah Tahu dengan Metode Fotodegradasi Menggunakan Fotokatalis TiO ₂	Penelitian ini mengati tentang proses fotokatalisis menggunakan TiO ₂ dengan bantuan sinar matahari dalam mendegradasi BOD, COD, TSS dan fosfat pada limbah tahu	Hasil dari penelitian ini adalah proses fotokatalisis menggunakan TiO ₂ dapat menyisihkan BOD 88,4%, COD 82% dan TSS 88,66% dengan waktu penyinaran selama 8 jam.
Farizky Wahyudi, Wibawa Hendra Saputera, Dwiwahju Sasongko, Hary Devianto (2023)	Studi Pengaruh Konsentrasi Katalis ZnO untuk Degradasi Limbah <i>Palm Oil Mill Effluent</i>	Penelitian ini mengati tentang proses fotokatalisis menggunakan ZnO untuk mendegradasi COD pada limbah	Hasil dari penelitian ini adalah proses fotokatalisis menggunakan ZnO mampu mendegradasi COD hingga 22,85%

Penulis	Judul Penelitian	Metode	Hasil
	(POME) Menggunakan Teknologi Fotokatalitik	<i>Palm Oil Mill Effluent</i> (POME)	
M. Khadik Asrori, Euis Nurul Hidayah, Hendrata Wibisana (2022)	Analisis Kinerja <i>Resin Immobilized Photocatalyst</i> dalam Meningkatkan Kualitas Efluen Limbah Cair	Penelitian ini mengati tentang proses degradasi COD dengan menggunakan senyawa katalis berupa TiO ₂ dan ZnO.	Hasil dari penelitian ini adalah proses fotokatalisis menggunakan ZnO dan TiO ₂ mampu mendegradasi COD hingga 77,89%
Taufiqur Rohman, Azidi Irwan, Zakiyatir Rahmi (2018)	Penurunan Kadar Ammonium dan Fosfat Limbah Cair Tahu secara Foto Katalitik menggunakan TiO ₂ dan H ₂ O ₂	Penelitian ini mengati tentang proses fotokatalisis menggunakan TiO ₂ pada limbah cair tahu yang dilakukan di bawah lampu UV selama 6 jam	Hasil dari penelitian ini adalah proses fotokatalisis menggunakan TiO ₂ mampu menyisihkan Ammonium dengan persentase penyisihan sebesar 83,11%

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

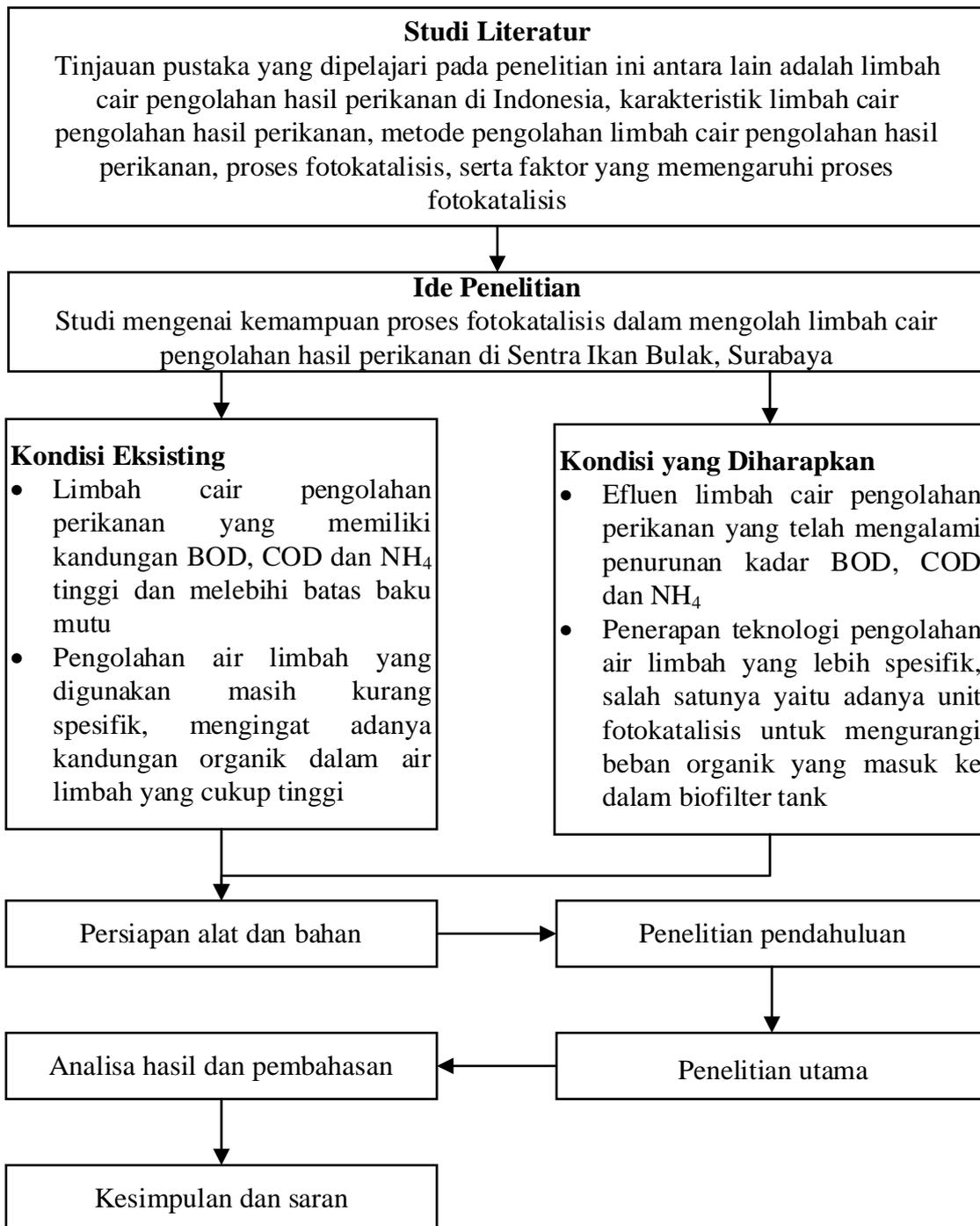
3.1 Lokasi dan Pengambilan Sampel

Lokasi sampling dilakukan di Sentra Ikan Bulak yang merupakan pusat hasil olahan ikan yang berada di Surabaya, Jawa Timur. Sampling air limbah di dilakukan sebanyak 30 L dengan frekuensi pengambilan 2 kali untuk memenuhi kebutuhan penelitian. Metode pengambilan sampel yang digunakan yaitu *grab sampling* dengan tata cara yang sesuai dengan SNI 6989.59:2008 tentang metoda pengambilan contoh air limbah. Metode *grab sampling* merupakan pengambilan sampel yang dilakukan secara sesaat dan pada satu lokasi tertentu menggunakan gayung dan sampel disimpan dalam botol plastik.

3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian merupakan kerangka yang membahas dasar-dasar pemikiran yang akan digunakan pada kegiatan penelitian untuk mencapai tujuan studi yang telah ditetapkan. Tujuan dari kerangka penelitian yaitu untuk memperoleh acuan pelaksanaan pada kegiatan yang akan dilakukan, sehingga tujuan penelitian dapat dicapai dengan baik. Penelitian yang akan dilakukan yaitu pengolahan limbah cair industri hasil perikanan dengan metode fotokatalisis yang memanfaatkan sinar UV serta katalisator berupa ZnO dan TiO₂.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis jumlah massa senyawa ZnO dan TiO₂, waktu penyinaran dan intensitas penyinaran yang optimum untuk menurunkan BOD, COD dan NH₄ pada limbah cair industri hasil perikanan. Kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.3 Studi Literatur

Studi literatur merupakan kegiatan meninjau beberapa materi yang berasal dari jurnal internasional, jurnal nasional, *text book*, dan karya ilmiah lainnya yang bertujuan untuk menambah pemahaman terkait penelitian yang akan dilakukan.

Studi literatur dilakukan ketika sebelum ditemukannya topik penelitian, sehingga peneliti memiliki gambaran untuk melakukan penelitian. Literatur yang akan dipelajari dalam penelitian ini meliputi:

- a. Limbah cair industri hasil perikanan di Indonesia
- b. Karakteristik limbah cair industri hasil perikanan
- c. Metode pengolahan limbah cair industri hasil perikanan
- d. Proses fotokatalisis

3.4 Ide Penelitian

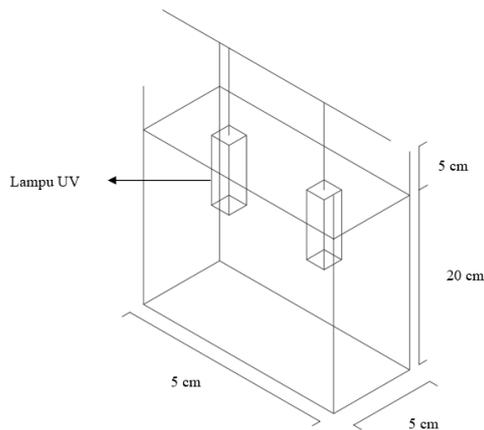
Ide penelitian berasal dari permasalahan yang sedang terjadi pada saat ini dan dibandingkan dengan kondisi ideal sesuai peraturan yang berlaku di Indonesia. Ide penelitian yang diusulkan dari permasalahan ini yaitu pengolahan limbah cair industri hasil perikanan dengan menggunakan metode fotokatalisis yang menggunakan Lampu UV C dengan spesifikasi AUV 03A 3 Watt serta senyawa kimia ZnO dan TiO₂ untuk mengetahui penurunan parameter BOD, COD dan NH₄. Lampu UV C dipilih karena mampu mengaktifkan katalisator yang terdapat pada senyawa ZnO dan TiO₂ serta lampu UV C memiliki energi yang lebih besar jika dibandingkan dengan lampu UV A dan UV B (Ramadhika, Aprilia, & Safriani, 2021). Selain itu juga digunakan waktu penyinaran selama 8 jam untuk mengetahui penyisihan senyawa organik pada setiap jam selama 8 jam.

3.5 Persiapan Alat dan Bahan

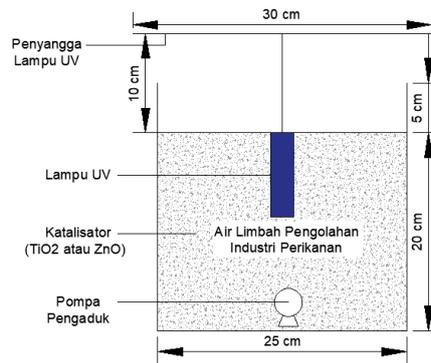
Persiapan alat dan bahan dilakukan untuk menunjang kegiatan penelitian yang terdiri dari persiapan rangkaian reaktor serta persiapan alat dan bahan penelitian. Persiapan alat dan bahan diuraikan sebagai berikut.

3.5.1 Persiapan Rangkaian Reaktor

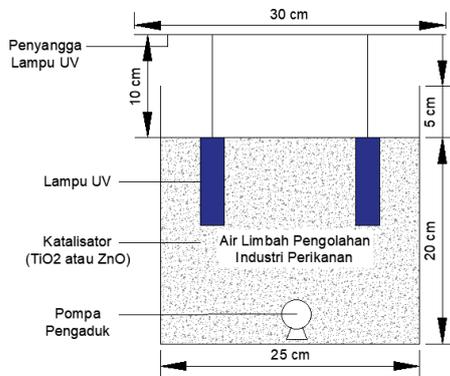
Reaktor yang digunakan terbuat dari kaca dengan tebal 8 mm yang berbentuk balok dengan dimensi panjang 25 cm, lebar 15 cm dan tinggi 25 cm dengan volume air limbah sebesar 4 L seperti pada Gambar 3.2 berikut.



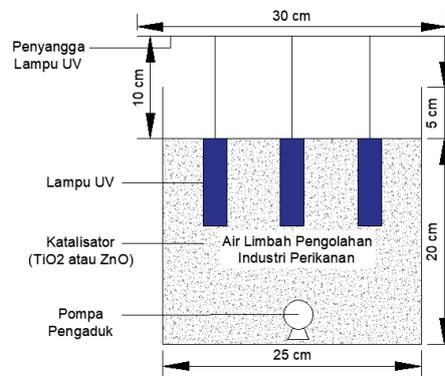
Gambar 3.2 Dimensi Reaktor



Gambar 3.3 Desain Reaktor Penelitian



Gambar 3.4 Desain Reaktor Penelitian (2)



Gambar 3.5 Desain Reaktor Penelitian (3)

Pada Gambar 3.3, Gambar 3.4, dan Gambar 3.5 merupakan desain reaktor penelitian dengan variasi intensitas penyinaran yaitu $732 \pm 5,17 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $743 \pm 3,56 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ dan $849 \pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ yang disertai dengan katalis ZnO dan TiO_2 serta limbah cair industri hasil perikanan.

3.5.2 Persiapan Alat dan Bahan Penelitian

Persiapan alat dan bahan penelitian yang akan digunakan dimulai dari alat untuk pengambilan sampel serta alat dan bahan untuk uji karakteristik. Pelaksanaan proses fotokatalisis dilakukan di Workshop Teknik Lingkungan ITS dan pengujian karakteristik dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Air, Departemen Teknik Lingkungan ITS. Rincian alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu:

Pengambilan Sampel

Alat yang dibutuhkan yaitu:

1. Jerigen 30 L
2. Gelas ukur

Penelitian Utama

Alat:

1. Lampu UV C dengan spesifikasi AUV 03A 3 Watt
2. Reaktor yang terbuat dari kaca 8 mm
3. Pompa pengaduk
4. Aluminium foil

Bahan:

1. Air limbah industri pengolahan ikan
2. Seng oksida (ZnO)
3. Titanium dioksida (TiO₂)

3.6 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan merupakan uji karakteristik awal dari air limbah Sentra Ikan Bulak untuk mengetahui karakteristik awal BOD, COD dan NH₄ yang digunakan sebagai pembanding dalam penentuan persentase efisiensi penyisihan.

3.7 Penelitian Utama

Penelitian yang akan dilakukan menggunakan variabel senyawa katalis ZnO dan TiO₂ dengan massa masing-masing 1 g, 1,5 g dan 2 g, selain itu juga terdapat variabel intensitas penyinaran $732\pm 5,17 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $743\pm 3,56 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ dan $849\pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Kemudian terdapat variabel waktu penyinaran selama 8 jam yang dilakukan sampling pada setiap jamnya dengan volume sampling sebanyak 100 mL untuk variasi intensitas penyinaran $732\pm 5,17 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ dan sebanyak 50 mL untuk variasi penyinaran $743\pm 3,56 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ dan $849\pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Selanjutnya dilakukan analisis parameter untuk membandingkan kualitas limbah cair industri hasil perikanan sebelum diolah dan sesudah diolah. Parameter yang dianalisis yaitu

pH, BOD, COD dan NH₄ pada setiap air limbah yang telah disampling. Metode analisis parameter pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Metode Analisis Parameter

No	Parameter	Satuan	Metode
1	pH	-	SNI 6989.11:2019
2	<i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	mg/L	SNI 6989.72:2009
3	<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	mg/L	SNI 6989.2:2009
4	<i>Ammonium</i> (NH ₄)	mg/L	SNI 06-2479-1991

3.8 Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan merupakan tahapan setelah melakukan penelitian yang kemudian data dari penelitian tersebut dianalisa melalui tahap hasil dan pembahasan. Data yang telah dikumpulkan akan dikaji berdasarkan studi literatur yang ada serta dilakukan kajian mengenai efisiensi penggunaan proses fotokatalisis pada limbah cair industri hasil perikanan. Efisiensi penyisihan dapat digunakan untuk mengetahui persentase penyisihan dari parameter BOD, COD dan NH₄ setelah dilakukan proses fotokatalisis. Efisiensi penyisihan parameter dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$Efisiensi\ penyisihan = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\% \quad (3.1)$$

Keterangan:

C_{in} = Konsentrasi parameter sebelum proses fotokatalisis (mg/L)

C_{out} = Konsentrasi parameter sesudah proses fotokatalisis (mg/L)

Selanjutnya pembahasan akan dilakukan uji statistik menggunakan metode analisis *One Way ANOVA* dengan bantuan *software* SPSS. ANOVA digunakan untuk mengetahui pengaruh dari suatu percobaan menggunakan satu faktor yang memiliki tiga atau lebih kelompok. Berikut merupakan hipotesis dari *One Way ANOVA*.

H₀ = Tidak terdapat pengaruh dari variabel bebas

H₁ = Terdapat pengaruh variabel bebas

Dasar yang digunakan sebagai pengambilan keputusan dari ANOVA yaitu apabila nilai Sig. < 0,05 maka H_0 ditolak dan H_1 diterima, sedangkan apabila nilai Sig. > 0,05 maka H_0 diterima dan H_1 ditolak. ANOVA dapat dilakukan melalui beberapa tahap uji yang digunakan untuk uji asumsi yaitu uji normalitas dan uji homogenitas (Ghozali, 2018).

3.9 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran merupakan tahapan akhir pada saat melakukan penelitian. Kesimpulan adalah jawaban dari tujuan yang telah ditetapkan dan saran merupakan pertimbangan atau masukan yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya. Adapun kesimpulan yang dihasilkan hendaknya meliputi:

1. Massa senyawa ZnO dan TiO₂ yang optimum untuk menurunkan BOD, COD dan NH₄ pada limbah cair industri hasil perikanan
2. Waktu penyinaran dan intensitas penyinaran yang optimum untuk menurunkan BOD, COD dan NH₄ pada limbah cair industri hasil perikanan
3. Kinetika kimia yang terjadi pada proses fotokatalisis limbah cair industri hasil perikanan

3.10 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan ini memiliki variabel berupa jenis dan massa katalis, waktu penyinaran serta intensitas penyinaran untuk mengetahui efektivitas penyisihan senyawa organik pada limbah cair industri hasil perikanan. Kombinasi dari ketiga variabel tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

Tabel 3.2 Rancangan Percobaan ZnO

Variabel Massa Katalis	Variabel Waktu Penyinaran	Variabel Intensitas Penyinaran	Kombinasi Perlakuan
1 g (A1)	1 jam (B1)	732±5,17 μ W/cm ² (C1)	A1 B1 C1
	2 jam (B2)		A1 B2 C1
	3 jam (B3)		A1 B3 C1
	4 jam (B4)		A1 B4 C1
	5 jam (B5)		A1 B5 C1
	6 jam (B6)		A1 B6 C1
	7 jam (B7)		A1 B7 C1
	8 jam (B8)		A1 B8 C1

Variabel Massa Katalis	Variabel Waktu Penyinaran	Variabel Intensitas Penyinaran	Kombinasi Perlakuan
1,5 g (A2)	1 jam (B1)	$743 \pm 3,56 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (C2)	A2 B1 C1
	2 jam (B2)		A2 B2 C1
	3 jam (B3)		A2 B3 C1
	4 jam (B4)		A2 B4 C1
	5 jam (B5)		A2 B5 C1
	6 jam (B6)		A2 B6 C1
	7 jam (B7)		A2 B7 C1
	8 jam (B8)		A2 B8 C1
2 g (A3)	1 jam (B1)		A3 B1 C1
	2 jam (B2)		A3 B2 C1
	3 jam (B3)		A3 B3 C1
	4 jam (B4)		A3 B4 C1
	5 jam (B5)		A3 B5 C1
	6 jam (B6)		A3 B6 C1
	7 jam (B7)		A3 B7 C1
	8 jam (B8)		A3 B8 C1
1 g (A1)	1 jam (B1)		A1 B1 C2
	2 jam (B2)		A1 B2 C2
	3 jam (B3)		A1 B3 C2
	4 jam (B4)		A1 B4 C2
	5 jam (B5)		A1 B5 C2
	6 jam (B6)		A1 B6 C2
	7 jam (B7)		A1 B7 C2
	8 jam (B8)		A1 B8 C2
1,5 g (A2)	1 jam (B1)		A2 B1 C2
	2 jam (B2)		A2 B2 C2
	3 jam (B3)		A2 B3 C2
	4 jam (B4)		A2 B4 C2
	5 jam (B5)		A2 B5 C2
	6 jam (B6)		A2 B6 C2
	7 jam (B7)		A2 B7 C2
	8 jam (B8)		A2 B8 C2
2 g (A3)	1 jam (B1)	A3 B1 C2	
	2 jam (B2)	A3 B2 C2	
	3 jam (B3)	A3 B3 C2	
	4 jam (B4)	A3 B4 C2	
	5 jam (B5)	A3 B5 C2	
	6 jam (B6)	A3 B6 C2	
	7 jam (B7)	A3 B7 C2	
	8 jam (B8)	A3 B8 C2	
1 g (A1)	1 jam (B1)	$849 \pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (C3)	A1 B1 C3
	2 jam (B2)	A1 B2 C3	
	3 jam (B3)	A1 B3 C3	

Variabel Massa Katalis	Variabel Waktu Penyinaran	Variabel Intensitas Penyinaran	Kombinasi Perlakuan
	4 jam (B4)		A1 B4 C3
	5 jam (B5)		A1 B5 C3
	6 jam (B6)		A1 B6 C3
	7 jam (B7)		A1 B7 C3
	8 jam (B8)		A1 B8 C3
1,5 g (A2)	1 jam (B1)		A2 B1 C3
	2 jam (B2)		A2 B2 C3
	3 jam (B3)		A2 B3 C3
	4 jam (B4)		A2 B4 C3
	5 jam (B5)		A2 B5 C3
	6 jam (B6)		A2 B6 C3
	7 jam (B7)		A2 B7 C3
	8 jam (B8)		A2 B8 C3
2 g (A3)	1 jam (B1)		A3 B1 C3
	2 jam (B2)		A3 B2 C3
	3 jam (B3)		A3 B3 C3
	4 jam (B4)		A3 B4 C3
	5 jam (B5)		A3 B5 C3
	6 jam (B6)		A3 B6 C3
	7 jam (B7)		A3 B7 C3
	8 jam (B8)		A3 B8 C3

Tabel 3.3 Rancangan Percobaan TiO₂

Variabel Massa Katalis	Variabel Waktu Penyinaran	Variabel Intensitas Penyinaran	Kombinasi Perlakuan
1 g (A1')	1 jam (B1)	732±5,17 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (C1)	A1' B1 C1
	2 jam (B2)		A1' B2 C1
	3 jam (B3)		A1' B3 C1
	4 jam (B4)		A1' B4 C1
	5 jam (B5)		A1' B5 C1
	6 jam (B6)		A1' B6 C1
	7 jam (B7)		A1' B7 C1
	8 jam (B8)		A1' B8 C1
1,5 g (A2')	1 jam (B1)		A2' B1 C1
	2 jam (B2)		A2' B2 C1
	3 jam (B3)		A2' B3 C1
	4 jam (B4)		A2' B4 C1
	5 jam (B5)		A2' B5 C1
	6 jam (B6)		A2' B6 C1
	7 jam (B7)		A2' B7 C1

Variabel Massa Katalis	Variabel Waktu Penyinaran	Variabel Intensitas Penyinaran	Kombinasi Perlakuan	
	8 jam (B8)		A2' B8 C1	
2 g (A3')	1 jam (B1)		A3' B1 C1	
	2 jam (B2)		A3' B2 C1	
	3 jam (B3)		A3' B3 C1	
	4 jam (B4)		A3' B4 C1	
	5 jam (B5)		A3' B5 C1	
	6 jam (B6)		A3' B6 C1	
	7 jam (B7)		A3' B7 C1	
	8 jam (B8)		A3' B8 C1	
1 g (A1')	1 jam (B1)		A1' B1 C2	
	2 jam (B2)		A1' B2 C2	
	3 jam (B3)		A1' B3 C2	
	4 jam (B4)		A1' B4 C2	
	5 jam (B5)		A1' B5 C2	
	6 jam (B6)		A1' B6 C2	
	7 jam (B7)		A1' B7 C2	
	8 jam (B8)		A1' B8 C2	
1,5 g (A2')	1 jam (B1)	743±3,56 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (C2)	A2' B1 C2	
	2 jam (B2)		A2' B2 C2	
	3 jam (B3)		A2' B3 C2	
	4 jam (B4)		A2' B4 C2	
	5 jam (B5)		A2' B5 C2	
	6 jam (B6)		A2' B6 C2	
	7 jam (B7)		A2' B7 C2	
	8 jam (B8)		A2' B8 C2	
2 g (A3')	1 jam (B1)			A3' B1 C2
	2 jam (B2)			A3' B2 C2
	3 jam (B3)			A3' B3 C2
	4 jam (B4)			A3' B4 C2
	5 jam (B5)			A3' B5 C2
	6 jam (B6)			A3' B6 C2
	7 jam (B7)			A3' B7 C2
	8 jam (B8)			A3' B8 C2
1 g (A1')	1 jam (B1)	849±1,92 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (C3)	A1' B1 C3	
	2 jam (B2)		A1' B2 C3	
	3 jam (B3)		A1' B3 C3	
	4 jam (B4)		A1' B4 C3	
	5 jam (B5)		A1' B5 C3	
	6 jam (B6)		A1' B6 C3	
	7 jam (B7)		A1' B7 C3	
	8 jam (B8)		A1' B8 C3	
1,5 g (A2')	1 jam (B1)		A2' B1 C3	
	2 jam (B2)		A2' B2 C3	

Variabel Massa Katalis	Variabel Waktu Penyinaran	Variabel Intensitas Penyinaran	Kombinasi Perlakuan
	3 jam (B3)		A2' B3 C3
	4 jam (B4)		A2' B4 C3
	5 jam (B5)		A2' B5 C3
	6 jam (B6)		A2' B6 C3
	7 jam (B7)		A2' B7 C3
	8 jam (B8)		A2' B8 C3
2 g (A3')	1 jam (B1)		A3' B1 C3
	2 jam (B2)		A3' B2 C3
	3 jam (B3)		A3' B3 C3
	4 jam (B4)		A3' B4 C3
	5 jam (B5)		A3' B5 C3
	6 jam (B6)		A3' B6 C3
	7 jam (B7)		A3' B7 C3
	8 jam (B8)		A3' B8 C3

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan yang dilakukan berupa uji karakteristik awal limbah cair pengolahan hasil perikanan untuk mengetahui konsentrasi parameter pH, BOD, COD dan NH₄. Berdasarkan hasil dari penelitian pendahuluan, dapat ditentukan parameter yang digunakan dalam penelitian ini untuk dianalisis penurunannya menggunakan metode fotokatalisis. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini yaitu BOD, COD dan NH₄ karena memiliki konsentrasi yang tinggi. Berikut merupakan hasil penelitian pendahuluan yang dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Penelitian Pendahuluan

No.	Parameter	Satuan	Hasil		Baku Mutu *)	Metode Analisa
			22/5/24	15/6/24		
1	pH		6,8	5,9	6-9	SNI 06-6989.11-2004
2	BOD	mg/L	864	1248	100	SNI 6989.72:2009
3	COD	mg/L	1616,7	2335	200	SNI 6989.2:2009
4	NH ₄	mg/L	1,75	2,16	5	SNI 06-2479-1991

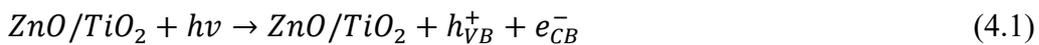
*) Standar baku mutu sesuai dengan Lampiran XIV PerMenLH No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pengolahan Hasil Perikanan

4.2 Metode Fotokatalisis ZnO dan TiO₂ pada Limbah Cair Pengolahan Hasil Perikanan

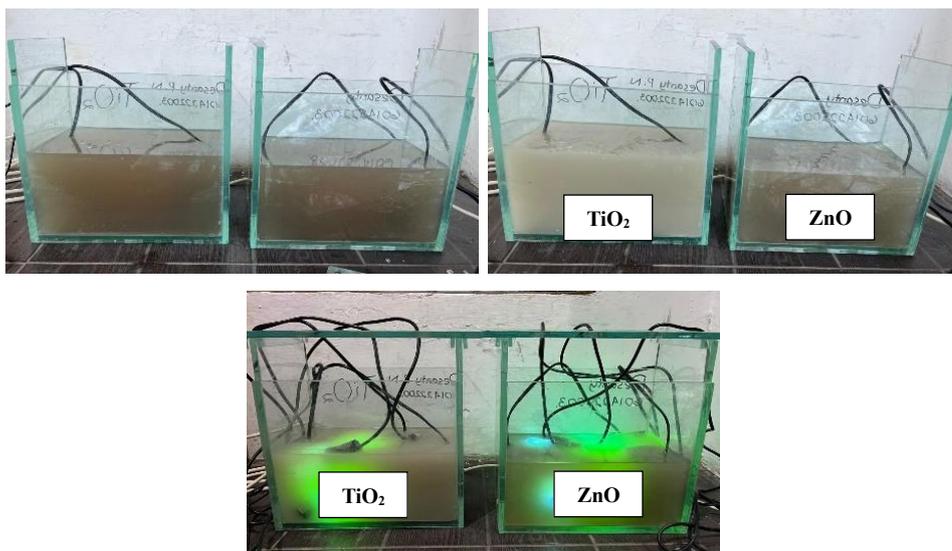
Proses fotokatalisis menggunakan senyawa ZnO dan TiO₂ dengan massa 1 g, 1,5 g dan 2 g yang disertai dengan variasi intensitas penyinaran yaitu 732±5,17 μW/cm², 743±3,56 μW/cm² dan 849±1,92 μW/cm² dan waktu penyinaran selama 8 jam untuk mendegradasi parameter BOD, COD dan NH₄. Berdasarkan penelitian terdahulu, menunjukkan bahwa intensitas penyinaran sebesar 322,66 μW/cm² dapat digunakan untuk mengaktifkan katalis TiO₂ (Priantoro & R, 2020). Sedangkan intensitas penyinaran yang dibutuhkan untuk mengaktifkan katalis ZnO yaitu

sebesar $515,53 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (Setiawan, 2018). Senyawa TiO_2 pada fase anatase digunakan dalam penelitian ini karena memiliki tingkat kestabilan yang tinggi dan lebih efektif, serta tidak mengalami fotokorosi pada pH rendah (Sugiyana & Harja, 2014).

Mekanisme proses fotokatalisis menggunakan senyawa ZnO dan TiO_2 adalah sebagai berikut (Asri, et al., 2022).



Pada reaksi tersebut menunjukkan bahwa apabila ZnO atau TiO_2 diberikan cahaya ($h\nu$) yang memiliki energi sesuai dengan kebutuhan untuk mengaktifkan senyawa ZnO atau TiO_2 , maka elektron (e^-) pada pita valensi (VB) akan berpindah menuju pita konduksi (CB). Perpindahan elektron (e^-) tersebut menghasilkan e_{CB}^- sehingga menyebabkan adanya kekosongan atau *hole* (h_{VB}^+). Elektron yang dihasilkan akan bereaksi dengan akseptor electron seperti O_2 yang teradsorpsi pada permukaan ZnO atau TiO_2 atau terlarut dalam air untuk membentuk anion radikal superoksida ($\bullet\text{O}_2^-$). Kemudian hole yang dihasilkan dapat mengoksidasi senyawa organik atau bereaksi dengan OH^- atau H_2O untuk memproduksi radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$). Radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) atau superoksida ($\bullet\text{O}_2^-$) berperan dalam proses penyisihan polutan dalam air limbah (Sugiyana & Harja, 2014).

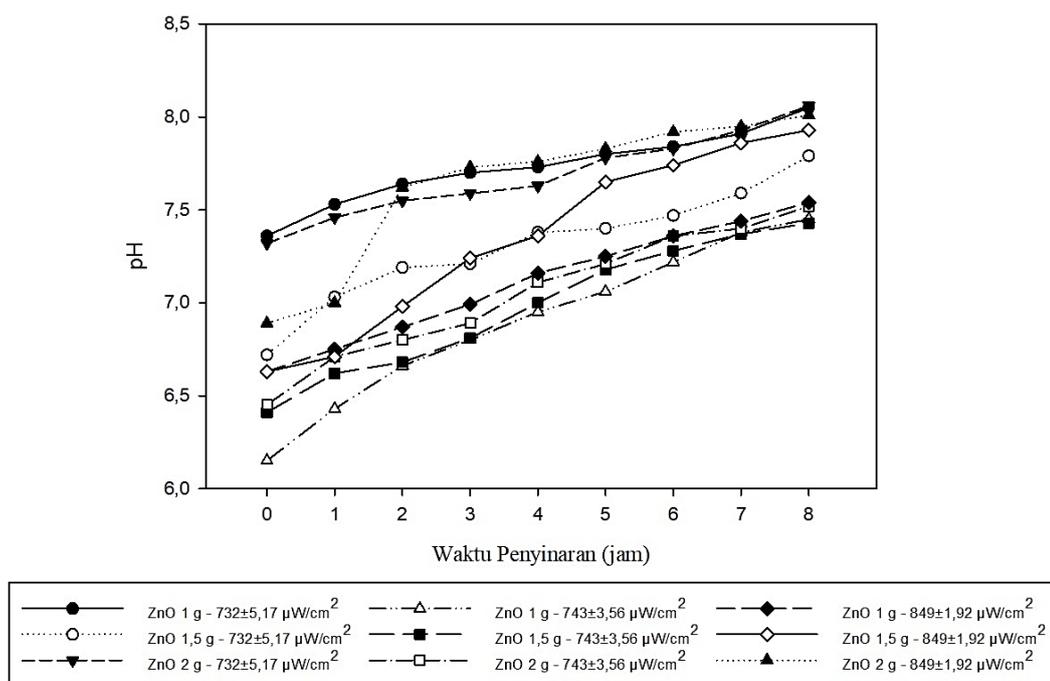


Gambar 4.1 Proses Fotokatalisis

Secara visual pada Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa limbah cair industri hasil perikanan yang diberi perlakuan fotokatalisis menggunakan ZnO dan TiO₂ tampak lebih keruh TiO₂. Hal tersebut terjadi karena mikropartikel yang dimiliki oleh TiO₂ berdasarkan nilai indeksnya memiliki nilai yang lebih besar daripada ZnO yaitu TiO₂ dengan nilai indeks pada fase anatase sebesar 2,49 dan ZnO dengan nilai indeks sebesar 1,99 (Sugiyana & Harja, 2014).

4.2.1 Perubahan pH

Proses fotokatalisis menggunakan ZnO dan TiO₂ pada limbah cair industri hasil perikanan menghasilkan perubahan nilai pH dari kondisi asam (pH < 7) saat sebelum perlakuan menjadi kondisi basa (pH > 7) setelah adanya perlakuan.



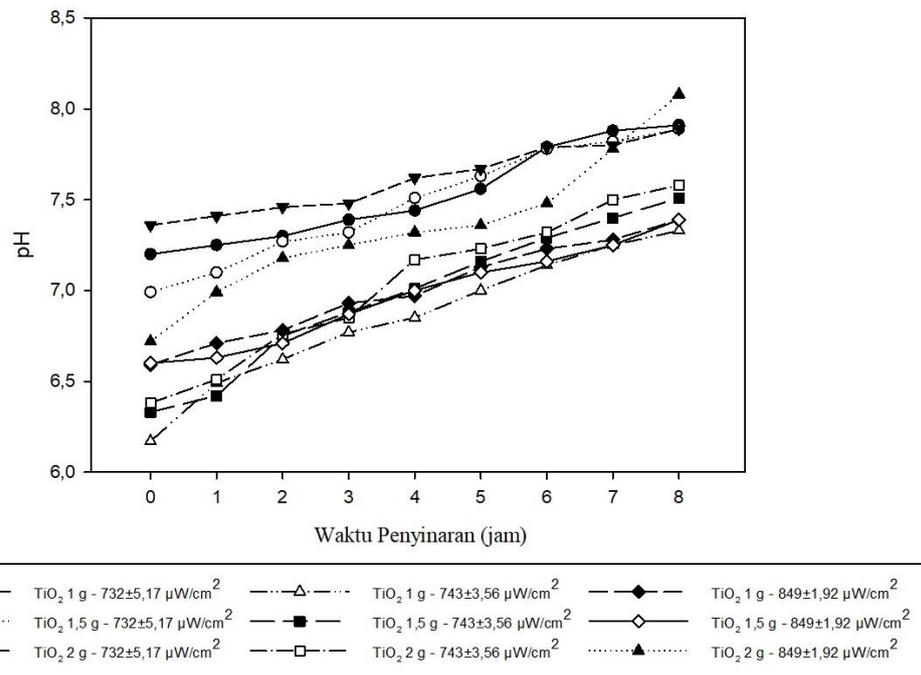
Gambar 4.2 Nilai pH dalam Fotokatalisis menggunakan ZnO

Berdasarkan Gambar 4.2 menunjukkan bahwa proses fotokatalisis menggunakan senyawa ZnO dengan massa 1 g, 1,5 g dan 2 g dengan variasi intensitas penyinaran $732 \pm 5,17 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $743 \pm 3,56 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ dan $849 \pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ menunjukkan hasil bahwa nilai pH yang terkandung dalam limbah cair industri hasil perikanan mengakibatkan pH berubah menjadi basa (pH > 7). Limbah cair

industri hasil perikanan yang ditambahkan ZnO 1 g dengan intensitas penyinaran $732\pm 5,17 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ dan waktu penyinaran selama 8 jam memiliki pH dalam rentang 7,53 hingga 8,05. Sedangkan pada penambahan ZnO 1,5 g dengan memiliki pH dalam rentang 7,03 hingga 7,79, serta pada penambahan ZnO 2 g memiliki rentang pH 7,46 hingga 8,06.

Limbah cair industri hasil perikanan yang ditambahkan ZnO 1 g dengan intensitas penyinaran $743\pm 3,56 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ dan waktu penyinaran selama 8 jam memiliki pH dalam rentang 6,43 hingga 7,45. Sedangkan pada penambahan ZnO 1,5 g dengan memiliki pH dalam rentang 6,62 hingga 7,43, serta pada penambahan ZnO 2 g memiliki rentang pH 6,71 hingga 7,52. Limbah cair industri hasil perikanan yang ditambahkan ZnO 1 g dengan intensitas penyinaran $849\pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ dan waktu penyinaran selama 8 jam memiliki pH dalam rentang 6,75 hingga 7,54. Sedangkan pada penambahan ZnO 1,5 g dengan memiliki pH dalam rentang 6,63 hingga 7,93 serta pada penambahan ZnO 2 g memiliki rentang pH 7 hingga 8,01.

Berdasarkan Gambar 4.3 menunjukkan bahwa limbah cair industri hasil perikanan yang diberi penambahan massa TiO_2 1 g dengan intensitas penyinaran $732\pm 5,17 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ menghasilkan rentang pH sebesar 7,25 hingga 7,91. Sedangkan massa TiO_2 1,5 g menghasilkan rentang pH sebesar 7,1 hingga 7,89, dan massa TiO_2 2 g selama 8 jam menghasilkan rentang pH sebesar 7,41 hingga 7,89. Pada massa TiO_2 1 g dengan intensitas penyinaran $743\pm 3,56 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ menghasilkan rentang pH sebesar 6,49 hingga 7,33. Sedangkan massa TiO_2 1,5 g menghasilkan rentang pH sebesar 6,42 hingga 7,51 dan massa TiO_2 2 g selama 8 jam menghasilkan rentang pH sebesar 6,51 hingga 7,58. Pada massa TiO_2 1 g dengan intensitas penyinaran $849\pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ menghasilkan rentang pH sebesar 6,71 hingga 7,39. Sedangkan massa TiO_2 1,5 g menghasilkan rentang pH sebesar 6,63 hingga 7,39, dan massa TiO_2 2 g selama 8 jam menghasilkan rentang pH sebesar 6,99 hingga 8,08.



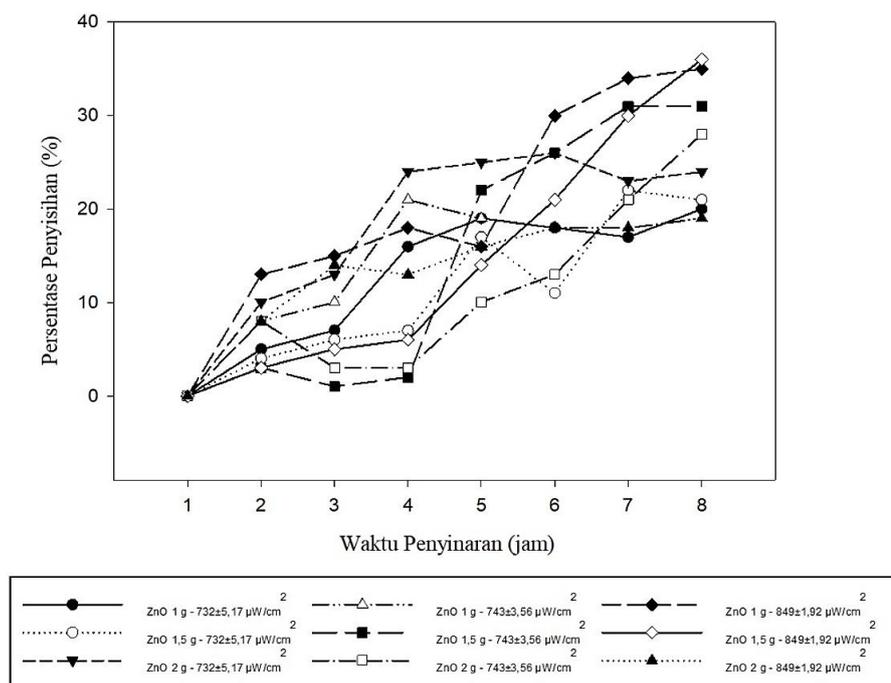
Gambar 4.3 Nilai pH dalam Fotokatalisis menggunakan TiO₂

Pada proses fotokatalisis menggunakan ZnO dan TiO₂, limbah cair industri hasil perikanan terdapat pada kondisi basa yang disebabkan oleh banyaknya OH⁻ yang terkandung dalam air limbah, sehingga OH⁻ akan bereaksi dengan *hole* dan membentuk •OH. Permukaan fotokatalis bermuatan negatif dalam kondisi basa dan bermuatan positif dalam kondisi asam yang berarti bahwa kondisi muatan dalam proses fotokatalisis dapat dijelaskan berdasarkan *Point of Zero Charge* (PZC) karena karakteristik muatan permukaan katalis berhubungan langsung dengan efek pH (Lee, Kim, Danish, & Jo, 2023). Limbah cair industri hasil perikanan sebelum adanya proses fotokatalisis memiliki nilai pH 6,8 yang tergolong dalam kondisi asam (pH < 7), sedangkan pada proses fotokatalisis yang menggunakan ZnO dan TiO₂ menghasilkan nilai pH basa (pH > 7). Perbedaan muatan yang terdapat pada limbah cair industri hasil perikanan dan permukaan ZnO dan TiO₂ dapat mengakibatkan polutan dalam air limbah lebih mudah terdegradasi oleh ZnO (Lee, Kim, Danish, & Jo, 2023). Setiap penambahan waktu penyinaran pada metode fotokatalisis menggunakan ZnO dan TiO₂ menghasilkan nilai pH yang semakin basa sehingga mampu meningkatkan aktivitas fotokatalisis. Nilai pH tinggi dapat

memberikan ion hidroksil yang lebih tinggi, sehingga dapat bereaksi dengan *hole* (h_{VB}^+) dan membentuk radikal hidroksil (Kazeminezhad & Sadollahkhani, 2016).

4.2.2 Penyisihan Ammonium (NH₄)

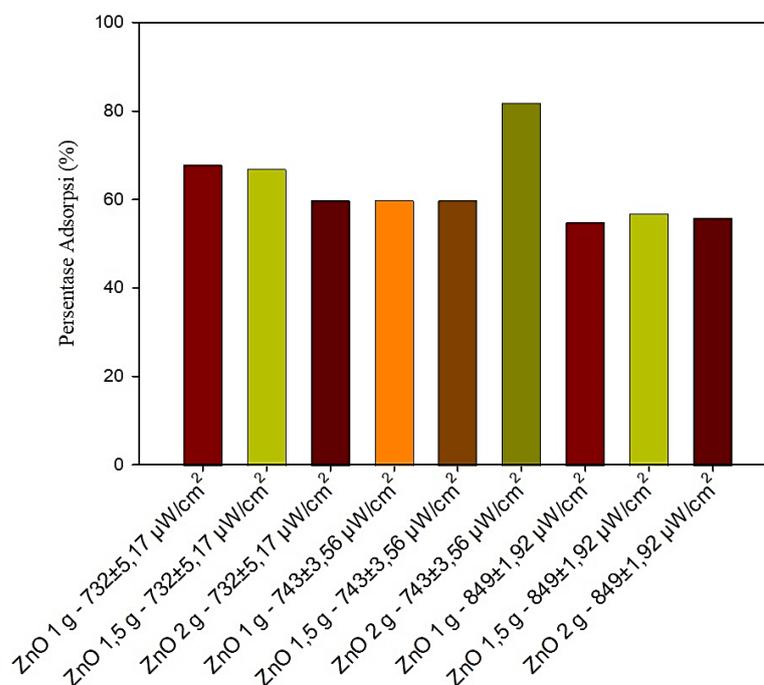
Ammonium (NH₄) merupakan salah satu parameter yang menunjukkan adanya penguraian bahan organik yang terjadi dalam limbah cair industri hasil perikanan dan dapat mengganggu kualitas air apabila memiliki nilai yang melebihi baku mutu. Pada proses fotokatalis menggunakan ZnO dan TiO₂ menunjukkan adanya penurunan konsentrasi NH₄ dengan efisiensi penyisihan tertinggi sebesar 75% yang terjadi pada TiO₂ 1 g dengan waktu penyinaran selama 7 jam dan intensitas penyinaran sebesar $743 \pm 3,56 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Sedangkan efisiensi penyisihan terendah sebesar 1% yang terjadi pada TiO₂ 2 g dengan waktu penyinaran selama 3 jam dan intensitas penyinaran $732 \pm 5,17 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Persentase penyisihan NH₄ dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.6.



Gambar 4.4 Konsentrasi NH₄ dalam Fotokatalisis menggunakan ZnO

Proses fotokatalisis menggunakan ZnO memiliki efisiensi penyisihan NH₄ tertinggi sebesar 35% pada massa 1 g dengan waktu penyinaran selama 8 jam dan intensitas penyinaran $849 \pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, konsentrasi awal sebesar 0,96 mg/L menjadi 0,62 mg/L. Efisiensi penyisihan NH₄ terendah sebesar 1% pada massa 1,5

g dengan waktu penyinaran selama 3 jam dan intensitas penyinaran $743 \pm 3,56 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, dengan konsentrasi awal sebesar $0,78 \text{ mg}/\text{L}$ menjadi $0,77 \text{ mg}/\text{L}$. Berdasarkan Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa semakin lama waktu penyinaran akan menghasilkan efisiensi penyisihan yang semakin tinggi, namun efisiensi penyisihan akan menurun seiring terlewatnya waktu optimum. Hal tersebut didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Wulansari (2018) dengan penelitian berupa fotokatalisis menggunakan granul TiO_2 -Zeolit/Kitosan dan TiO_2 N-Zeolit.Kitosan pada limbah batik yang menyebutkan bahwa ketika waktu optimum telah terlewati maka degradasi air limbah akan mengalami penurunan yang diduga karena sisi aktif katalis sudah jenuh.



Gambar 4.5 Kemampuan ZnO dalam Mengadsorpsi NH_4

Persentase penyisihan NH_4 yang menggunakan ZnO menunjukkan bahwa nilai tertinggi yaitu sebesar 35% sehingga proses fotokatalisis dinilai tidak cukup efektif dalam penyisihan NH_4 pada limbah cair industri hasil perikanan. Pada proses pengolahan menggunakan metode fotokatalisis ini, diperkirakan terjadi proses adsorpsi oleh permukaan katalis. Berdasarkan Gambar 4.5 dapat diketahui bahwa adanya penyisihan NH_4 yang mencapai 82% pada penggunaan ZnO 2 g dengan intensitas penyinaran $743 \pm 3,56 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Persentase penyisihan NH_4 yang

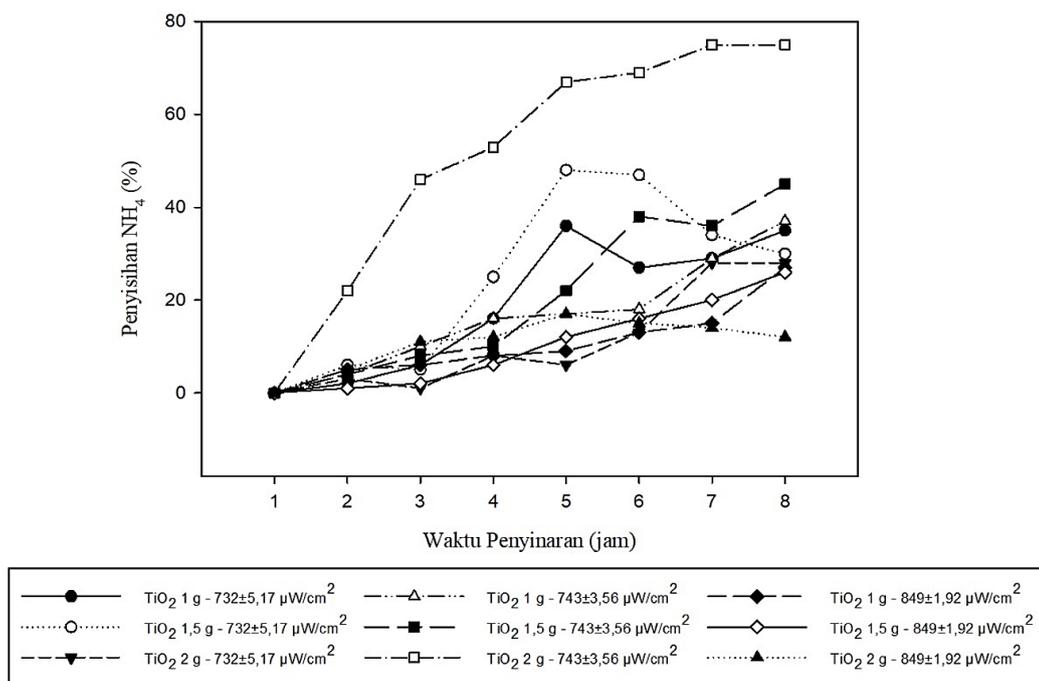
diperkirakan karena adanya proses adsorpsi memiliki penyisihan lebih besar dari proses fotokatalisis menggunakan ZnO yang hanya sebesar 35%. Proses adsorpsi yang terjadi dapat diakibatkan oleh luas permukaan ZnO yang cukup luas yaitu sebesar 611,827 m²/g.

Tabel 4.2 Kinetika Reaksi Fotokatalisis ZnO terhadap Penyisihan NH₄

				R ²	k
Reaksi Orde 0	ZnO	1 g	732±5,17 μW/cm ²	0,9391	0,55
		1,5 g		0,8537	0,80
		2 g		0,9185	0,70
		1 g	743±3,56 μW/cm ²	0,8763	0,90
		1,5 g		0,8800	0,85
		2 g		0,9506	0,31
		1 g	849±1,92 μW/cm ²	0,9365	0,98
		1,5 g		0,9370	1
		2 g		0,8107	0,90
Reaksi Orde 1	ZnO	1 g	732±5,17 μW/cm ²	0,9400	-0,58
		1,5 g		0,8290	-0,2
		2 g		0,9300	-0,33
		1 g	743±3,56 μW/cm ²	0,8859	-0,09
		1,5 g		0,8900	-0,13
		2 g		0,9350	-1,15
		1 g	849±1,92 μW/cm ²	0,9447	9,02e-3
		1,5 g		0,9146	0,03
		2 g		0,8327	-0,09
Reaksi Orde 2	ZnO	1 g	732±5,17 μW/cm ²	0,9398	1,77
		1,5 g		0,8025	1,2
		2 g		0,9386	1,37
		1 g	743±3,56 μW/cm ²	0,8937	1,08
		1,5 g		0,8990	1,1
		2 g		0,9159	3,08
		1 g	849±1,92 μW/cm ²	0,9458	0,95
		1,5 g		0,8880	0,91
		2 g		0,8536	1,1

Laju reaksi dari proses penyisihan NH₄ yang dilakukan menggunakan katalis ZnO dapat diketahui melalui analisis hasil plot dari kinetika reaksi pada orde 0, orde 1 dan orde 2. Pada Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa nilai R² yang paling mendekati angka 1 terdapat pada reaksi orde 0 dengan menggunakan Persamaan (2.12) pada katalis ZnO dengan massa 2 gram pada intensitas penyinaran 743±3,56 μW/cm² yaitu 0,9506. Reaksi orde 0 berarti bahwa laju reaksi yang dihasilkan dari

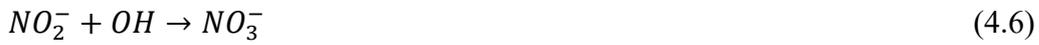
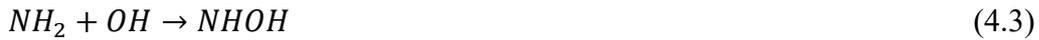
proses fotokatalisis menggunakan ZnO tidak dipengaruhi oleh konsentrasi ZnO (Atmadani & Hidayah, 2022). Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Qur'ani, et al. (2022) dengan penelitian proses fotokatalisis menggunakan Bentonit Terimpregnasi N-TiO₂ pada air limbah artifisial yang juga menghasilkan kinetika reaksi orde nol.



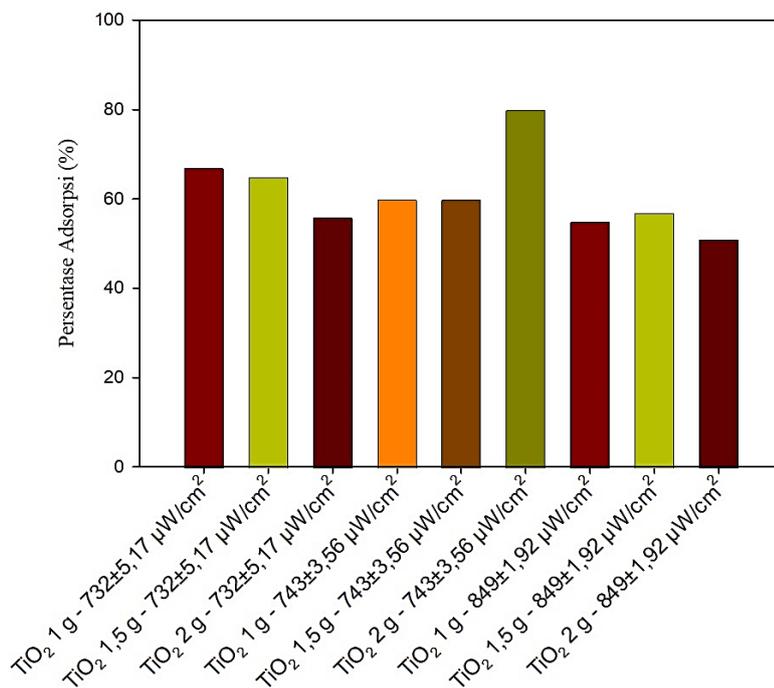
Gambar 4.6 Konsentrasi NH₄ dalam Fotokatalisis menggunakan TiO₂

Proses fotokatalisis menggunakan TiO₂ memiliki efisiensi penyisihan NH₄ tertinggi sebesar 75% pada massa 2 g dengan waktu penyinaran selama 7 jam dan intensitas penyinaran 743±3,56 μW/cm², konsentrasi awal sebesar 0,31 mg/L menjadi 0,08 mg/L. Efisiensi penyisihan NH₄ terendah sebesar 1% pada massa 1,5 g dengan waktu penyinaran selama 2 jam dan intensitas penyinaran 849±1,92 μW/cm², dengan konsentrasi awal sebesar 0,95 mg/L menjadi 0,94 mg/L. Penurunan persentase penyisihan yang tidak menentu terjadi karena adanya pengadukan TiO₂ yang tidak merata sehingga menyebabkan TiO₂ mengendap ke dasar reaktor dan berkurangnya sisi aktif TiO₂ (Rohman, Irwan, & Rahmi, 2018). Mekanisme penyisihan NH₄ oleh proses fotokatalisis ZnO dan TiO₂ terjadi sebagai berikut (Rohman, Irwan, & Rahmi, 2018).





Pada penelitian ini diketahui bahwa terdapat penurunan konsentrasi NH_4 sehingga sesuai dengan penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh Rohman *et al.* (2018). Namun penyisihan NH_4 yang terjadi pada proses fotokatalisis menggunakan TiO_2 menghasilkan persentase penyisihan yang dinilai lebih kecil dibandingkan dengan persentase penyisihan NH_4 ketika diberi perlakuan TiO_2 tanpa UV. Hal tersebut diperkirakan terdapat proses adsorpsi yang terjadi pada permukaan TiO_2 , persentase penyisihan NH_4 menggunakan metode adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Kemampuan TiO_2 dalam Mengadsorpsi NH_4

Berdasarkan Gambar 4.7 menunjukkan bahwa persentase penyisihan NH_4 mencapai 80% pada TiO_2 2 g dengan intensitas penyinaran $743 \pm 3,56 \mu W/cm^2$, sedangkan pada proses fotokatalisis menggunakan TiO_2 menghasilkan persentase penyisihan NH_4 tertinggi yaitu 75%. Proses adsorpsi dapat terjadi jika luas

permukaan TiO₂ yang tersedia relatif tinggi, karena senyawa organik yang terkandung dalam air limbah berukuran relatif kecil dan massa TiO₂ yang digunakan cukup besar (Kholidah, Wahyuni, & Sugiharto, 2021). Proses adsorpsi yang terjadi pada penurunan NH₄ menggunakan TiO₂ disebabkan oleh ketersediaan permukaan TiO₂ mencapai 25,6 m²/g untuk mengadsorpsi NH₄ (Sanchis, et al., 2017). Sedangkan ketersediaan permukaan TiO₂ yang digunakan pada penelitian memiliki luas permukaan sebesar 653,274 m²/g. Senyawa TiO₂ yang digunakan dalam proses fotokatalisis pada penelitian ini memiliki fase *anatase* dengan energi celah pita sebesar 3,2 eV. TiO₂ diketahui berada pada fase *anatase* karena memiliki luas permukaan yang lebih besar jika dibandingkan dengan fase *rutile* sehingga menyebabkan kemampuan adsorpsi yang terjadi pada TiO₂ fase *anatase* lebih tinggi dibandingkan dengan *rutile* (Eddy, et al., 2023).

Tabel 4.3 Kinetika Reaksi Fotokatalisis TiO₂ terhadap Penyisihan NH₄

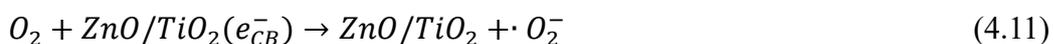
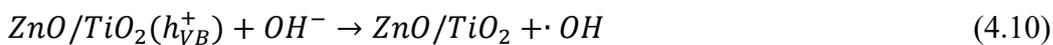
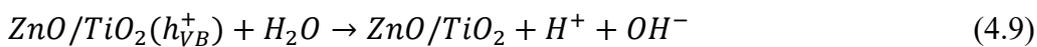
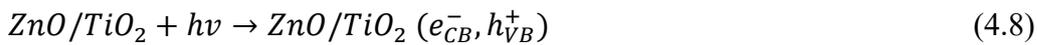
				R²	k
Reaksi Orde 0	TiO ₂	1 g	732±5,17 μW/cm ²	0,8590	0,78
		1,5 g		0,9256	0,85
		2 g		0,9018	1
		1 g	743±3,56 μW/cm ²	0,9493	0,87
		1,5 g		0,9190	0,92
		2 g		0,8457	0,29
		1 g	849±1,92 μW/cm ²	0,8445	0,98
		1,5 g		0,9593	1,01
		2 g		0,9139	1,03
Reaksi Orde 1	TiO ₂	1 g	732±5,17 μW/cm ²	0,8193	-0,20
		1,5 g		0,9105	-0,07
		2 g		0,8846	0,02
		1 g	743±3,56 μW/cm ²	0,9238	-0,10
		1,5 g		0,8906	-0,01
		2 g		0,9329	-1,1
		1 g	849±1,92 μW/cm ²	0,8116	-2,4e-3
		1,5 g		0,9479	0,03
		2 g		0,9207	0,03
Reaksi Orde 2	TiO ₂	1 g	732±5,17 μW/cm ²	0,7782	1,13
		1,5 g		0,8870	0,88
		2 g		0,8667	0,93
		1 g	743±3,56 μW/cm ²	0,8890	1,05
		1,5 g		0,8583	0,90
		2 g		0,9697	1,71
		1 g	849±1,92 μW/cm ²	0,7757	0,98

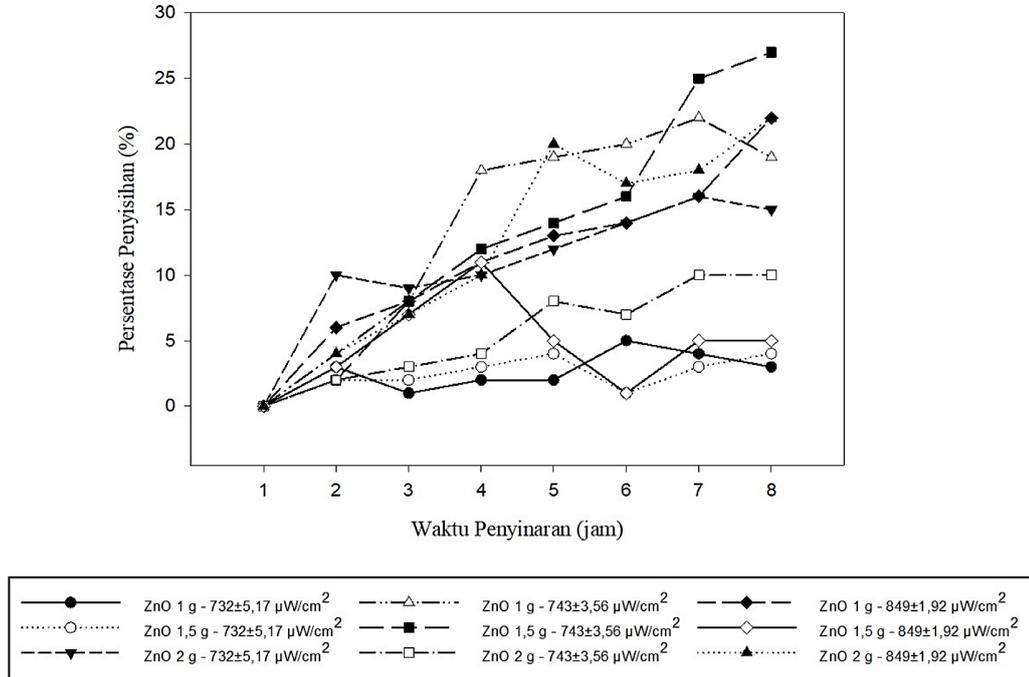
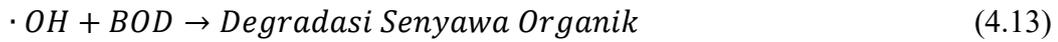
			R ²	k
	1,5 g		0,9334	0,94
	2 g		0,9271	0,95

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa laju reaksi dalam proses fotokatalisis TiO₂ untuk menyisihkan NH₄ terjadi pada reaksi orde 2 dengan menggunakan Persamaan (2.16) karena memiliki nilai R² yang paling mendekati 1 yaitu 0,9697 terdapat pada TiO₂ 2 g dengan intensitas penyinaran 743±3,56 μW/cm². Pada proses yang berlangsung mengikuti model kinetika orde 2, sesuai dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Setiawan, et al. (2023) yang melakukan penelitian fotodegradasi menggunakan ZnO sebagai fotokatalis pada limbah *laundry*. Reaksi orde 2 menunjukkan bahwa laju reaksi yang dihasilkan dari proses fotokatalisis menggunakan TiO₂ bergantung pada konsentrasi katalis yang berlangsung pada laju reaksi yang sebanding dengan dua kali konsentrasi katalis.

4.2.3 Penyisihan *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan salah satu parameter dalam air limbah yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang digunakan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan organik (Metcalf & Eddy, 2003). Metode fotokatalisis menggunakan ZnO dengan massa 1 g, 1,5 g dan 2 g dengan waktu penyinaran selama 8 jam serta intensitas penyinaran sebesar 732±5,17 μW/cm², 743±3,56 μW/cm² dan 849±1,92 μW/cm². Pada penelitian ini menunjukkan adanya penyisihan konsentrasi BOD tertinggi dalam limbah cair industri hasil perikanan sebesar 62% yang terjadi pada TiO₂ dengan massa 1,5 g dan waktu penyinaran selama 8 jam dengan intensitas penyinaran 849±1,92 μW/cm². Sedangkan penyisihan konsentrasi BOD terendah sebesar 1% yang terjadi pada TiO₂ massa 1,5 g dengan waktu penyinaran selama 6 jam. Mekanisme penyisihan BOD pada proses fotokatalisis ZnO dan TiO₂ dapat dilihat sebagai berikut (Asri, et al., 2022).



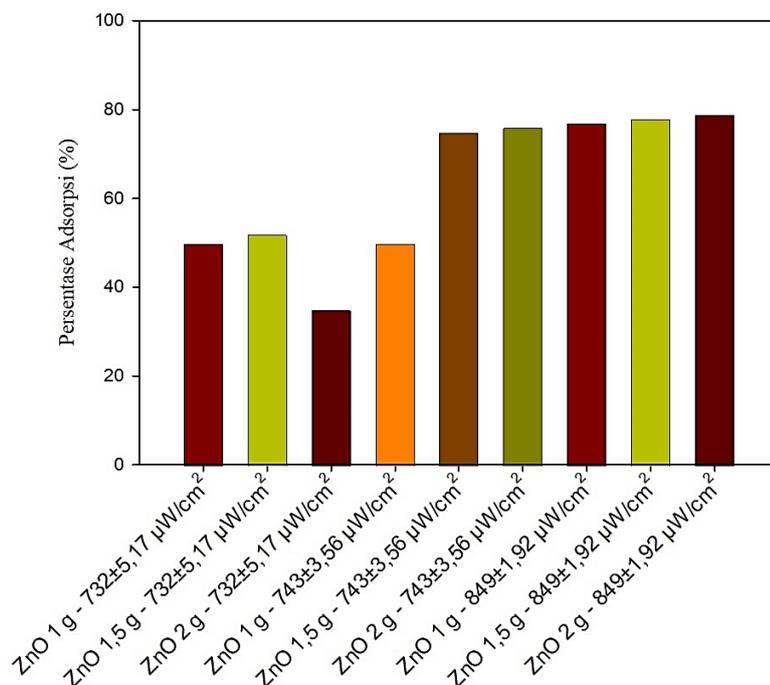


Gambar 4.8 Konsentrasi BOD dalam Fotokatalisis menggunakan ZnO

Berdasarkan Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa proses penyisihan BOD terbesar pada katalis ZnO yaitu massa 1,5 g dan waktu penyinaran selama 8 jam dengan intensitas penyinaran $743 \pm 3,56 \mu W/cm^2$ dengan konsentrasi awal BOD sebesar 275 mg/L menjadi 202 mg/L dengan persentase penyisihan sebesar 27%. Sedangkan persentase penyisihan BOD terendah terdapat pada ZnO 1,5 g dengan intensitas penyinaran $849 \pm 1,92 \mu W/cm^2$ pada jam ke 6. Penurunan persentase penyisihan pada proses fotokatalisis menggunakan ZnO dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya yaitu kekeruhan sampel sehingga menghambat penetrasi UV dalam limbah cair industri hasil perikanan yang membuat ZnO tidak aktif secara sempurna.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terdapat penurunan BOD pada jam ke-0, namun pada waktu tersebut limbah cair industri hasil perikanan tidak diberi perlakuan penyinaran UV. Penurunan BOD yang terjadi pada perlakuan tanpa sinar UV dapat terjadi karena adanya proses adsorpsi senyawa-senyawa organik

oleh permukaan ZnO. Persentase penurunan BOD yang disebabkan oleh adanya proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Kemampuan ZnO dalam Mengadsorpsi BOD

Berdasarkan Gambar 4.9 dapat diketahui bahwa adanya penyisihan BOD yang mencapai 79% pada penggunaan ZnO 2 g dengan intensitas penyinaran $849 \pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Persentase penyisihan BOD yang diperkirakan karena adanya proses adsorpsi memiliki penyisihan lebih besar dari proses fotokatalisis menggunakan ZnO yang hanya sebesar 27%. Proses adsorpsi yang terjadi dapat diakibatkan oleh luas permukaan ZnO yang cukup luas yaitu sebesar $611,827 \text{ m}^2/\text{g}$.

Tabel 4.4 Kinetika Reaksi Fotokatalisis ZnO terhadap Penyisihan BOD

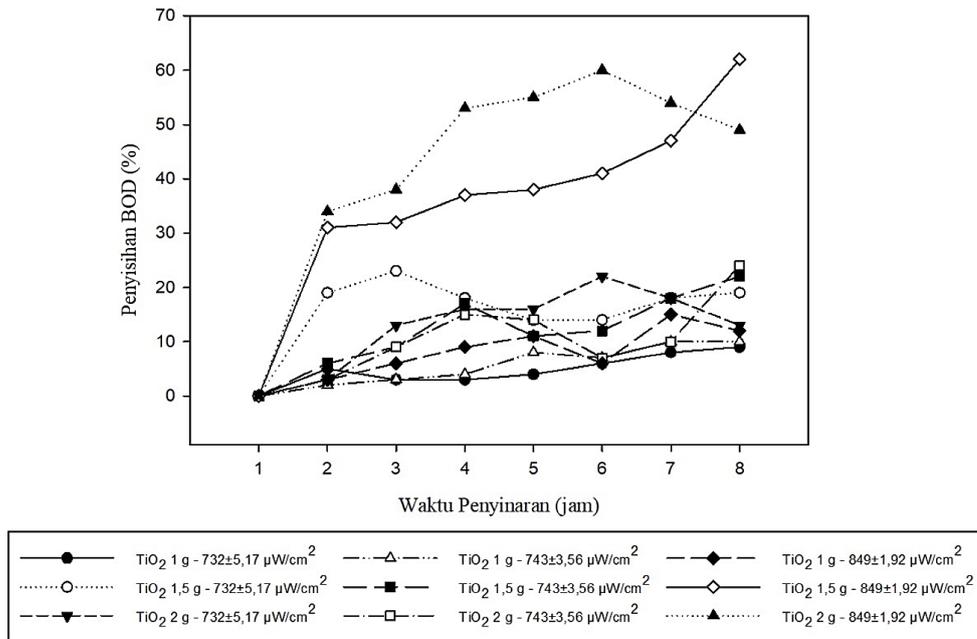
				R²	k
Reaksi Orde 0	ZnO	1 g	$732 \pm 5,17 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9442	506,5
		1,5 g		0,9460	353,5
		2 g		0,8452	446,47
		1 g	$743 \pm 3,56 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9185	638,71
		1,5 g		0,9720	287,5
		2 g		0,8595	298,4
		1 g	$849 \pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9502	291,07
		1,5 g		0,8847	276
		2 g		0,9801	282,4
Reaksi Orde 1	ZnO	1 g	$732 \pm 5,17 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9426	6,23

				R²	k	
		1,5 g		0,9480	5,86	
		2 g		0,8626	6,10	
		1 g		0,9248	6,47	
		1,5 g		743±3,56 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9657	5,67
		2 g		0,8757	5,7	
		1 g		0,9511	5,67	
		1,5 g		849±1,92 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,8843	5,62
		2 g		0,9792	5,65	
Reaksi Orde 2	ZnO	1 g		0,9411	1,97e-3	
		1,5 g		732±5,17 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9500	2,82e-3
		2 g		0,8790	2,22e-3	
		1 g		0,9305	1,53e-3	
		1,5 g		743±3,56 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9550	3,36e-3
		2 g		0,8909	3,33e-3	
		1 g		0,9478	3,39e-3	
		1,5 g		849±1,92 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,8839	3,61e-3
2 g	0,9766	3,46e-3				

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat diketahui bahwa laju reaksi pada proses penyisihan BOD oleh katalis ZnO terjadi pada reaksi orde 0 menggunakan Persamaan (2.12) karena memiliki nilai R^2 yang paling mendekati 1 yaitu 0,9801 terdapat pada ZnO 2 g pada intensitas penyinaran $849\pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Reaksi orde 0 menunjukkan bahwa laju reaksi yang dihasilkan dari proses fotokatalisis menggunakan ZnO tidak dipengaruhi oleh konsentrasi ZnO (Atmadani & Hidayah, 2022). Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Qur'ani, et al. (2022) dengan penelitian proses fotokatalisis menggunakan Bentonit Terimpregnasi N-TiO₂ pada air limbah artifisial yang juga menghasilkan kinetika reaksi orde nol.

Berdasarkan Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa penyisihan BOD terbesar menggunakan katalis TiO₂ terjadi pada massa TiO₂ 1,5 g pada waktu penyinaran selama 8 jam dengan intensitas penyinaran $849\pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Konsentrasi awal BOD sebesar 349 mg/L menjadi 134 mg/L dengan persentase penyisihan sebesar 62%. Hal tersebut disebabkan oleh energi yang mencukupi yaitu pada intensitas penyinaran $849\pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ untuk mengaktifkan katalis TiO₂ pada jam ke-8, sehingga menghasilkan •OH yang mampu bereaksi dengan senyawa organik secara efektif. Penyisihan BOD terendah menggunakan katalis TiO₂ 1 g dengan intensitas penyinaran $732\pm 5,17 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ pada jam ke 4 yang menghasilkan persentase

penyisihan sebesar 3%. Penurunan persentase penyisihan yang tidak menentu terjadi karena adanya pengadukan TiO_2 yang tidak merata sehingga menyebabkan TiO_2 mengendap ke dasar reaktor dan berkurangnya sisi aktif TiO_2 (Rohman, Irwan, & Rahmi, 2018).

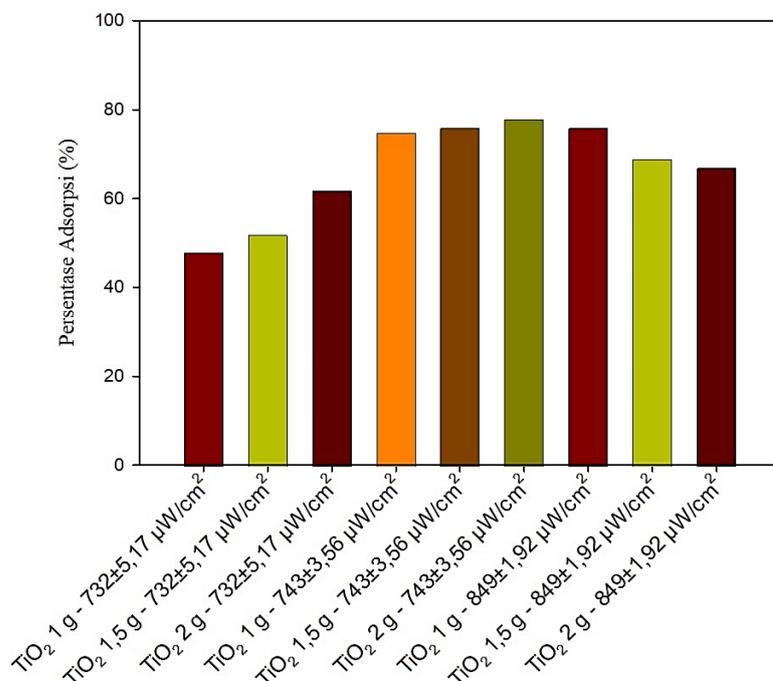


Gambar 4.10 Konsentrasi BOD dalam Fotokatalisis menggunakan TiO_2

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terdapat penurunan BOD pada jam ke-0, namun pada waktu tersebut limbah cair industri hasil perikanan tidak diberi perlakuan penyinaran UV. Penurunan BOD yang terjadi pada perlakuan tanpa sinar UV dapat terjadi karena adanya proses adsorpsi senyawa-senyawa organik oleh permukaan TiO_2 . Gambar 4.11 menunjukkan bahwa penyisihan BOD pada perlakuan hanya TiO_2 menghasilkan persentase penyisihan hingga 78% pada TiO_2 2 g dan intensitas penyinaran $743\pm 3,56 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Sedangkan persentase penyisihan pada proses fotokatalisis menggunakan TiO_2 sebesar 62%.

Pada penelitian ini diperkirakan terdapat proses adsorpsi yang terjadi pada perlakuan TiO_2 tanpa UV sehingga terdapat penyisihan BOD yang cukup tinggi pada jam ke-0. Adsorpsi dapat terjadi karena senyawa organik yang terkandung dalam air limbah merupakan mikromolekul dengan ukuran yang relatif kecil dan massa TiO_2 yang digunakan pada penelitian ini cukup banyak, sehingga

ketersediaan permukaan TiO₂ untuk mengadsorpsi juga cukup tinggi (Kholidah, Wahyuni, & Sugiharto, 2021).



Gambar 4.11 Kemampuan TiO₂ dalam Mengadsorpsi BOD

Proses adsorpsi yang terjadi pada penurunan BOD menggunakan TiO₂ disebabkan oleh ketersediaan permukaan TiO₂ mencapai 25,6 m²/g untuk mengadsorpsi BOD (Sanchis, et al., 2017). Sedangkan ketersediaan permukaan TiO₂ yang digunakan pada penelitian memiliki luas permukaan sebesar 653,274 m²/g. Senyawa TiO₂ yang digunakan dalam proses fotokatalisis pada penelitian ini memiliki fase *anatase* dengan energi celah pita sebesar 3,2 eV. TiO₂ diketahui berada pada fase *anatase* karena memiliki luas permukaan yang lebih besar jika dibandingkan dengan fase *rutile* sehingga menyebabkan kemampuan adsorpsi yang terjadi pada TiO₂ fase *anatase* lebih tinggi dibandingkan dengan *rutile* (Eddy, et al., 2023).

Tabel 4.5 Kinetika Reaksi Fotokatalisis TiO₂ terhadap Penyisihan BOD

				R ²	k
Reaksi Orde 0	TiO₂	1 g	732±5,17 μW/cm ²	0,9674	317,42
		1,5 g		0,8113	359
		2 g		0,9276	336

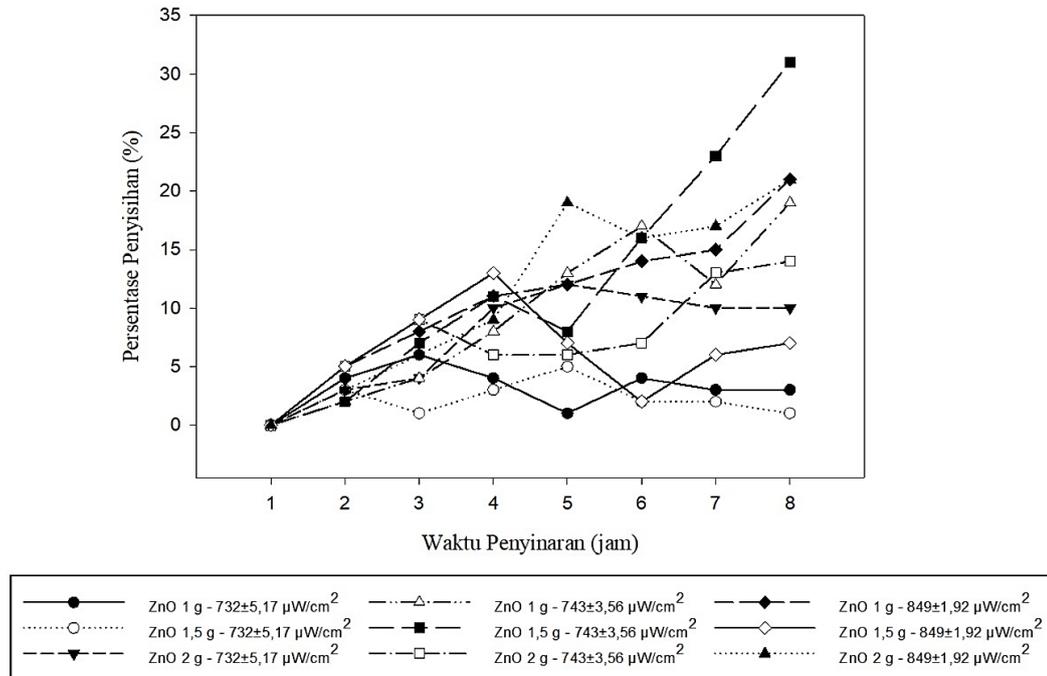
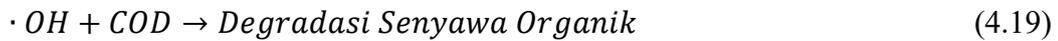
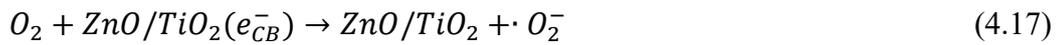
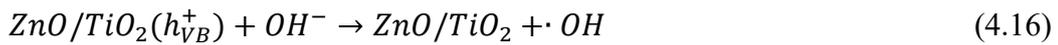
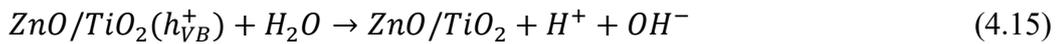
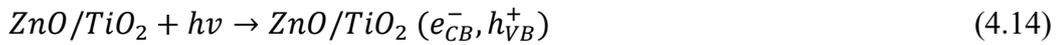
				R²	k
		1 g	743±3,56 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9520	306,7
		1,5 g		0,9580	294,71
		2 g		0,9571	283,5
		1 g	849±1,92 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9975	309,2
		1,5 g		0,8046	323,78
		2 g		0,8424	283,2
Reaksi Orde 1	TiO ₂	1 g	732±5,17 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9681	5,76
		1,5 g		0,8266	5,88
		2 g		0,9351	5,82
		1 g	743±3,56 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9510	5,72
		1,5 g		0,9539	5,69
		2 g		0,9407	5,66
		1 g	849±1,92 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9964	5,73
		1,5 g		0,8418	5,82
		2 g		0,9186	5,70
Reaksi Orde 2	TiO ₂	1 g	732±5,17 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9683	3,14e-3
		1,5 g		0,8420	2,75e-3
		2 g		0,9405	2,91e-3
		1 g	743±3,56 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9498	3,24e-3
		1,5 g		0,9462	3,32e-3
		2 g		0,9215	3,39e-3
		1 g	849±1,92 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9940	3,20e-3
		1,5 g		0,8083	2,60e-3
		2 g		0,9639	2,81e-3

Berdasarkan Tabel 4.5 dapat diketahui bahwa laju reaksi pada proses penyisihan BOD oleh katalis TiO₂ terjadi pada reaksi orde 0 menggunakan Persamaan (2.12) karena memiliki nilai R² yang paling mendekati 1 yaitu 0,9975 terdapat pada TiO₂ 1 g pada intensitas penyinaran 849±1,92 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$. Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Atmadani & Hidayah (2022) dengan penelitian berupa *Resin Immobilized Photocatalyst Technology* (RIPT) menggunakan TiO₂ pada limbah cair tahu juga menghasilkan kinetika reaksi orde nol yang berarti bahwa konsentrasi katalis yang dibubuhkan dalam proses fotokatalisis tidak dapat memengaruhi kecepatan laju reaksi.

4.2.4 Penyisihan *Chemical Oxygen Demand* (COD)

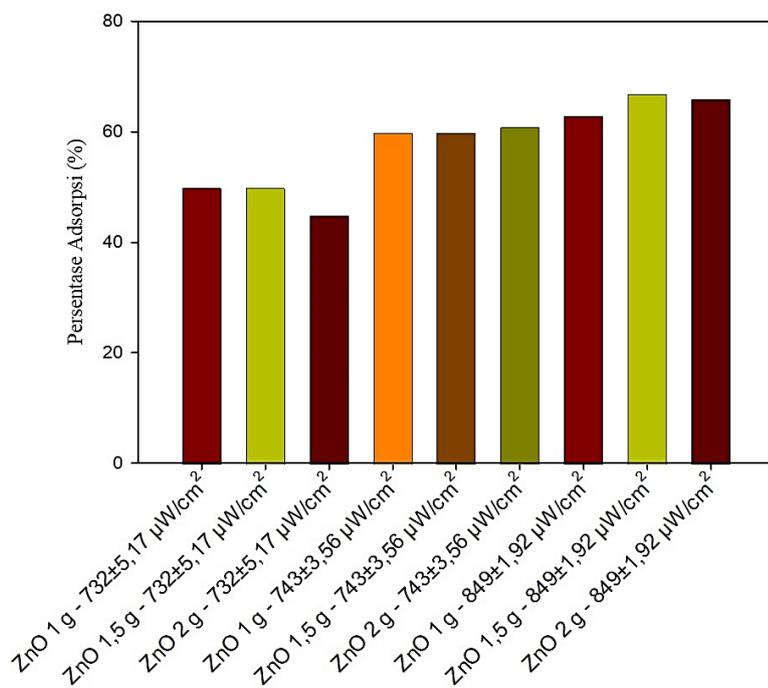
Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan material organik dalam air limbah secara kimia (Metcalf & Eddy, 2003). Berdasarkan hasil penelitian, pada proses fotokatalisis ini

terjadi adanya penurunan dalam parameter COD yang disebabkan oleh adanya pembentukan radikal hidroksil ($\cdot OH$) yang mengoksidasi bahan organik dalam limbah cair industri hasil perikanan. Pada proses fotokatalis menggunakan ZnO dan TiO₂ menunjukkan adanya penurunan konsentrasi COD dengan efisiensi penyisihan tertinggi sebesar 66% yang terjadi pada TiO₂ 2 g dengan waktu penyinaran selama 8 jam dan intensitas penyinaran sebesar 849±1,92 μW/cm². Sedangkan efisiensi penyisihan terendah sebesar 1% yang terjadi pada ZnO 1,5 g dengan waktu penyinaran selama 8 jam dan intensitas penyinaran 732±5,17 μW/cm². Mekanisme penyisihan COD menggunakan proses fotokatalisis dapat dilihat sebagai berikut (Asri, et al., 2022).



Gambar 4.12 Konsentrasi COD dalam Fotokatalisis menggunakan ZnO

Berdasarkan Gambar 4.12 dapat diketahui bahwa persentase penyisihan tertinggi pada proses fotokatalisis menggunakan ZnO yaitu sebesar 31% yang terdapat pada ZnO dengan massa 1,5 g dan waktu penyinaran selama 8 jam pada intensitas penyinaran $743\pm 3,56 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, konsentrasi COD awal adalah 825 mg/L menjadi 571,7 mg/L. Sedangkan persentase penyisihan terendah sebesar 1% yang terdapat pada ZnO 1,5 g dengan waktu penyinaran selama 8 jam dan intensitas penyinaran $732\pm 5,17 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, konsentrasi COD awal adalah 808,3 mg/L menjadi 801,7 mg/L. Penurunan persentase penyisihan pada proses fotokatalisis menggunakan ZnO dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya yaitu kekeruhan sampel sehingga menghambat penetrasi UV dalam limbah cair industri hasil perikanan yang membuat ZnO tidak aktif secara sempurna.



Gambar 4.13 Kemampuan ZnO dalam Mengadsorpsi COD

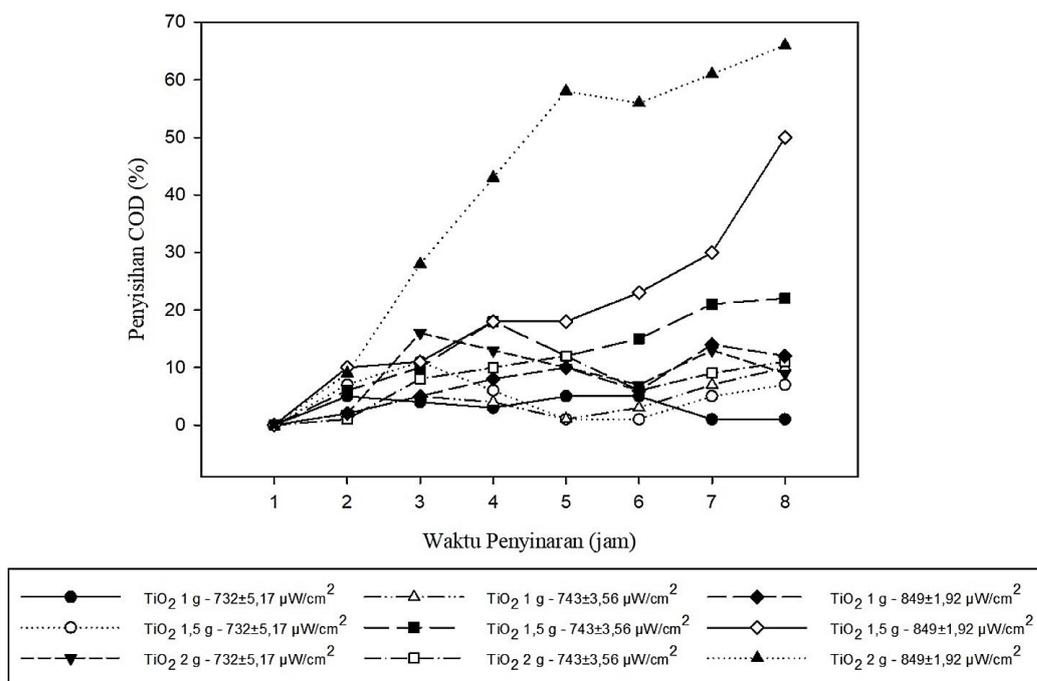
Berdasarkan Gambar 4.13 dapat diketahui bahwa adanya penyisihan COD yang mencapai 67% pada penggunaan ZnO 1,5 g dengan intensitas penyinaran $849\pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Persentase penyisihan COD yang diperkirakan karena adanya proses adsorpsi memiliki penyisihan lebih besar dari proses fotokatalisis menggunakan ZnO yang hanya sebesar 31%. Proses adsorpsi yang terjadi dapat diakibatkan oleh luas permukaan ZnO yang cukup luas yaitu sebesar $611,827 \text{ m}^2/\text{g}$.

Tabel 4.6 Kinetika Reaksi Fotokatalisis ZnO terhadap Penyisihan COD

			R²	k	
Reaksi Orde 0	ZnO	1 g	732±5,17 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9442	506,5
		1,5 g		0,9469	353,5
		2 g		0,8452	446,47
		1 g	743±3,56 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9185	638,71
		1,5 g		0,9720	287,5
		2 g		0,8595	298,4
		1 g	849±1,92 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9502	291,07
		1,5 g		0,8847	276
		2 g		0,9801	282,42
Reaksi Orde 1	ZnO	1 g	732±5,17 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,4496	6,82
		1,5 g		0,9949	6,71
		2 g		0,9083	6,74
		1 g	743±3,56 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9710	6,89
		1,5 g		0,9568	6,81
		2 g		0,9535	6,82
		1 g	849±1,92 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9544	6,77
		1,5 g		0,9978	6,75
		2 g		0,9762	6,74
Reaksi Orde 2	ZnO	1 g	732±5,17 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,4455	1,08e-3
		1,5 g		0,9940	1,21e-3
		2 g		0,9079	1,17e-3
		1 g	743±3,56 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9666	1,003e-3
		1,5 g		0,9440	1,25e-3
		2 g		0,9524	1,08e-3
		1 g	849±1,92 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	0,9496	1,13e-3
		1,5 g		0,9993	1,15e-3
		2 g		0,9728	1,16e-3

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat diketahui bahwa laju reaksi pada proses penyisihan COD oleh katalis ZnO terjadi pada reaksi orde 2 menggunakan Persamaan (2.16) karena memiliki nilai R^2 yang paling mendekati 1 yaitu 0,9993 terdapat pada ZnO 1,5 g pada intensitas penyinaran $849\pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Pada proses yang berlangsung mengikuti model kinetika orde 2, sesuai dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Setiawan, et al. (2023) dengan penelitian berupa fotokatalisis pada degradasi amonia dalam air limbah menggunakan komposit $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$. Reaksi orde 2 menunjukkan bahwa laju reaksi yang dihasilkan dari proses fotokatalisis menggunakan ZnO bergantung pada konsentrasi katalis yang berlangsung pada laju reaksi yang berbanding lurus dengan hasil kali konsentrasi

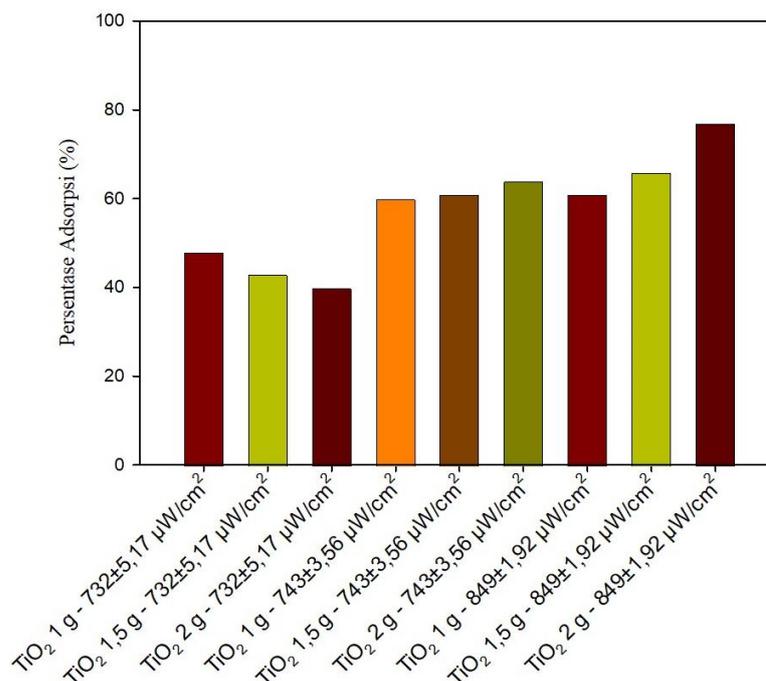
dua reaktannya atau berbanding secara langsung dengan kuadrat konsentrasi salah satu reaktannya (Setiawan, Sugiarto, Mayangsari, Ari, & Santiasih, 2023).



Gambar 4.14 Konsentrasi COD dalam Fotokatalisis menggunakan TiO₂

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa persentase penyisihan tertinggi pada proses fotokatalisis menggunakan TiO₂ yaitu sebesar 66% yang terdapat pada TiO₂ dengan massa 2 g dan waktu penyinaran selama 8 jam pada intensitas penyinaran sebesar 849±1,92 μW/cm², konsentrasi COD awal adalah 468 mg/L menjadi 158 mg/L. Sedangkan persentase penyisihan terendah sebesar 1% yang terdapat pada TiO₂ dengan massa 2 g dan waktu penyinaran selama 2 jam pada intensitas penyinaran 743±3,56 μW/cm², konsentrasi COD awal adalah 778,3 mg/L menjadi 768,3 mg/L. Penurunan persentase penyisihan yang tidak menentu terjadi karena proses fotokatalisis menggunakan TiO₂ untuk menyisihkan kadar COD dalam limbah cair industri hasil perikanan dinilai kurang efektif karena jumlah radikal hidroksil ($\bullet OH$) relatif rendah dari kebutuhan yang ada, meskipun TiO₂ telah digunakan secara maksimal (Kholidah, Wahyuni, & Sugiharto, 2021).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terdapat penurunan COD pada jam ke-0, namun pada waktu tersebut limbah cair industri hasil perikanan tidak diberi perlakuan penyinaran UV. Penurunan COD yang terjadi pada perlakuan penggunaan TiO₂ dapat terjadi karena adanya proses adsorpsi senyawa-senyawa organik oleh permukaan TiO₂ (Kholidah, Wahyuni, & Sugiharto, 2021).



Gambar 4.15 Kemampuan TiO₂ dalam Mengadsorpsi COD

Pada Gambar 4.15 menunjukkan bahwa adanya penurunan COD terbesar yang mencapai 77% terjadi pada penambahan TiO₂ 2 gram dengan intensitas penyinaran 849±1,92 μW/cm². Proses adsorpsi yang terjadi pada penurunan COD menggunakan TiO₂ disebabkan oleh ketersediaan permukaan TiO₂ mencapai 25,6 m²/g untuk mengadsorpsi COD (Sanchis, et al., 2017). Sedangkan ketersediaan permukaan TiO₂ yang digunakan pada penelitian memiliki luas permukaan sebesar 653,274 m²/g. Senyawa TiO₂ yang digunakan dalam proses fotokatalisis pada penelitian ini memiliki fase *anatase* dengan energi celah pita sebesar 3,2 eV. TiO₂ diketahui berada pada fase *anatase* karena memiliki luas permukaan yang lebih besar jika dibandingkan dengan fase *rutile* sehingga menyebabkan kemampuan adsorpsi yang terjadi pada TiO₂ fase *anatase* lebih tinggi dibandingkan dengan *rutile* (Eddy, et al., 2023).

Tabel 4.7 Kinetika Reaksi Fotokatalisis TiO₂ terhadap Penyisihan COD

				R²	k
Reaksi Orde 0	TiO₂	1 g	732±5,17 μW/cm ²	0,8520	950
		1,5 g		0,9073	937,77
		2 g		0,9593	1005
		1 g	743±3,56 μW/cm ²	0,9293	917,4
		1,5 g		0,9395	808,8
		2 g		0,9751	884,98
		1 g	849±1,92 μW/cm²	0,9937	921,24
		1,5 g		0,8898	846,88
		2 g		0,9561	513,71
Reaksi Orde 1	TiO ₂	1 g	732±5,17 μW/cm ²	0,8558	6,85
		1,5 g		0,9110	6,83
		2 g		0,9598	6,91
		1 g	743±3,56 μW/cm ²	0,9281	6,82
		1,5 g		0,9419	6,69
		2 g		0,9780	6,79
		1 g	849±1,92 μW/cm ²	0,9914	6,83
		1,5 g		0,8239	6,79
		2 g		0,9797	6,38
Reaksi Orde 2	TiO ₂	1 g	732±5,17 μW/cm ²	0,8597	1,05e-3
		1,5 g		0,9146	1,06e-3
		2 g		0,9601	9,90e-4
		1 g	743±3,56 μW/cm ²	0,9264	1,08e-3
		1,5 g		0,9440	1,22e-3
		2 g		0,9776	1,10e-3
		1 g	849±1,92 μW/cm ²	0,9880	1,07e-3
		1,5 g		0,7440	1,018e-3
		2 g		0,9742	1,01e-3

Berdasarkan Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa laju reaksi pada proses penyisihan COD oleh katalis TiO₂ terjadi pada reaksi orde 0 yang menggunakan Persamaan (2.12) karena memiliki nilai R² yang paling mendekati 1 yaitu 0,9937 terdapat pada TiO₂ 1 g pada intensitas penyinaran 849±1,92 μW/cm². Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Atmadani & Hidayah (2022) dengan penelitian berupa *Resin Immobilized Photocatalyst Technology* (RIPT) menggunakan TiO₂ pada limbah cair tahu juga menghasilkan kinetika reaksi orde nol yang berarti

bahwa konsentrasi katalis yang dibubuhkan dalam proses fotokatalisis tidak dapat memengaruhi kecepatan laju reaksi.

4.3 Pengaplikasian Metode Fotokatalisis dalam Pengolahan Air Limbah Hasil Industri Perikanan

Proses fotokatalisis menggunakan ZnO dan TiO₂ menghasilkan penurunan konsentrasi dari parameter NH₄, BOD dan COD yang secara tidak beraturan, hal tersebut disebabkan oleh beberapa hal salah satunya adalah tingkat kekeruhan dalam air limbah pada proses fotokatalisis. Pengaplikasian proses fotokatalisis dalam kondisi *real* nantinya akan dilakukan dengan urutan unit sesuai kondisi eksisting yang dimulai dari bak pengendapan, bak fotokatalisis, *rapid sand filter*, tangki biofilter dan bak pengumpul. Penambahan *rapid sand filter* pada rangkaian Instalasi Pengolahan Air Limbah dilakukan untuk mengurangi adanya padatan tersuspensi yang disebabkan oleh pembubuhan katalis pada saat proses fotokatalisis berlangsung. *Rapid sand filter* tersusun atas beberapa media seperti pasir dan kerikil. *Rapid sand filter* memiliki kelebihan berupa biaya operasional dan maintenance yang relatif murah, lahan yang dibutuhkan tidak terlalu luas, serta waktu pengoperasian yang cepat (Ardiatma, Ilyas, & Hanif, 2020).

4.4 Analisis Pengaruh Massa ZnO dan TiO₂, Waktu Penyinaran dan Intensitas Penyinaran terhadap Penurunan Konsentrasi NH₄, BOD dan COD

Pengaruh massa ZnO dan TiO₂, waktu penyinaran dan intensitas penyinaran terhadap penurunan konsentrasi NH₄, BOD dan COD dalam air limbah industri hasil perikanan dianalisis menggunakan uji *one way* ANOVA. *One way* ANOVA merupakan uji statistik yang dapat dilakukan apabila data berdistribusi normal dan homogen (Ghozali, 2018). Hasil yang diperoleh dari uji *one way* ANOVA pada pengaruh massa ZnO dan TiO₂ dan intensitas penyinaran menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh signifikan. Hal tersebut didukung dengan adanya model kinetika kimia pada penelitian ini yang terjadi pada orde nol (0). Sehingga proses fotokatalisis dalam limbah cair pengolahan hasil industri perikanan tidak dipengaruhi secara signifikan oleh massa ZnO dan TiO₂, waktu penyinaran. Pada intensitas penyinaran terdapat pengaruh yang signifikan dalam

menurunkan NH₄, BOD dan COD yang disebabkan oleh kebutuhan energi ZnO dan TiO₂ tercukupi dengan adanya intensitas penyinaran yang telah disediakan.

4.4.1 Pengaruh Massa ZnO dan TiO₂

Analisis pengaruh massa ZnO dan TiO₂ menggunakan *one way* ANOVA dimulai dengan uji normalitas menggunakan *Kolmogorov-Smirnov Test*.

Tabel 4.8 Uji Normalitas Massa ZnO dan TiO₂ terhadap Konsentrasi NH₄, BOD dan COD

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
		Standardized Residual
N		648
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	0,0000
	Std. Deviation	1,00077
Most Extreme Differences	Absolute	0,148
	Positive	0,119
	Negative	-0,148
Test Statistic		0,148
Asymp. Sig. (2-tailed)		0,000 ^c
a. Test distribution is Normal.		
b. Calculated from data.		
c. Lilliefors Significance Correction.		

Berdasarkan Tabel 4.8, hasil uji normalitas menggunakan *One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test* menunjukkan bahwa residual data tidak berdistribusi secara normal yang ditunjukkan pada nilai Asymp. Sig. (2-tailed) sebesar $0,000 < 0,05$. Berdasarkan syarat uji *one way* ANOVA, maka data yang digunakan tidak memenuhi asumsi normalitas data sehingga analisis dilakukan menggunakan uji non-parametrik berupa *Kruskal-Wallis*.

Tabel 4.9 Uji *Kruskal-Wallis* Pengaruh Massa ZnO dan TiO₂

Test Statistics ^{a,b}	
	Kualitas Limbah Cair Industri Hasil Perikanan
Kruskal-Wallis H	2,807
df	5
Asymp. Sig.	0,730
a. Kruskal Wallis Test	
b. Grouping Variable: Katalis	

Hasil uji Kruskal-Wallis pada Tabel 4.9 menunjukkan nilai Asymp. Sig. $0,730 > 0,05$ sehingga H_0 diterima yang berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara penggunaan massa ZnO dan TiO₂ terhadap penurunan konsentrasi NH₄, BOD dan COD pada limbah cair industri hasil perikanan. Hal tersebut dapat disebabkan oleh massa ZnO dan TiO₂ dengan nilai masing-masing 1 g, 1,5 g dan 2 g dinilai kurang atau bahkan lebih dalam penggunaannya.

4.4.2 Pengaruh Waktu Penyinaran

Analisis pengaruh waktu penyinaran menggunakan *one way* ANOVA dimulai dengan uji normalitas menggunakan *Kolmogorov-Smirnov Test*.

Tabel 4.10 Uji Normalitas Waktu Penyinaran terhadap Konsentrasi NH₄, BOD dan COD

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
		Standardized Residual
N		648
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	0,0000
	Std. Deviation	331,08030
Most Extreme Differences	Absolute	0,252
	Positive	0,252
	Negative	-0,169
Test Statistic		0,252
Asymp. Sig. (2-tailed)		0,000 ^c
a. Test distribution is Normal.		
b. Calculated from data.		
c. Lilliefors Significance Correction.		

Berdasarkan Tabel 4.10, hasil uji normalitas menggunakan *One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test* menunjukkan bahwa residual data tidak berdistribusi secara normal yang ditunjukkan pada nilai Asymp. Sig. (2-tailed) sebesar $0,000 < 0,05$. Berdasarkan syarat uji *one way* ANOVA, maka data yang digunakan tidak memenuhi asumsi normalitas data sehingga analisis dilakukan menggunakan uji non-parametrik berupa *Kruskal-Wallis*.

Tabel 4.11 Uji *Kruskal-Wallis* Pengaruh Waktu Penyinaran

Test Statistics^{a,b}	
	Limbah Cair Industri Hasil Pengolahan Perikanan
Kruskal-Wallis H	0,593
df	8
Asymp. Sig.	1,000
a. Kruskal Wallis Test	
b. Grouping Variable: Waktu Penyinaran	

Hasil uji Kruskal-Wallis pada Tabel 4.11 menunjukkan nilai Asymp. Sig. 1,000 > 0,05 sehingga H_0 diterima yang berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara penggunaan waktu penyinaran terhadap penurunan konsentrasi NH_4 , BOD dan COD pada limbah cair industri hasil perikanan. Hal tersebut dapat disebabkan oleh waktu penyinaran selama 8 jam dianggap terlalu lama atau bahkan terlalu cepat dalam proses fotokatalisis.

4.4.3 Pengaruh Intensitas Penyinaran

Analisis pengaruh intensitas penyinaran menggunakan *one way ANOVA* dimulai dengan uji normalitas menggunakan *Kolmogorov-Smirnov Test*.

Tabel 4.12 Uji Normalitas Intensitas Penyinaran terhadap Konsentrasi NH_4 , BOD dan COD

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test			
		Standardized Residual	
N		648	
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	-0,0001	
	Std. Deviation	332,38836	
	Most Extreme Differences	Absolute	0,261
		Positive	0,261
		Negative	-0,180
Test Statistic		0,261	
Asymp. Sig. (2-tailed)		0,000 ^c	
a. Test distribution is Normal.			
b. Calculated from data.			
c. Lilliefors Significance Correction.			

Berdasarkan Tabel 4.12, hasil uji normalitas menggunakan *One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test* menunjukkan bahwa residual data tidak berdistribusi secara normal yang ditunjukkan pada nilai Asymp. Sig. (2-tailed) sebesar $0,000 < 0,05$. Berdasarkan syarat uji *one way ANOVA*, maka data yang digunakan tidak memenuhi asumsi normalitas data sehingga analisis dilakukan menggunakan uji non-parametrik berupa *Kruskal-Wallis*.

Tabel 4.13 Uji *Kruskal-Wallis* Pengaruh Intensitas Penyinaran

Test Statistics^{a,b}	
	Limbah Cair Industri Hasil Pengolahan Perikanan
Kruskal-Wallis H	5,817
df	2
Asymp. Sig.	0,055
a. Kruskal Wallis Test	
b. Grouping Variable: Intensitas Penyinaran	

Hasil uji *Kruskal-Wallis* pada Tabel 4.13 menunjukkan nilai Asymp. Sig. $0,055 = 0,05$ sehingga H_0 ditolak yang berarti terdapat pengaruh yang signifikan antara penggunaan intensitas penyinaran terhadap penurunan konsentrasi NH_4 , BOD dan COD pada limbah cair industri hasil perikanan. Hal tersebut dapat disebabkan oleh intensitas penyinaran sebesar $732 \pm 5,17 \mu W/cm^2$, $743 \pm 3,56 \mu W/cm^2$ dan $849 \pm 1,92 \mu W/cm^2$ memiliki nilai yang cukup untuk mengaktifkan katalis ZnO dan TiO_2 .

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain:

1. Massa senyawa ZnO untuk menyisihkan NH₄, BOD dan COD pada kondisi optimum yaitu 1,5 g, sedangkan untuk massa senyawa TiO₂ yaitu sebesar 2 g.
2. Waktu penyinaran dan intensitas penyinaran yang optimum untuk menyisihkan NH₄, BOD dan COD pada proses fotokatalisis untuk ZnO dan TiO₂ yaitu pada waktu penyinaran 7 jam dan 8 jam dengan intensitas penyinaran yang sama yaitu $743 \pm 3,56 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.
3. Kinerja proses fotokatalisis pada limbah cair pengolahan hasil perikanan cenderung mengikuti reaksi orde 0, hal tersebut menunjukkan bahwa proses fotokatalisis yang terjadi tidak dipengaruhi oleh adanya konsentrasi katalis yang diberikan.

5.2 Saran

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian berikutnya yaitu melakukan pengujian dengan skala yang lebih besar untuk mengetahui efektivitas dari proses fotokatalisis pada limbah cair industri hasil perikanan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelfattah, I., & Ismail, A. A. (2023). Reduction of COD concentration and complete removal of phenol in industrial wastewater utilizing mesoporous TiO₂ nanoparticles under UVA illumination. *Optical Materials*.
- Adnan, F., Hidayat, R., & Meicahayanti, I. (2021). Pengaruh pH, UV dan TiO₂ untuk mendegradasi variasi asam humat berbasis fotokatalis. *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*, 9-16.
- Anh, H. T., Shamsavari, E., Bott, N. J., & Ball, A. S. (2021). Bioaugmentation of seafood processing wastewater enhances the removal of inorganic nitrogen and chemical oxygen demand. *Aquaculture*.
- Annisaputri, W. A., Azzah, A. N., & Wibisono, R. D. (2020). Studi Potensi Fotokatalis dari Material Kerangka Logam-Organik (Metal-Organik Framework) untuk Degradasi Zat Pewarna Limbah Batik. *The Indonesian Green Technology Journal*.
- Ardiatma, D., Ilyas, N. I., & Hanif. (2020). Pengaruh Diameter Media Filtrasi Zeolit terhadap Turbidity, TDS dan TSS pada Reaktor Filter. *Jurnal Pelita Teknologi*, 99-105.
- Asri, A., Arief, I. L., Faryuni, I. D., Nurhanisa, M., & Hidayat, W. (2022). Uji Kinerja Polipropilena Berlapisan Fotokatalis TiO₂ pada Fotodegradasi Methylene Blue. *Jurnal Fisika Flux*.
- Asrori, M. K., Hidayah, E. N., & Wibisana, H. (2022). Analisis Kinerja Resin Immobilized Photocatalyst dalam Meningkatkan Kualitas Efluen Limbah Cair. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*.
- Astuti, D., & Rosemalia, I. (2022). Review: Penurunan BOD (Biological Oxygen Demand) Limbah Cair Domestik dengan Teknik Fitoremediasi. *Jurnal Unitek*.
- Atmadani, A. A., & Hidayah, E. N. (2022). Kinetika Reaksi Resin Immobilized Photocatalyst Technology (RIPT) TiO₂ Sebagai Bahan Alternatif Pengolahan Limbah Cair Tahu. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, 584-594.
- Dini, E. W., & Wardhani, S. (2014). Degradasi Metilen Biru menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit. *Chem. Prog.*
- Eddy, D. R., Permana, M. D., Sakti, L. K., Sheha, G. A., Solihudin, Hidayat, S., . . . Rahayu, I. (2023). Heterophase Polymorph of TiO₂ (Anatase, Rutile, Brookite, TiO₂ (B)) for Efficient Photocatalyst: Fabrication and Activity. *Nanomaterials*.
- Ghozali, I. (2018). *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 25*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.

- Hammer Sr., M. J., & Hammer Jr., M. J. (2014). *Water and Wastewater Technology*. United States of America: Pearson New International Edition.
- Harahap, M. R., Amanda, L. D., & Matondang, A. H. (2020). Analisis Kasar COD (Chemical Oxygen Demand) dan TSS (Total Suspended Solid) pada Limbah Cair dengan Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. *AMINA*.
- Juhra, F., & Notodarmojo, S. (2016). Degradasi Zat Warna pada Air Gambut Menggunakan Metode Fotokatalitik ZnO. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 1-10.
- Kazeminezhad, I., & Sadollahkhani, A. (2016). Influence of pH on the photocatalytic activity of ZnO nanoparticles. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*.
- Khalatbari, S., Sotaniemi, V. H., Suokas, M., Taipale, S., & Leiviska, T. (2023). Microalgae technology for polishing chemically-treated fish processing wastewater. *Groundwater for Sustainable Development*.
- Khaliq, A. (2019). Analisis Sistem Pengolahan Air Limbah pada Kelurahan Kelayan Luar Kawasan IPAL Pekapuran Raya PD PAL Kota Banjarmasin. *Jurnal Poros Teknik*, 34-42.
- Kholidah, Wahyuni, E. T., & Sugiharto, E. (2021). Fotodegradasi Terkatalisis TiO₂-H₂O₂ pada Pengolahan Limbah Cair Industri Mie Soun. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 164-174.
- Kuwniawati, Y. D., Prodjosantoso, A., & Kusumawardani, C. (2016). Uji Aktivitas Fotokatalitik Senyawa Ca₁₋₂CoxTiO₃ pada Proses Degradasi Metilen Biru dengan Sinar UV dan Sinar Tampak.
- Le, A. T., Le, T. D., Cheong, K.-Y., & Pung, S.-Y. (2022). Immobilization of zinc oxide-based photocatalyst for organic pollutant degradation: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*.
- Lee, D. E., Kim, M. K., Danish, M., & Jo, W. K. (2023). State-of-the-art review on photocatalysis for efficient wastewater treatment: Attractive approach in photocatalyst design and parameters affecting the photocatalytic degradation. *Catalysis Communications*.
- Liang, H., Rehan, M. A., Li, J., Du, S., Zhai, Y., & Li, G. (2024). Kinetic simulation of hydrogen production reaction parameters based on TiO₂ photocatalyst. *Applied Thermal Engineering*.
- Malovanyy, M., Sakalova, H., Vasylynych, T., & Krykyvyi, R. (2019). The Research on the Ammonium Concentrations in City Stocks and Further Sedimentation of Ion-Exchange Concentrate. *Journal of Ecological Engineering*, 158-164.
- Masduqi, A., & Assomadi, A. F. (2019). Operasi & Proses Pengolahan Air. i A. Masduqi, & A. F. Assomadi, *Operasi & Proses Pengolahan Air*. Surabaya: ITS Press.

- Metcalf, & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. Chemical Engineering.
- Mohar, R. S., Soewoto, H. P., & Garinas, W. (2021). TINJAUAN PENGGUNAAN MATERIAL FOTOKATALIS UNTUK PENINGKATAN REAKSI DEGRADASI SIANIDA. *Jurnal Rekayasa Pertambangan (JRP)*.
- Mukherjee, J., Lodh, B. K., Sharma, R., Mahata, N., Shah, M. P., Mandal, S., . . . Bhunia, B. (2023). Advanced oxidation process for the treatment of industrial wastewater: A review on strategies, mechanisms, bottlenecks and prospects. *Chemosphere*.
- Ngibad, K. (2019). Penentuan Konsentrasi Ammonium dalam Air Sungai Pelayaran Ngelom. *Journal of Medical Laboratory Science Technology*.
- Nisah, K., Aida, N., & Maufunna, Z. (2023). Uji Efektivitas Pengolahan Air Limbah Tahu dengan Metode Fotodegradasi menggunakan Fotokatalis TiO₂. *AMINA*.
- Pangestika, W., Baswantara, A., Nusaibah, Widiyanto, D. I., Siregar, A. N., & Rahmawati, E. W. (2022). Penanganan limbah cair hasil pengolahan ikan asin dengan menggunakan ozonisasi. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 534-543.
- Priantoro, B., & R, T. A. (2020). Efektivitas Intensitas Cahaya UV-C untuk Menurunkan Parameter Pencemar Limbah Batik. *Seminar Nasional (ESEC)*.
- Qur'ani, V. F., Setiawan, A., & Tarikh, A. R. (2022). Proses Fotokatalitik Kandungan Zat Warna Metilen Biru pada Air Limbah Artifisial menggunakan Bentonit Terimpregnasi N-TiO₂. *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*. Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Rahman, D. Y., & Sulistyowati, R. (2023). Aplikasi Fotokatalis TiO₂ dan Alternatifnya untuk Degradasi Pewarna Sintetis dalam Limbah Cair. *Environmental Science Journal (ESJo): Jurnal Ilmu Lingkungan*.
- Raizada, P., Sudhaik, A., & Singh, P. (2019). Photocatalytic water decontamination using graphene and ZnO coupled photocatalysts: A review. *Materials Science for Energy Technologies*.
- Ramadhika, L. N., Aprilia, A., & Safriani, L. (2021). Studi Preparasi Senyawa ZnO:TiO₂ sebagai Material Fotokatalis. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 83-95.
- Rizqullah, M. (2018). *Pengaruh Rasio Fotokatalis dengan Limbah dan Lama Penyinaran Terhadap Kemampuan Beads TiO₂-Bentonit/Kitosan dan TiO₂-N-Bentonit/Kitosan dalam Mendegradasi Limbah Cair Industri Tempe Menggunakan Sinar UV*. Malang: Universitas Brawijaya.

- Rohman, T., Irwan, A., & Rahmi, Z. (2018). PENURUNAN KADAR AMONIAK DAN FOSFAT LIMBAH CAIR TAHU SECARA FOTO KATALITIK MENGGUNAKAN TiO₂ DAN H₂O₂. *Sains Natural*.
- Sadikin, S. N., Ridwan, J., Umar, M. I., Raub, A. A., Yunas, J., Hamzah, A. A., . . . Umar, A. A. (2023). Photocatalytic activity and stability properties of porous TiO₂ film as photocatalyst for methylene blue and methylene orange degradation. *International Journal of Electrochemical Science*.
- Sanchis, R., Delgado, D., Agouram, S., Soriano, M., Vazquez, M., Rodriguez-Castellon, E., . . . Nieto, J. L. (2017). NiO diluted in high surface area TiO₂ as an efficient catalyst for the oxidation dehydrogenation of ethane. *Applied Catalysis A: General*, 18-26.
- Satria, A. W. (2019). Pengolahan Nitrifikasi Limbah Amonia dan Denitrifikasi Limbah Fosfat dengan Biofilter Tercelup. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 243-250.
- Setiawan, A., Sugiarto, C., Mayangsari, N. E., Ari, M., & Santiasih, I. (2023). Sintesis dan Karakterisasi Komposit TiO₂/Zeolit sebagai Fotokatalis pada Degradasi Amonia Di Dalam Air Limbah. *Jurnal Teknologi*.
- Setiawan, Y. A. (2018). *Fotodegradasi Linear Alkylbenzene Sulfonate pada Limbah Laundry dengan Semikonduktor ZnO sebagai Fotokatalis*. Surabaya: UPN Veteran Jawa Timur.
- Sincero Sr., A. P., & Sincero, G. A. (2003). *Physical-Chemical Treatment of Water and Wastewater*. London: IWA Publishing.
- Souli, I., Afonso, C., Lopes, A., Pacheco, M. J., Ciriaco, L., Labiadh, L., . . . Fernandes, A. (2023). Treatment of fish canning wastewater by electrochemical oxidation process. *Journal of Waste Process Engineering*.
- Sugiyana, D., & Harja, Y. (2014). Dekolorisasi Fotokatalitik Air Limbah Tekstil Mengandung Zat Warna Azo Acid Red 4 Menggunakan Mikropartikel TiO₂ dan ZnO. *Arena Tekstil*, 9-16.
- Sugiyana, D., & Notodarmojo, S. (2015). Studi Mekanisme Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Azo Acid Red 4 menggunakan Katalis Mikropartikel TiO₂. *Arena Tekstil*, 83-94.
- Sujatha, G., Shantakumar, S., & Chiampo, F. (2020). UV Light-Irradiated Photocatalytic Degradation of Coffee Processing Wastewater Using TiO₂ as a Catalyst. *Environments*.
- Utami, M., Wang, S., Musawwa, M. M., Mafruhah, L., Fitri, M., Wijaya, K., . . . Ramanujam, G. M. (2023). Photocatalytic degradation of naphthol blue from Batik wastewater using functionalized TiO₂-based composites. *Chemosphere*.
- Wahyudi, F., Saputera, W. H., Sasongko, D., & Devianto, H. (2023). Studi Pengaruh Konsentrasi Katalis ZnO untuk Degradasi Limbah Palm Oil Mill Effluent

- (POME) Menggunakan Teknologi Fotokatalitik. *Jurnal Teknik: Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik*, 105-113.
- Widiyanti, A., & Hamidah, L. N. (2021). Pengolahan Limbah Cair Bekas Pencucian Ikan Menggunakan Scirpus grossus. *Journal of Research and Technology*, 61-70.
- Wildan, A., & Mutiara, E. V. (2019). Uji Aktivitas Fotokatalis TiO₂ Dopan-N Kombinasi Zeolit pada Pengolahan Limbah Farmasi. *Inovasi Teknik Kimia*, 1-6.
- Wulansari, F. (2018). *Penurunan Nilai COD Limbah Batik Menggunakan Fotokatalis Granul TiO₂-Zeolit/Kitosan dan TiO₂N-Zeolit/Kitosan: Kajian Komposisi Fotokatalis Terhadap Limbah dan Pengaruh Sinar*. Malang: Universitas Brawijaya.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

LAMPIRAN

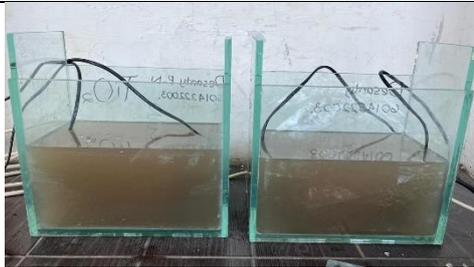
Lampiran 1 Dokumentasi Penelitian



Senyawa TiO_2



Senyawa ZnO



Reaktor yang berisi sampel



Reaktor yang berisi sampel dan katalis



Reaktor yang berisi sampel, katalis
dan UV



UV light meter



Sampel setelah proses fotokatalisis
 TiO_2



Sampel setelah proses fotokatalisis
 ZnO

Lampiran 2 Uji Karakteristik Air Limbah

A. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Alat:

1. Botol DO
2. Lemari inkubasi atau *water cooler*, suhu $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, GELAP
3. Botol dari gelas 5 L-10 L
4. Pipet volumetrik 1 mL dan 10 mL
5. Labu ukur 100 mL, 200 mL dan 1000 mL
6. pH meter
7. DO meter yang terkalibrasi
8. *Shaker*
9. Blender
10. Oven
11. Timbangan analitik

Bahan:

1. Larutan buffer fosfat
2. Larutan magnesium sulfat
3. Larutan kalsium klorida
4. Larutan feri klorida
5. Larutan suspensi bibit mikroba
6. Air bebas mineral
7. Larutan air pengencer
8. Larutan glukosa-asam glutamat
9. Larutan asam sulfat
10. Larutan natrium sulfit
11. Inhibitor nitrifikasi Allylthiourea (ATU)
12. Asam asetat
13. Larutan kalium iodida 10%
14. Larutan indikator amilum (kanji)

B. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Alat:

1. Spektrofotometer sinar tampak (400 nm sampai dengan 700 nm)
2. Kuvet
3. *Digestion vessel*
4. Pemanas dengan lubang-lubang penyangga (*heating block*)
5. Buret
6. Labu ukur 50 mL, 100 mL, 250 mL, 500 mL dan 1000 mL
7. Pipet volumetrik 5 mL, 10 mL, 15 mL, 20 mL dan 25 mL
8. Gelas piala
9. *Magnetic stirrer*
10. Timbangan analitik dengan ketelitian 0,1 mg

Bahan:

1. Air bebas organik
2. *Digestion solution* pada kisaran konsentrasi tinggi
3. *Digestion solution* pada kisaran konsentrasi rendah
4. Larutan pereaksi asam sulfat
5. Asam sulfamat ($\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$)
6. Larutan baku Kalium Hidrogen Ftalat ($\text{HOOC}_6\text{H}_4\text{COOK}$, KHP) \approx
COD 500 mg O_2/L

C. Ammonium (NH_4)

Alat:

1. Spektrofotometer
2. Timbangan analitik
3. Erlenmeyer 100 mL
4. Gelas ukur 25 mL
5. Pipet ukur 10 mL

Bahan :

1. Amonium klorida (NH_4Cl)
2. Reagen Nessler
3. Garam Seignette

Lampiran 3 Data Penelitian

Proses Fotokatalisis Menggunakan ZnO 1 g - $732 \pm 5,17 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

Parameter	Karakteristik Awal	ZnO 1 g								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	6,8	7,36	7,53	7,64	7,7	7,73	7,8	7,84	7,91	8,05
Ef BOD		50%	0%	3%	1%	2%	2%	5%	4%	3%
BOD	864	433	501	485	495	491	493	478	482	484
Ef COD		50%	0%	4%	6%	4%	1%	4%	3%	3%
COD	1616,7	801,7	928,3	895,0	874,0	889,0	915,0	888,3	898,3	901,7
Ef Ammonium		68%	0%	5%	7%	16%	19%	18%	17%	20%
Ammonium	1,75	0,55	0,53	0,50	0,49	0,44	0,42	0,43	0,44	0,42

Proses Fotokatalisis Menggunakan ZnO 1,5 g - $732 \pm 5,17 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

Parameter	Karakteristik Awal	ZnO 1,5 g								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	6,8	6,72	7,03	7,19	7,21	7,38	7,4	7,47	7,59	7,79
Ef BOD		52%	0%	2%	2%	3%	4%	1%	3%	4%
BOD	864	419	350	341	342	340	335	346	340	337
Ef COD		50%	0%	3%	1%	3%	5%	2%	2%	1%
COD	1616,7	811,7	808,3	783,3	798,3	785,0	771,7	791,7	795,0	801,7
Ef Ammonium		67%	0%	4%	6%	7%	17%	11%	22%	21%
Ammonium	1,75	0,58	0,77	0,73	0,72	0,71	0,63	0,68	0,59	0,60

Proses Fotokatalisis Menggunakan ZnO 2 g - $732 \pm 5,17 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

Parameter	Karakteristik Awal	ZnO 2 g								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	6,8	7,32	7,46	7,55	7,59	7,63	7,78	7,83	7,93	8,06
Ef BOD		35%	0%	10%	9%	10%	12%	14%	16%	15%
BOD	864	558	449	403	407	404	397	385	377	382
Ef COD		45%	0%	3%	4%	10%	12%	11%	10%	10%
COD	1616,7	885,0	831,7	805,0	798,3	748,3	735,0	738,3	745,0	748,3
Ef Ammonium		60%	0%	10%	13%	24%	25%	26%	23%	24%
Ammonium	1,75	0,71	0,69	0,62	0,60	0,53	0,52	0,51	0,53	0,53

Proses Fotokatalisis Menggunakan TiO₂ 1 g - $732 \pm 5,17 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

Parameter	Karakteristik Awal	TiO ₂ 1 g								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	6,8	7,2	7,25	7,3	7,39	7,44	7,56	7,79	7,88	7,91
Ef BOD		48%	0%	5%	3%	3%	4%	6%	8%	9%
BOD	864	448	314	297	305	306	300	295	289	286
Ef COD		48%	0%	5%	4%	3%	5%	5%	1%	1%
COD	1616,7	845,0	941,7	891,7	908,3	911,7	895,0	891,7	935,0	928,3
Ef Ammonium		67%	0%	2%	6%	16%	36%	27%	29%	35%
Ammonium	1,75	0,58	0,69	0,67	0,64	0,58	0,44	0,50	0,49	0,45

Proses Fotokatalisis Menggunakan TiO₂ 1,5 g - 732±5,17 μW/cm²

Parameter	Karakteristik Awal	TiO ₂ 1,5 g								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	6,8	6,99	7,1	7,27	7,32	7,51	7,63	7,78	7,82	7,89
Ef BOD		52%	0%	19%	23%	18%	14%	14%	18%	19%
BOD	864	419	350	283	269	285	299	301	287	283
Ef COD		43%	0%	7%	11%	6%	1%	1%	5%	7%
COD	1616,7	928,3	908,3	848,3	808,3	855,0	898,3	901,7	861,7	848,3
Ef Ammonium		65%	0%	6%	5%	25%	48%	47%	34%	30%
Ammonium	1,75	0,61	0,74	0,69	0,70	0,55	0,38	0,39	0,49	0,52

Proses Fotokatalisis Menggunakan TiO₂ 2 g - 732±5,17 μW/cm²

Parameter	Karakteristik Awal	TiO ₂ 2 g								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	6,8	7,36	7,41	7,46	7,48	7,62	7,67	7,79	7,8	7,89
Ef BOD		62%	0%	3%	13%	16%	16%	22%	18%	13%
BOD	864	325	325	314	282	273	272	253	266	284
Ef COD		40%	0%	2%	16%	13%	10%	7%	13%	9%
COD	1616,7	975,0	975,0	951,7	818,3	848,3	875,0	905,0	845,0	891,7
Ef Ammonium		56%	0%	3%	1%	8%	6%	13%	28%	28%
Ammonium	1,75	0,78	0,91	0,89	0,90	0,83	0,86	0,80	0,65	0,65

Proses Fotokatalisis Menggunakan ZnO 1 g - 743±3,56 μW/cm²

Parameter	Karakteristik Awal	ZnO 1 g								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	5,9	6,15	6,43	6,66	6,8	6,95	7,06	7,22	7,38	7,45
Ef BOD		50%	0%	4%	8%	18%	19%	20%	22%	19%
BOD	1248	619	621	598	572	512	501	497	483	502
Ef COD		60%	0%	2%	4%	8%	13%	17%	12%	19%
COD	2335	938,3	935,0	915,0	898,3	861,7	811,7	775,0	825,0	761,7
Ef Ammonium		60%	0%	8%	10%	21%	19%	18%	18%	19%
Ammonium	2,16	0,87	0,90	0,82	0,81	0,71	0,72	0,74	0,73	0,73

Proses Fotokatalisis Menggunakan ZnO 1,5 g - 743±3,56 μW/cm²

Parameter	Karakteristik Awal	ZnO 1,5 g								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	5,9	6,41	6,62	6,68	6,81	7	7,18	7,28	7,37	7,43
Ef BOD		75%	0%	2%	8%	12%	14%	16%	25%	27%
BOD	1248	312	275	270	253	241	237	231	207	202
Ef COD		60%	0%	2%	7%	11%	8%	16%	23%	31%
COD	2335	935,0	825,0	805,0	768,3	731,7	761,7	691,7	631,7	571,7
Ef Ammonium		60%	0%	3%	1%	2%	22%	26%	31%	31%
Ammonium	2,16	0,87	0,78	0,76	0,77	0,77	0,61	0,58	0,54	0,54

Proses Fotokatalisis Menggunakan ZnO 2 g - $743 \pm 3,56 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

Parameter	Karakteristik Awal	ZnO 2 g								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	5,9	6,45	6,71	6,8	6,89	7,11	7,21	7,36	7,4	7,52
Ef BOD		76%	0%	8%	13%	15%	16%	18%	13%	15%
BOD	1248	305	299	275	262	254	253	247	262	254
Ef COD		61%	0%	5%	9%	6%	6%	7%	13%	14%
COD	2335	915,0	898,3	855,0	815,0	841,7	848,3	831,7	785,0	775,0
Ef Ammonium		82%	0%	8%	3%	3%	10%	13%	21%	28%
Ammonium	2,16	0,39	0,29	0,26	0,28	0,28	0,26	0,25	0,23	0,21

Proses Fotokatalisis Menggunakan TiO₂ 1 g - $743 \pm 3,56 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

Parameter	Karakteristik Awal	TiO ₂ 1 g								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	5,9	6,17	6,49	6,62	6,77	6,85	7	7,14	7,25	7,33
Ef BOD		75%	0%	2%	3%	4%	8%	7%	10%	10%
BOD	1248	308	302	295	292	288	277	282	272	273
Ef COD		60%	0%	2%	5%	4%	1%	3%	7%	10%
COD	2335	925	905	885	858,3	865,0	891,7	875,0	845,0	818,3
Ef Ammonium		60%	0%	4%	10%	16%	17%	18%	29%	37%
Ammonium	2,16	0,87	0,83	0,80	0,75	0,70	0,69	0,68	0,59	0,52

Proses Fotokatalisis Menggunakan TiO₂ 1,5 g - $743 \pm 3,56 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

Parameter	Karakteristik Awal	TiO ₂ 1,5 g								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	5,9	6,33	6,42	6,75	6,88	7,01	7,16	7,29	7,4	7,51
Ef BOD		76%	0%	6%	9%	17%	11%	12%	18%	22%
BOD	1248	302	288	272	261	240	258	254	237	224
Ef COD		61%	0%	6%	10%	18%	12%	15%	21%	22%
COD	2335	905,0	865,0	815,0	775,0	711,7	765,0	731,7	681,7	671,7
Ef Ammonium		60%	0%	4%	8%	10%	22%	38%	36%	45%
Ammonium	2,16	0,87	0,82	0,79	0,76	0,74	0,64	0,51	0,52	0,46

Proses Fotokatalisis Menggunakan TiO₂ 2 g - $743 \pm 3,56 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

Parameter	Karakteristik Awal	TiO ₂ 2 g								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	5,9	6,33	6,42	6,75	6,88	7,01	7,16	7,29	7,4	7,51
Ef BOD		76%	0%	6%	9%	17%	11%	12%	18%	22%
BOD	1248	302	288	272	261	240	258	254	237	224
Ef COD		61%	0%	6%	10%	18%	12%	15%	21%	22%
COD	2335	905,0	865,0	815,0	775,0	711,7	765,0	731,7	681,7	671,7
Ef Ammonium		60%	0%	4%	8%	10%	22%	38%	36%	45%
Ammonium	2,16	0,87	0,82	0,79	0,76	0,74	0,64	0,51	0,52	0,46

Proses Fotokatalisis Menggunakan ZnO 1 g - $849 \pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

Parameter	Karakteristik Awal	ZnO 1 g								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	5,9	6,63	6,75	6,87	6,99	7,16	7,25	7,36	7,44	7,54
Ef BOD		77%	0%	6%	8%	11%	13%	14%	16%	22%
BOD	1248	292	289	273	265	256	253	247	244	226
Ef COD		63%	0%	5%	8%	11%	12%	14%	15%	21%
COD	2335	875,0	861,7	818,3	795,0	768,3	758,3	741,7	731,7	678,3
Ef Ammonium		55%	0%	13%	15%	18%	16%	30%	34%	35%
Ammonium	2,16	0,97	0,96	0,83	0,82	0,79	0,81	0,67	0,63	0,62

Proses Fotokatalisis Menggunakan ZnO 1,5 g - $849 \pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

Parameter	Karakteristik Awal	ZnO 1,5 g								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	5,9	6,63	6,71	6,98	7,24	7,36	7,65	7,74	7,86	7,93
Ef BOD		78%	0%	3%	7%	11%	5%	1%	5%	5%
BOD	1248	275	270	262	251	241	256	268	257	256
Ef COD		67%	0%	5%	9%	13%	7%	2%	6%	7%
COD	2335	765,0	825,0	785,0	751,7	721,7	768,3	805,0	771,7	768,3
Ef Ammonium		57%	0%	3%	5%	6%	14%	21%	30%	36%
Ammonium	2,16	0,93	0,92	0,89	0,87	0,86	0,79	0,73	0,64	0,59

Proses Fotokatalisis Menggunakan ZnO 2 g - $849 \pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

Parameter	Karakteristik Awal	ZnO 2 g								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	5,9	6,89	7	7,62	7,73	7,76	7,83	7,92	7,95	8,01
Ef BOD		79%	0%	4%	7%	10%	20%	17%	18%	22%
BOD	1248	263	272	262	254	244	218	225	223	213
Ef COD		66%	0%	3%	6%	9%	19%	16%	17%	21%
COD	2335	788,3	808,3	785,0	761,7	731,7	655,0	675,0	668,3	638,3
Ef Ammonium		56%	0%	8%	14%	13%	16%	18%	18%	19%
Ammonium	2,16	0,96	0,93	0,85	0,80	0,81	0,78	0,77	0,76	0,75

Proses Fotokatalisis Menggunakan TiO₂ 1 g - $849 \pm 1,92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

Parameter	Karakteristik Awal	TiO ₂ 1 g								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	5,9	6,59	6,71	6,78	6,93	6,97	7,13	7,23	7,28	7,39
Ef BOD		76%	0%	3%	6%	9%	11%	6%	15%	12%
BOD	1248	302	300	292	282	273	266	281	255	263
Ef COD		61%	0%	2%	5%	8%	10%	6%	14%	12%
COD	2335	905,0	891,7	875,0	845,0	818,3	798,3	841,7	765,0	788,3
Ef Ammonium		55%	0%	5%	6%	8%	9%	13%	15%	27%
Ammonium	2,16	0,96	0,95	0,90	0,90	0,87	0,87	0,83	0,81	0,69

Proses Fotokatalisis Menggunakan TiO₂ 1,5 g - 849±1,92 μW/cm²

Parameter	Karakteristik Awal	TiO ₂ 1,5 g								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	5,9	6,6	6,63	6,71	6,87	7	7,1	7,16	7,25	7,39
Ef BOD		69%	0%	31%	32%	37%	38%	41%	47%	62%
BOD	1248	388	349	241	236	218	217	205	185	134
Ef COD		66%	0%	10%	11%	18%	18%	23%	30%	50%
COD	2335	788,3	798,3	721,7	708,3	655,0	651,7	615,0	555,0	401,7
Ef Ammonium		57%	0%	1%	2%	6%	12%	16%	20%	26%
Ammonium	2,16	0,94	0,95	0,94	0,93	0,89	0,84	0,79	0,76	0,70

Proses Fotokatalisis Menggunakan TiO₂ 2 g - 849±1,92 μW/cm²

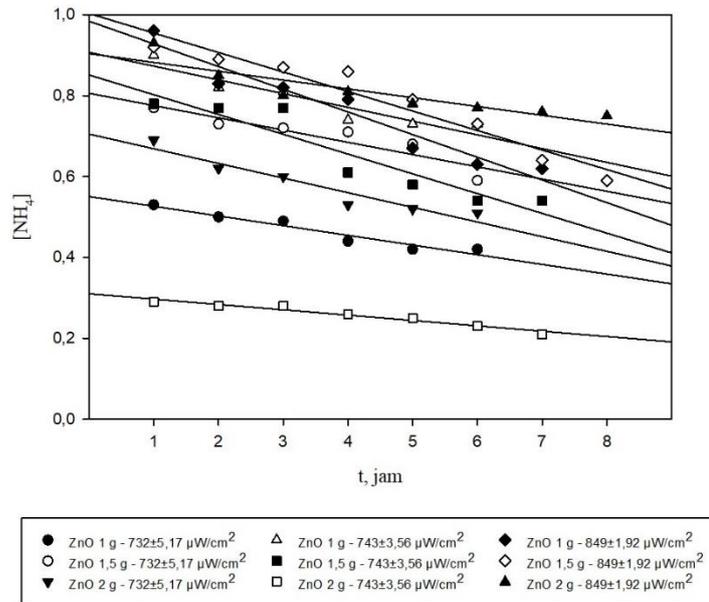
Parameter	Karakteristik Awal	TiO ₂ 2 g								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	5,9	6,72	6,99	7,18	7,25	7,32	7,36	7,48	7,78	8,08
Ef BOD		67%	0%	34%	38%	53%	55%	60%	54%	49%
BOD	1248	418	289	192	179	136	129	116	132	148
Ef COD		77%	0%	9%	28%	43%	58%	56%	61%	66%
COD	2335	545	468	428	335	268	198	208	182	158
Ef Ammonium		51%	0%	5%	11%	12%	17%	15%	14%	12%
Ammonium	2,16	1,05	1,01	0,96	0,89	0,88	0,83	0,86	0,87	0,88

Lampiran 4 Kinetika Kimia

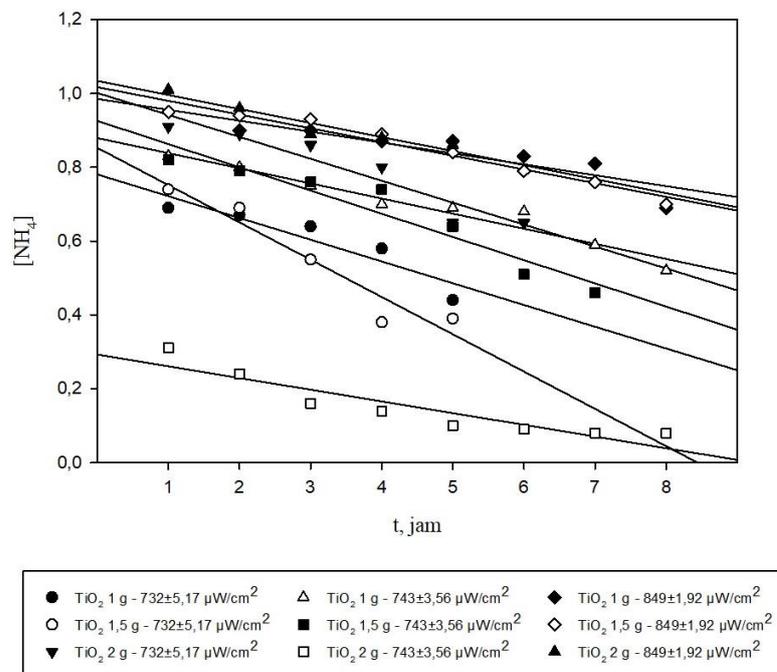
Reaksi Orde 0 (Nol)

Ammonium (NH₄)

Laju reaksi penyisihan NH₄ menggunakan ZnO

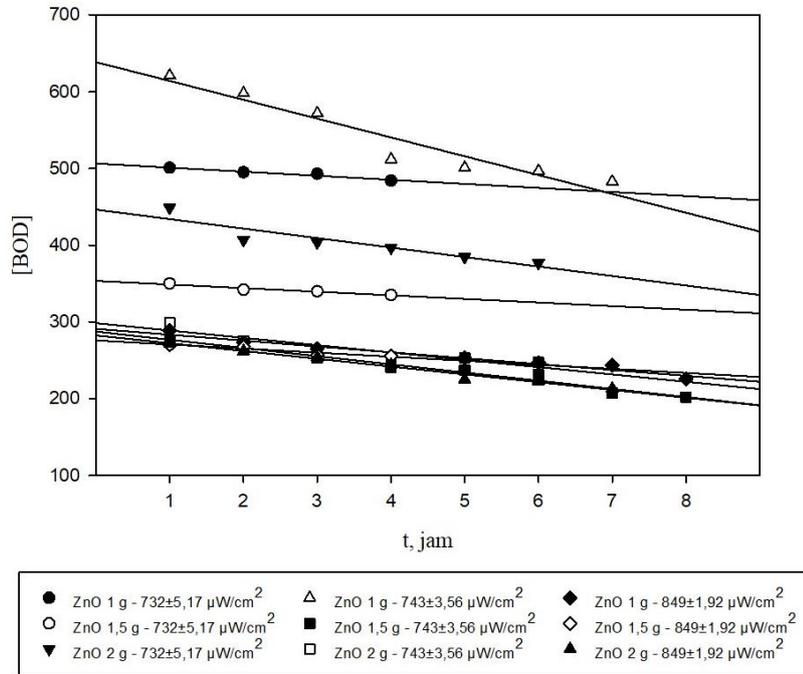


Laju reaksi penyisihan NH₄ menggunakan TiO₂

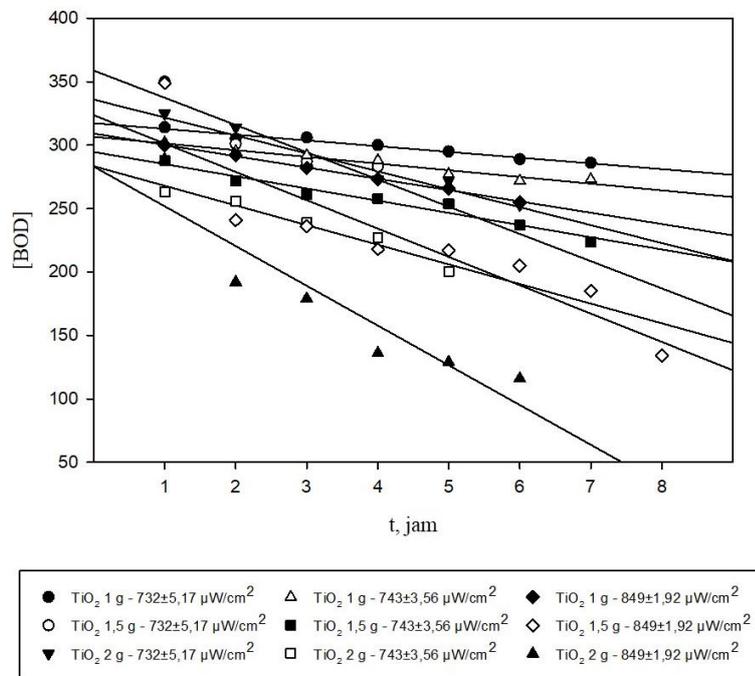


Biological Oxygen Demand (BOD)

Laju reaksi penyisihan BOD menggunakan ZnO

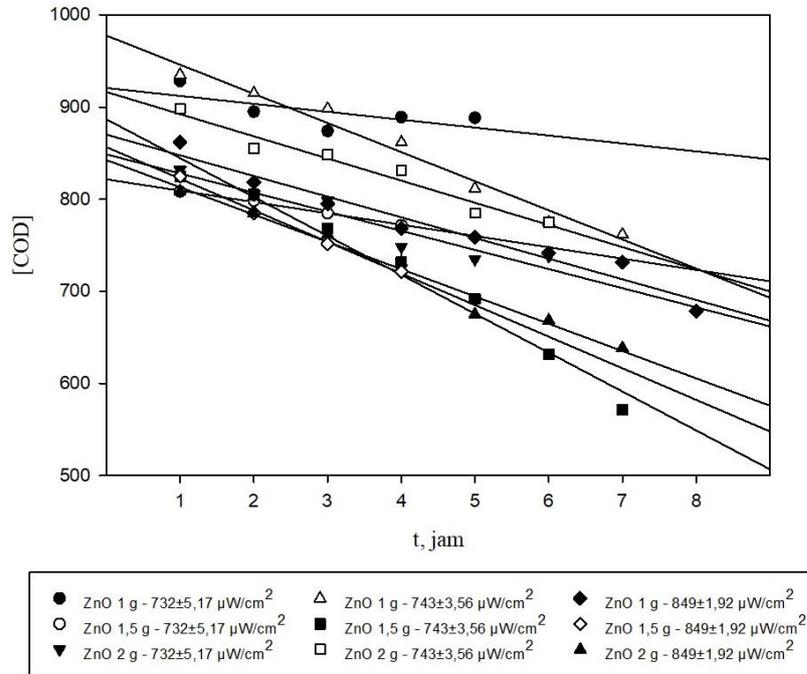


Laju reaksi penyisihan BOD menggunakan TiO₂

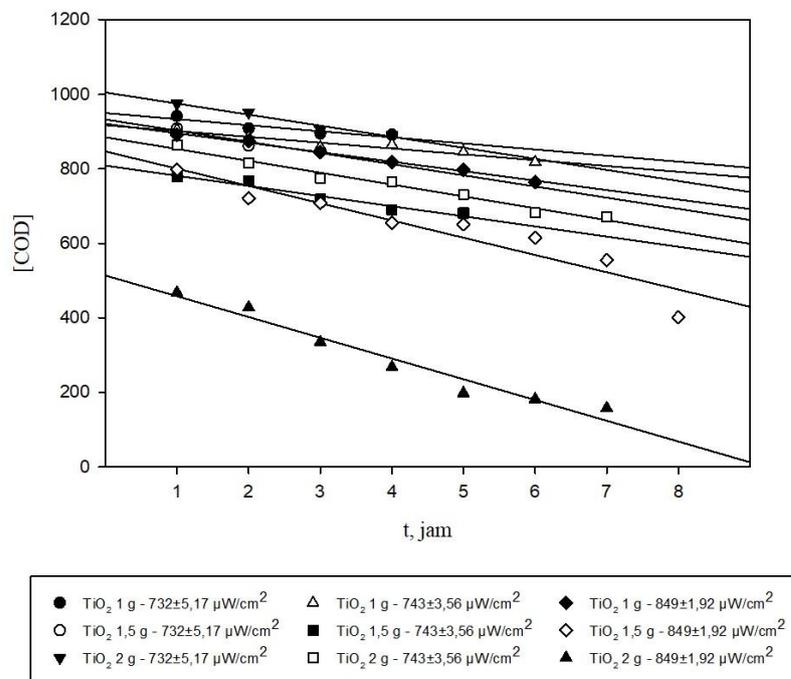


Chemical Oxygen Demand (COD)

Laju reaksi penyisihan COD menggunakan ZnO



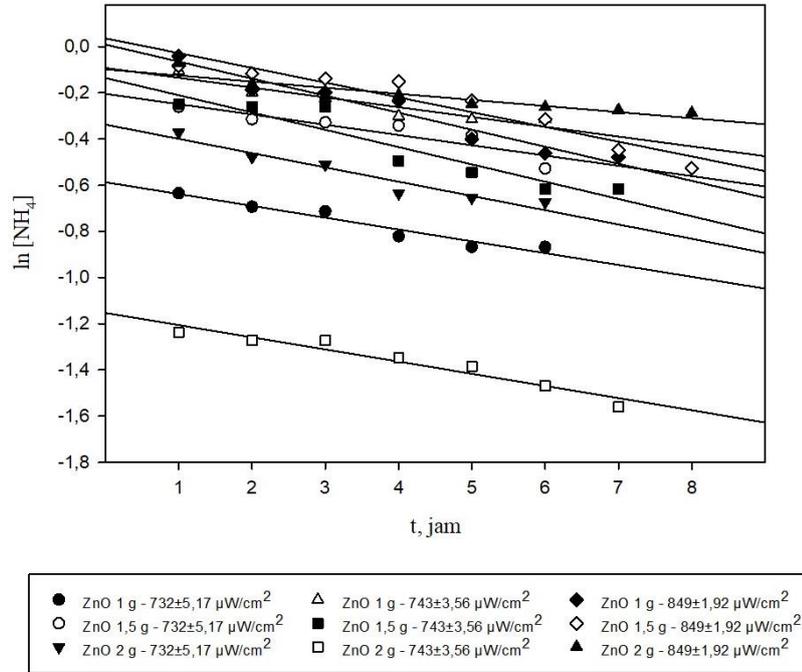
Laju reaksi penyisihan COD menggunakan TiO₂



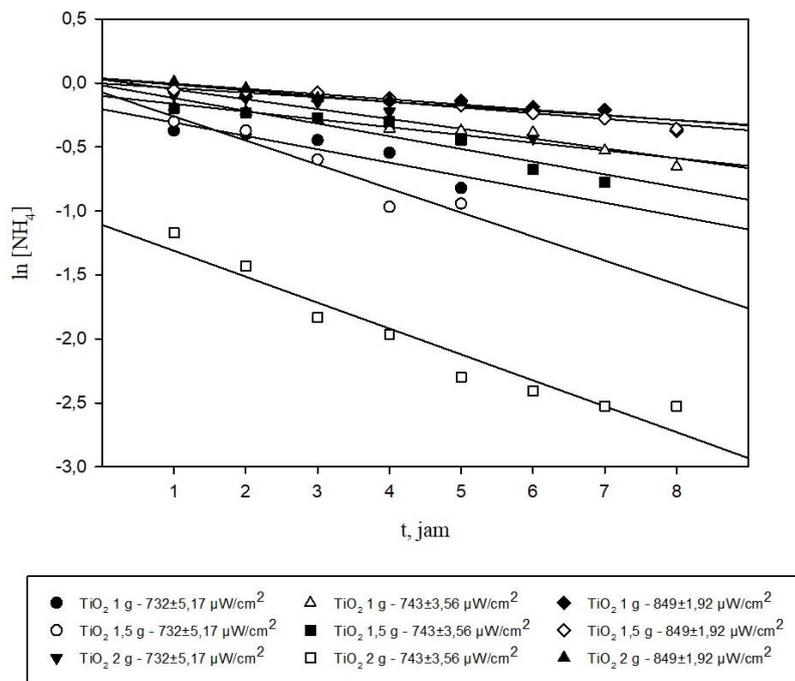
Reaksi Orde 1 (Satu)

Ammonium (NH₄)

Laju reaksi penyisihan NH₄ menggunakan ZnO

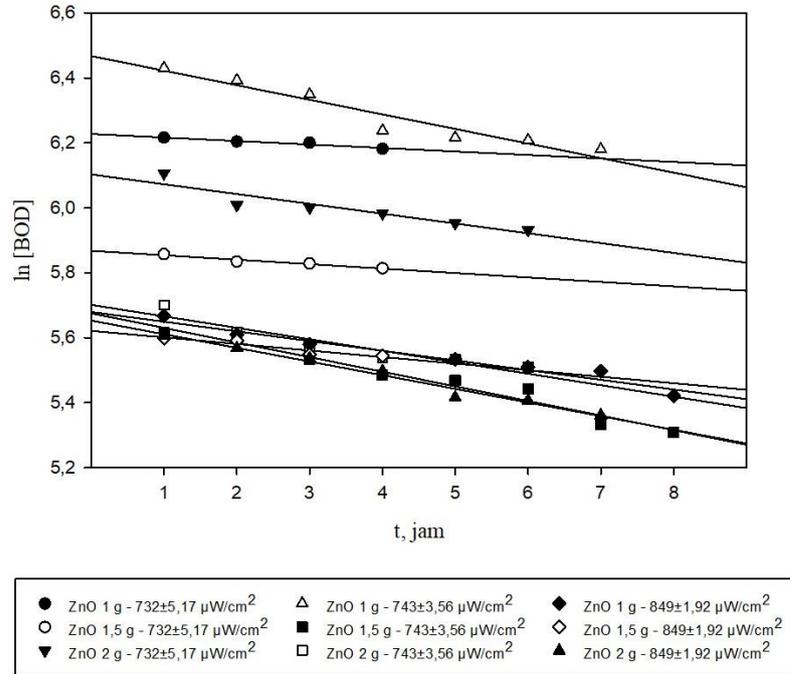


Laju reaksi penyisihan NH₄ menggunakan TiO₂

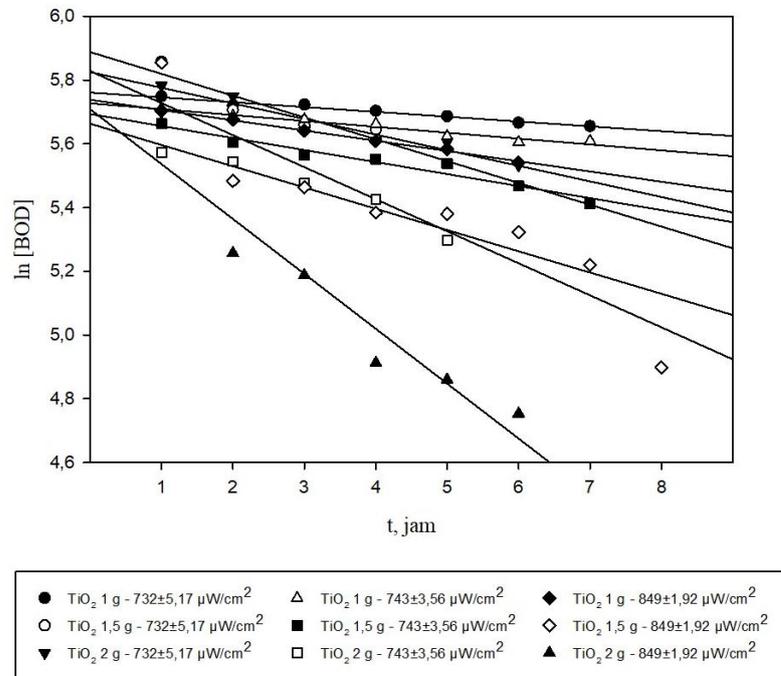


Biological Oxygen Demand (BOD)

Laju reaksi penyisihan BOD menggunakan ZnO

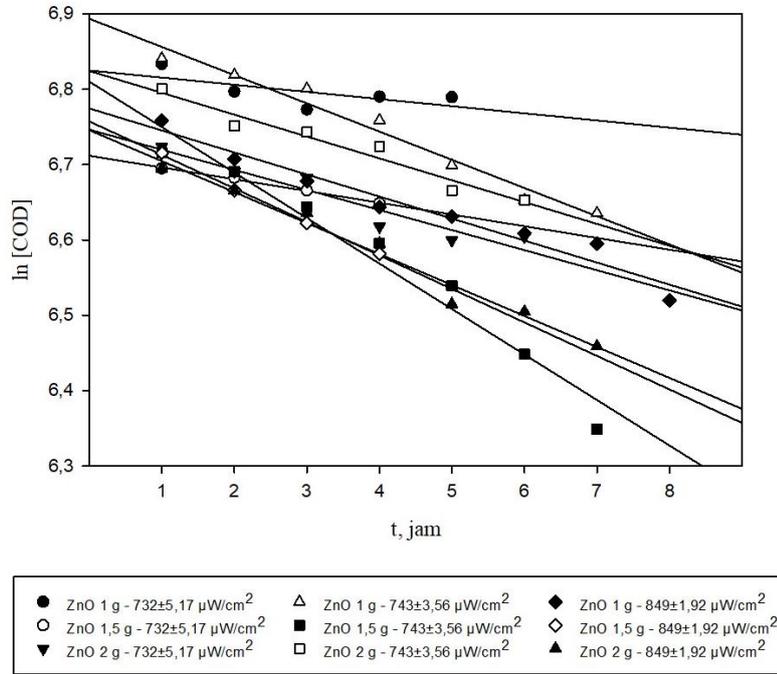


Laju reaksi penyisihan BOD menggunakan TiO₂



Chemical Oxygen Demand (COD)

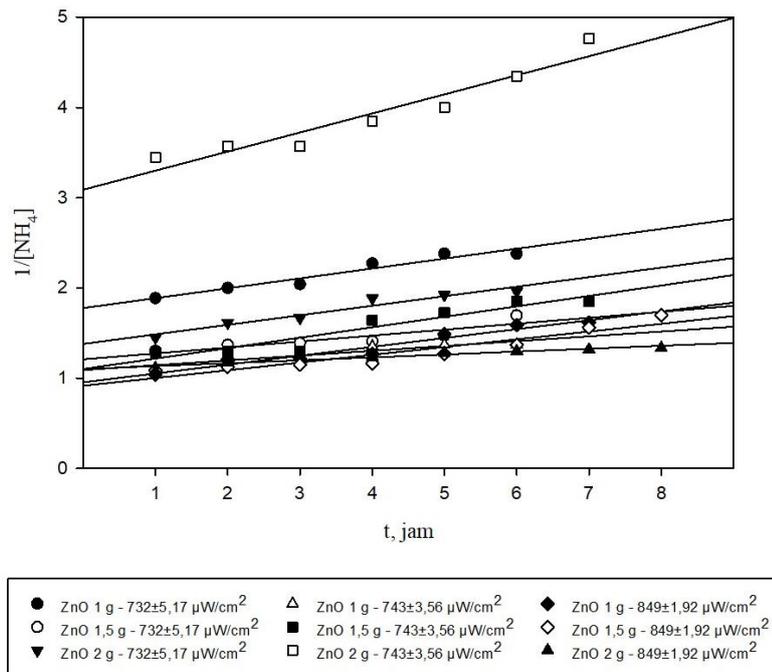
Laju reaksi penyisihan COD menggunakan ZnO



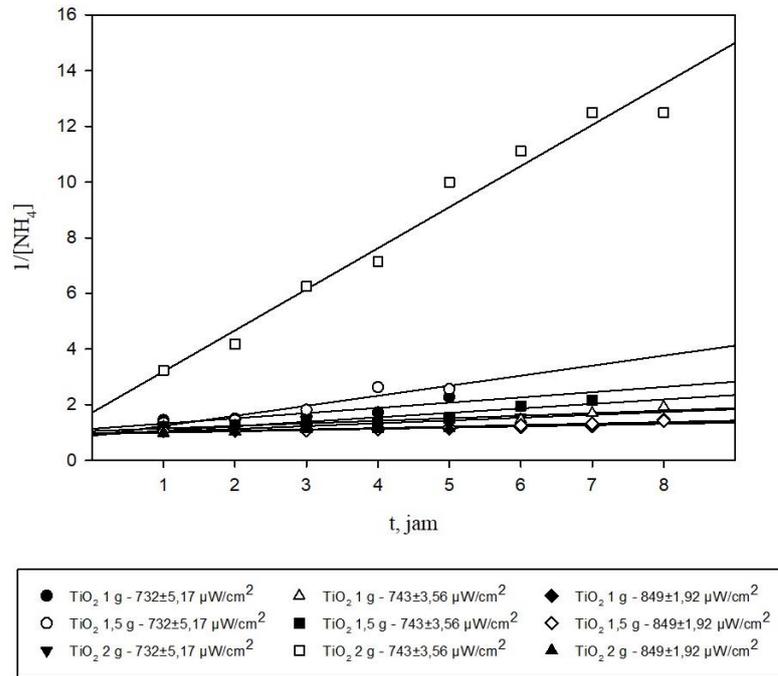
Reaksi Orde 2 (Dua)

Ammonium (NH₄)

Laju reaksi penyisihan NH₄ menggunakan ZnO

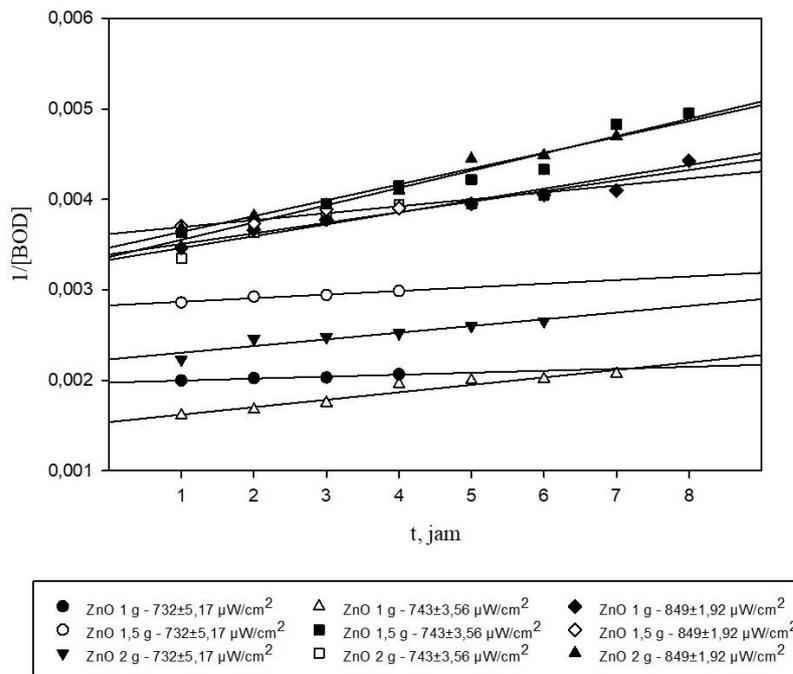


Laju reaksi penyisihan NH_4 menggunakan TiO_2

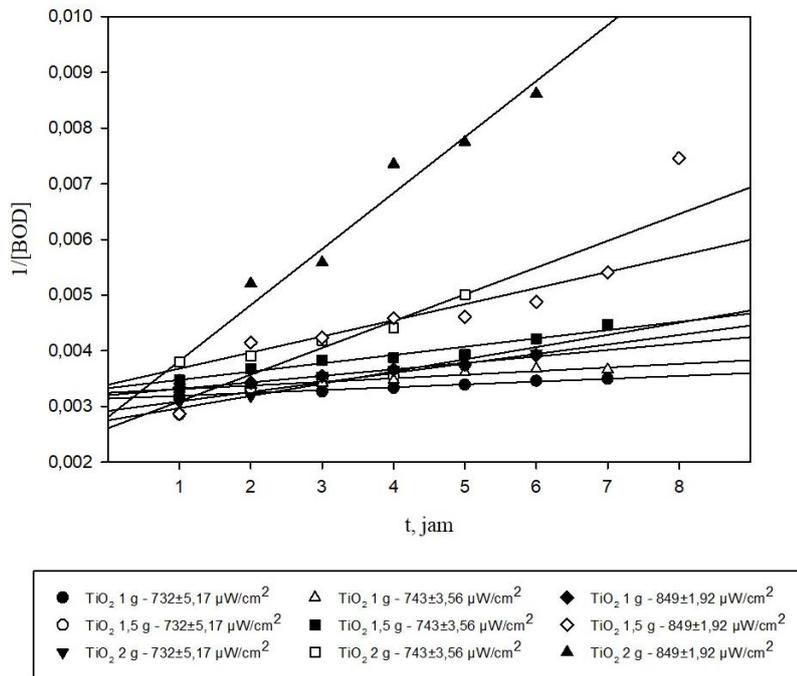


Biological Oxygen Demand (BOD)

Laju reaksi penyisihan BOD menggunakan ZnO

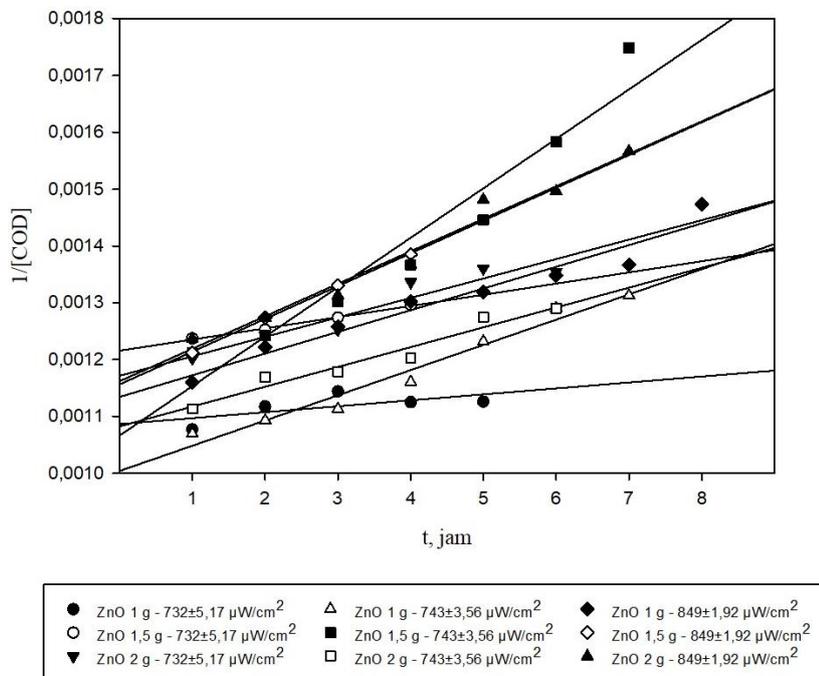


Laju reaksi penyisihan BOD menggunakan TiO₂

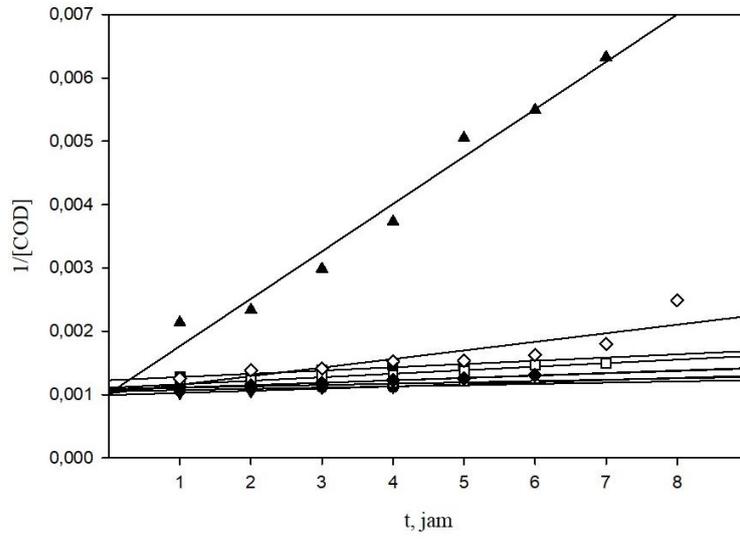


Chemical Oxygen Demand (COD)

Laju reaksi penyisihan COD menggunakan ZnO



Laju reaksi penyisihan COD menggunakan TiO₂



● TiO ₂ 1 g - 732±5,17 μW/cm ²	△ TiO ₂ 1 g - 743±3,56 μW/cm ²	◆ TiO ₂ 1 g - 849±1,92 μW/cm ²
○ TiO ₂ 1,5 g - 732±5,17 μW/cm ²	■ TiO ₂ 1,5 g - 743±3,56 μW/cm ²	◇ TiO ₂ 1,5 g - 849±1,92 μW/cm ²
▼ TiO ₂ 2 g - 732±5,17 μW/cm ²	□ TiO ₂ 2 g - 743±3,56 μW/cm ²	▲ TiO ₂ 2 g - 849±1,92 μW/cm ²

Lampiran 5 Hasil Uji Brunauer Emmett Teller (BET)

Zinc Oxide (ZnO)

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and Reduction
for NOVA Instruments
©1994-2013, Quantachrome Instruments
version 11.03



Analysis		Report	
Operator:	quantachrome	Date:	2024/07/01
Sample ID:	164747	Operator:	quantachrome
Sample Desc:	ZnO	Filename:	sttn_A_20240701_1smpl-164747 ZnO.qps
Sample weight:	0.0811 g	Comment:	Serbuk Putih
Outgas Time:	3.0 hrs	Sample Volume:	1 cc
Analysis gas:	Nitrogen	OutgasTemp:	30.0 C
Press. Tolerance:	0.100/0.100 (ads/des)	Bath Temp:	273.0 K
Analysis Time:	31.1 min	Equil time:	30/30 sec (ads/des)
Cell ID:	98	End of run:	2024/07/01 12:55:58
		Equil timeout:	60/60 sec (ads/des)
		Instrument:	Nova Station A

Multi-Point BET

Data Reduction Parameters Data

Adsorbate	Nitrogen	Temperature	77.350K
	Molec. Wt.: 28.013	Cross Section:	16.200 Å²
		Liquid Density:	0.808 g/cc

Multi-Point BET Data

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W((Po/P) - 1)]	Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W((Po/P) - 1)]
5.45420e-02	18.4470	2.5022e+00	2.01196e-01	68.0072	2.9633e+00
7.52500e-02	25.3780	2.5655e+00	2.22803e-01	76.7649	2.9880e+00
1.05990e-01	36.3087	2.6125e+00	2.49078e-01	85.0325	3.1211e+00
1.27155e-01	43.0976	2.7045e+00	2.72817e-01	93.3522	3.2155e+00
1.46530e-01	49.4657	2.7771e+00	3.02659e-01	103.0983	3.3715e+00
1.71913e-01	58.6760	2.8309e+00			

BET summary

Slope = 3.413
Intercept = 2.279e+00
Correlation coefficient, r = 0.993288
C constant = 2.498
Surface Area = 611.827 m²/g

Titanium Dioxide (TiO₂)

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and Reduction
for NOVA Instruments
©1994-2013, Quantachrome Instruments
version 11.03



Analysis			Report		
Operator:	quantachrome	Date:2024/07/01	Operator:	quantachrome	Date:2024/07/01
Sample ID:	164750	Filename:	stn_A_20240701_1smpl-164750 TIO2.qps		
Sample Desc:	TiO2	Comment:	Serbuk Putih		
Sample weight:	0.0762 g	Sample Volume:	1 cc		
Outgas Time:	3.0 hrs	OutgasTemp:	30.0 C		
Analysis gas:	Nitrogen	Bath Temp:	273.0 K		
Press. Tolerance:	0.100/0.100 (ads/des)	Equil time:	30/30 sec (ads/des)	Equil timeout:	60/60 sec (ads/des)
Analysis Time:	29.8 min	End of run:	2024/07/01 12:11:22	Instrument:	Nova Station A
Cell ID:	99				

Multi-Point BET

Data Reduction Parameters Data

Adsorbate	Nitrogen	Temperature	77.350K	Liquid Density:	0.808 g/cc
Molec. Wt.:	28.013	Cross Section:	16.200 Å ²		

Multi-Point BET Data

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W((Po/P) - 1)]	Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W((Po/P) - 1)]
5.24660e-02	21.1111	2.0986e+00	2.02291e-01	78.2893	2.5917e+00
7.36770e-02	29.3019	2.1718e+00	2.24765e-01	86.8929	2.6697e+00
1.07272e-01	42.0098	2.2886e+00	2.49988e-01	96.6280	2.7601e+00
1.26421e-01	49.3218	2.3476e+00	2.73488e-01	105.6687	2.8504e+00
1.45276e-01	56.5112	2.4065e+00	3.01456e-01	116.3015	2.9689e+00
1.71873e-01	66.6218	2.4926e+00			

BET summary

Slope = 3.417
Intercept = 1.914e+00
Correlation coefficient, r = 0.999212
C constant = 2.785
Surface Area = 653.274 m²/g

”Halaman sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Desanty Prihastya Ningrum dengan panggilan Desanty. Penulis dilahirkan di Pasuruan pada tanggal 13 Februari 2001, yang merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Ayah penulis bernama Sapto Hayunan Priyanto, Ibu penulis bernama Mimin Herawati dan Adik penulis bernama Abraham Alibari Priambodo. Penulis telah menempuh pendidikan di SMPN 2 Bangil, SMAN 1 Bangil dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik Lingkungan di Universitas Jember. Pada tahun 2023 penulis melanjutkan pendidikan Magister di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat dan dapat dikembangkan lebih lanjut. Saran dan kritik dapat dikirim melalui email desantyingrum@gmail.com.

