

**FOTODEGRADASI *SODIUM LAURYL SULFAT* (SLS) MENGGUNAKAN
FOTOKATALIS $\text{TiO}_2\text{-Fe (III)}$ DENGAN VARIASI LAMA PENYINARAN
DAN KONSENTRASI SLS**

SKRIPSI

Oleh :
BAIQ RASKADA ZANUBA
NIM. 19630008



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

**FOTODEGRADASI *SODIUM LAURYL SULFAT* (SLS) MENGGUNAKAN
FOTOKATALIS $\text{TiO}_2\text{-Fe (III)}$ DENGAN VARIASI LAMA PENYINARAN
DAN KONSENTRASI SLS**

SKRIPSI

**Oleh :
BAIQ RASKADA ZANUBA
NIM. 19630008**

**Diajukan Kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

**FOTODEGRADASI SODIUM LAURYL SULFAT (SLS) MENGGUNAKAN
FOTOKATALIS $\text{TiO}_2\text{-Fe (III)}$ DENGAN VARIASI LAMA PENYINARAN
DAN KONSENTRASI SLS**

SKIRPSI

Oleh :
BAIQ RASKADA ZANUBA
NIM. 19630008

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal : 19 Oktober 2023

Pembimbing I

Lulu'atul Hamidaty Ulya, M.Sc
NIP. 19900906 202321 2 033

Pembimbing II

Dr. Akyunul Jannah, S.Si, M.P
NIP. 19750410 200501 2 009

Mengetahui,

Ketua Program Studi Kimia

Rachmawati Mingsih, M.Si.
NIP. 19810811 200801 2 010

**FOTODEGRADASI SODIUM LAURYL SULFAT (SLS)
MENGUNAKAN FOTOKATALIS $TiO_2-Fe(III)$ DENGAN VARIASI
LAMA WAKTU PENYINARAN DAN KONSENTRASI SLS**

SKRIPSI

Oleh:
BAIQ RASKADA ZANUBA
NIM. 19630008

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 12 November 2023**

Penguji Utama : Dr. Suci Amalia, M.Sc
NIP. 19821104 200901 2 007

Ketua Penguji : Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si
NIP. 19831226 20180201 2 249

Sekretaris Penguji : Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc
NIP. 19900906 202321 2 033

Anggota Penguji : Dr. Akyunul Jannah, S.Si, M.P
NIP. 19750410 200501 2 009

(.....)

(.....)

(.....)

(.....)

Mengetahui,

Ketua Program Studi Kimia



Rachma Widiyingsih, M.Si.
NIP. 19810201 200801 2 010

LEMBAR ORISINALITAS PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Baiq Raskada Zanuba

NIM : 19630008

Jurusan : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Fotodegradasi *Sodium Lauryl Sulfat* (SLS) Menggunakan Fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe (III)}$ Dengan Variasi Lama Waktu Penyinaran dan Konsentrasi SLS

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya, kecuali dengan mencantumkan sumber kutipan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia mempertanggungjawabkannya sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 12 November 2023

Yang Membuat Pernyataan,



Baiq Raskada Zanuba
NIM. 19630008

MOTTO

وَاسْتَعِينُوا بِالصَّبْرِ وَالصَّلَاةِ إِنَّهَا لَكَبِيرَةٌ إِلَّا عَلَى الْخَاشِعِينَ

“Dan mintalah pertolongan dengan sabar dan sholat, sungguh hal tersebut amatlah berat bagi orang-orang yang khusyu”

(QS. Al-Baqarah: 45)

“Shiddiq, amanah, ikhlas, berani ~ berjuang terus lewati Rinjani”

(TGKH. M. Zainuddin Abdul Madjid)

خَيْرُ النَّاسِ أَنْفَعُهُمْ لِلنَّاسِ

Sebaik-baiknya manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia lainnya.

(HR. Bukhari Muslim)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah Swt. saya panjatkan atas segala limpahan rahmat dan kenikmatan-Nya yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk belajar dan berkarya hingga dapat menghasilkan naskah skripsi ini dengan sebaik mungkin. Naskah skripsi ini saya persembahkan untuk kedua orang tua tercinta, bapak Samsul Bahri dan Ibu Sri Rohati. Terima kasih atas doa, dukungan, semangat, dan usaha yang diberikan demi kelancaran saya untuk menyelesaikan kuliah dan mendapatkan gelar S.Si, semoga keridhoan dan keberkahan dari Allah selalu ada dalamnya.

Tak lupa, saya sampaikan terima kasih kepada sahabat saya Nada, Inge dan Jihan, terimakasih telah menemani dalam suka dan duka dari waktu ke waktu, yang selalu ada saat dicari dan selalu membantu saat dibutuhkan dan selalu mau direpotkan dalam segala hal, memberikan doa, semangat, hiburan dan dukungan. Serta untuk teman-teman angkatan kimia 2019 yang menemani penulis selama masa skripsi, semoga suatu saat kebersamaan dan pertemanan yang singkat ini bisa bermanfaat di kemudian hari.

Last but not least, I wanna thank me, I wanna thank me for believing in me, I wanna thank me for doing all this hard work, I wanna thank me for having no days off, I wanna thank me for never quitting. Semangat untuk kedepannya, masih banyak hal besar yang harus diperjuangkan.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah *rabbil'alamin*, puji dan syukur ke hadirat Allah Swt, yang telah mencurahkan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Fotodegradasi Sodium Lauryl Sulfat (SLS) Menggunakan Fotokatalis TiO₂-Fe (III) dengan Variasi Lama Penyinaran dan Konsentrasi SLS”**. Tidak lupa, shalawat serta salam senantiasa terhaturkan kepada junjungan kita baginda Nabi Muhammad saw. yang telah membawa petunjuk kebenaran bagi seluruh umat manusia yaitu cahaya iman dan Islam yang mencerahkan dunia ini. Penyusunan dan penyelesaian skripsi ini tidak luput dari dukungan semua pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung dan materiil dan non materiil. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. M. Zainuddin, MA, selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Ibu Dr. Sri Harini, M.Si, selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si, selaku ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ibu Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, serta nasihat kepada penulis dalam menyelesaikan naskah skripsi ini.
5. Ibu Dr. Akyunul Jannah, S.Si, M.P selaku dosen pembimbing agama yang selalu memberikan nasehat dan arahan dalam proses penelitian, serta dalam

penyusunan skripsi terutama bagian integrasi sains dan Islam sehingga dapat terselesaikan.

6. Bapak dan Ibu penguji utama dan ketua penguji dalam sidang skripsi yang selalu memberikan saran terhadap isi naskah, sehingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
7. Seluruh Dosen Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah mengalirkan ilmu, pengetahuan, pengalaman, wacana dan wawasannya, sebagai pedoman dan bekal bagi penulis.
8. Laboran program studi kimia, mbak Is, mbak Susi, mbak Rika, mbak Mei, mas Abi, pak Royyan, dan pak Taufik yang telah nantinya banyak membantu penulis selama proses penelitian.

Saya berdoa semoga semua pihak yang membantu dalam proses penyelesaian naskah proposal penelitian ini diridhoi oleh Allah Swt. dan dicatat sebagai amal *sholeh*. Penulis menyadari adanya kekurangan dan keterbatasan dalam naskah proposal penelitian ini. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, penulis berharap semoga proposal penelitian ini dapat bermanfaat bagi kita semua, khususnya bagi penulis dan bagi pembaca pada umumnya. *Amin ya Rabbal Alamin*.

Malang, 12 November 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN.....	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR PERSAMAAN.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
ملخص البحث.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan.....	7
1.4 Batasan Masalah.....	7
1.5 Manfaat.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Surfaktan <i>Sodium Lauryl Sulfate</i> (SLS)	8
2.2 Fotokatalis	9
2.3 Semikonduktor TiO ₂ sebagai Katalis	10
2.4 Penggunaan Dopan Logam Besi (III) pada Material Fotokatalis TiO ₂	12
2.5 Sintesis Material TiO ₂ -Fe dengan Metode Sonikasi	15
2.5.1 Karakterisasi dengan XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	17
2.5.2 Karakterisasi dengan UV-Vis DRS.....	19
2.6 Fotodegradasi	20
2.7 Metode MBAS (<i>Methylene Blue Active Substance</i>).....	22
2.8 Perspektif Islam terhadap Pencemaran Lingkungan.....	23
BAB III METODE PENELITIAN	28
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.2 Alat dan Bahan	28
3.2.1 Alat	28
3.2.2 Bahan	28
3.3 Tahapan Penelitian	28
3.4 Pelaksanaan Penelitian	29
3.4.1 Sintesis Material TiO ₂ -Fe dengan Metode Sonikasi.....	29

3.4.2 Analisis Struktur Fotokatalis TiO ₂ -Fe Menggunakan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	30
3.4.3 Analisis Daerah Serapan dan Energi Celah Pita dengan Spektroskopi <i>UV-Vis/Diffuse Reflectance Spectroscopy</i>	30
3.4.4 Pengukuran Konsentrasi Fotodegradasi SLS Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis.....	31
3.4.4.1 Pembuatan Kurva Kalibrasi	31
3.4.5 Uji Aktivitas Fotokatalis TiO ₂ -Fe terhadap Degradasi SLS dengan Variasi Lama Penyinaran dan Konsentrasi SLS	32
3.4.5.1 Uji Aktivitas Fotodegradasi SLS dengan Variasi Lama Penyinaran.....	32
3.4.5.2 Uji Aktivitas Fotodegradasi SLS dengan Variasi Konsentrasi SLS.....	32
3.4.5.3 Uji Efektifitas Fotodegradasi SLS dengan tanpa Fotokatalis	32
3.4.6 Analisis Data.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Sintesis Material TiO ₂ -Fe Sonikasi.....	35
4.2 Karakterisasi Material Fotokatalis.....	37
4.2.1 Hasil Analisis Material Fotokatalis Menggunakan XRD.....	37
4.2.2 Hasil Analisis Daerah Serapan UV-Vis DRS.....	40
4.3 Pengukuran Konsentrasi Fotodegradasi SLS.....	43
4.3.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum SLS.....	43
4.3.2 Penentuan Kurva Standar SLS.....	44
4.3.3 MBAS Prosedur.....	45
4.4 Uji Aktivitas Fotokatalis TiO ₂ -Fe terhadap Degradasi Surfaktan SLS.....	46
4.4.1 Uji Aktivitas Fotodegradasi SLS dengan Variasi Lama Penyinaran.....	46
4.4.2 Uji Aktivitas Fotodegradasi SLS dengan Variasi Konsentrasi SLS.....	48
4.4.3 Uji Efektivitas Fotodegradasi SLS dengan Variasi Optimum.....	50
4.5 Integrasi Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam.....	53
BAB V PENUTUP.....	56
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN.....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur SLS.....	9
Gambar 2.2 Mekanisme pembentukan radikal pada fotokatalis	10
Gambar 2.3 <i>Band gap</i> dari beberapa fotokatalis	11
Gambar 2.4 Struktur kristal TiO ₂	12
Gambar 2.5 Diagram <i>band gap</i> TiO ₂ -Fe.....	14
Gambar 2.6 Distribusi Fe ke dalam kisi TiO ₂	15
Gambar 2.7 Alat Sonikasi	17
Gambar 2.8 Pola XRD TiO ₂	19
Gambar 2.9 Energi celah pita dari TiO ₂ -Fe	20
Gambar 4.1 (a) TiO ₂ anatas dan (b) TiO ₂ -Fe sintesis.	37
Gambar 4.2 Difraktogram XRD TiO ₂ anatas dan TiO ₂ -Fe	38
Gambar 4.3 Hasil perbesaran difraktogram XRD.....	39
Gambar 4.4 Grafik hubungan faktor <i>Kubelka-Munk</i> dan panjang gelombang	40
Gambar 4.5 Grafik penentuan energi celah pita.....	41
Gambar 4.6 Grafik panjang gelombang maksimum SLS.....	43
Gambar 4.7 Grafik kurva standar SLS.....	44
Gambar 4.8 Mekanisme pembentukan pasangan ion.....	46
Gambar 4.9 Grafik hasil penentuan variasi lama waktu penyinaran	47
Gambar 4.10 Grafik hasil penentuan variasi konsentrasi SLS.....	48
Gambar 4.11 Hasil uji efektivitas fotodegradasi SLS	50

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Nilai energi celah pita dan panjang gelombang	42
---	----

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 Reaksi fotodegradasi.....	21
Persamaan 3.1 Persamaan Debye-Scherrer.....	33
Persamaan 3.2 Persamaan Kubelka-Munk.....	33
Persamaan 3.3 Penentuan nilai panjang gelombang	34
Persamaan 3.4 Penentuan nilai % degradasi	34
Persamaan 4.1 Reaksi pembentukan besi oksida Fe_2O_3	36

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan penelitian.....	66
Lampiran 2. Diagram Alir.....	67
Lampiran 3. Perhitungan.....	72
Lampiran 4. Dokumentasi.....	75
Lampiran 5. Hasil karakterisasi XRD	77
Lampiran 6. Hasil karakterisasi UV-Vis/DRS	80
Lampiran 7. Uji Aktivitas Fotodegradasi SLS	81
Lampiran 8. Perhitungan.....	83

ABSTRAK

Zanuba, B. R. 2023. Fotodegradasi *Sodium Lauryl Sulfat* (SLS) Menggunakan Fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ (III) dengan Variasi Lama Penyinaran dan Konsentrasi SLS. Skripsi. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc; Pembimbing II: Dr. Akyunul Jannah, S.Si, M.P

Kata Kunci : $\text{TiO}_2\text{-Fe}$, sonikasi, *Sodium Lauryl Sulfat* (SLS), lama penyinaran, konsentrasi SLS.

Sodium Lauryl Sulfat (SLS) merupakan salah satu jenis surfaktan anionik yang umum digunakan dalam produk-produk pembersih noda minyak dan kotoran. Penggunaan *Sodium Lauryl Sulfat* (SLS) sebagai surfaktan menghasilkan limbah yang dapat menyebabkan pencemaran pada badan air jika sudah melebihi batas ambang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keadaan optimum dari lama penyinaran dan konsentrasi SLS dalam proses fotodegradasi. Metode fotodegradasi limbah adalah metode penanganan limbah dengan bantuan cahaya menggunakan material fotokatalis sehingga dihasilkan senyawa yang lebih sederhana. Material yang digunakan adalah $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ yang disintesis menggunakan metode sonikasi dan dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) dan Spektrofotometer UV-Vis/DRS (*Diffuse Reflectance Spectroscopy*). Konsentrasi SLS dianalisis menggunakan metode MBAS (*Methylene Blue Active Substances*). Adapun aktivitas fotodegradasi diuji menggunakan variasi konsentrasi dan lama waktu penyinaran di bawah iradiasi cahaya tampak. Hasil karakterisasi menggunakan XRD mengindikasikan bahwa Fe^{3+} telah tersubstitusi pada struktur material $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ yang ditandai dengan pergeseran peak ke arah 2-theta yang lebih besar dengan tidak mengubah fasa kristal yaitu fasa anatas. Sedangkan hasil UV-Vis/DRS menunjukkan bahwa doping Fe^{3+} dapat memperkecil energi celah pita TiO_2 dari 3,20 eV menjadi 3,00 eV sehingga memperlebar serapan sinar tampak. Hasil optimum fotodegradasi dihasilkan pada waktu lama penyinaran 150 menit dengan nilai degradasi sebesar 71%. Penentuan konsentrasi SLS terdapat pada konsentrasi optimum 10 ppm dengan persen degradasi sebesar 85%.

ABSTRACT

Zanuba, B. R. 2023. Photodegradation of Sodium Lauryl Sulfate (SLS) Using TiO₂-Fe (III) Photocatalyst with Variation of Irradiation Time and SLS Concentration. Essay. Department of Chemistry Science and Technology Faculty State Islamic University Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor I: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc; Supervisor II: Dr. Akyunul Jannah, S.Si, M.P

Keywords: TiO₂-Fe, sonication, *Sodium Lauryl Sulfate* (SLS), variation of irradiation time, SLS concentration.

Sodium Lauryl Sulfate (SLS) is a type of anionic surfactant that is commonly used in products to clean oil and dirt stains. The use of lauryl sulfate as a surfactant produces waste which can cause pollution to water bodies if it exceeds the threshold limit. This study aims to determine the optimum conditions of irradiation duration and SLS concentration in the photodegradation process. The waste photodegradation method is a method of treating waste with the help of light using a photocatalyst material to produce simpler compounds. The material used is TiO₂-Fe which was synthesized using the sonication method and characterized using XRD (X-Ray Diffraction) and UV-Vis/DRS Spectrophotometer (Diffuse Reflectance Spectroscopy). SLS concentrations were analyzed using the MBAS (Methylene Blue Active Substances) method. The photodegradation activity was tested using variations in concentration and length of irradiation time under visible light irradiation. The results of the characterization using XRD indicated that Fe³⁺ had been substituted in the structure of the TiO₂-Fe material which was characterized by a shift of the peak towards 2-theta which was greater without changing the crystalline phase, namely the anatase phase. The UV-Vis/DRS results show that Fe³⁺ doping can reduce the band gap energy of TiO₂ from 3.20 eV to 3.00 eV thereby widening the visible light absorption. Optimum photodegradation results were produced at a long irradiation time of 150 minutes with a degradation value of 71%. Determination of SLS concentration is found at the optimum concentration of 10 ppm with a degradation percentage of 85%.

مستخلص البحث

زنوبة ، ب. ر. ٢٠٢٣. التحلل الضوئي لكبريتات لوريل الصوديوم (SLS) باستخدام محفز ضوئي TiO_2 -Fe (III) مع اختلاف وقت التشعيع وتركيز SLS. البحث الجامعي. قسم الكيمياء، كلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: لؤلؤة الحميدة العليا، الماجستير. المشرف الثاني: د. أعين الجنة، الماجستير.

الكلمات الرئيسية: TiO_2 -Fe، صوتنة، كبريتات لوريل الصوديوم (SLS)، مدة التشعيع، تركيز SLS.

كبريتات لوريل الصوديوم (SLS) هو نوع من المواد الخافضة للتوتر السطحي الأنيونية التي يشيع استخدامها في منتجات تنظيف البقع والأوساخ الزيتية. ينتج عن استخدام كبريتات لوريل الصوديوم (SLS) كخافض للتوتر السطحي نفايات يمكن أن تسبب تلوثا للمسطحات المائية إذا تجاوزت حد العتبة. يهدف هذا البحث إلى تحديد الحالة المثلى لمدة التشعيع وتركيز SLS في عملية التحلل الضوئي. طريقة التحلل الضوئي للنفايات هي طريقة للتعامل مع النفايات بمساعدة الضوء باستخدام مادة محفزة ضوئية بحيث يتم إنتاج مركبات أبسط. المواد المستخدمة هي TiO_2 -Fe التي تم تصنيعها باستخدام طريقة صوتنة وتم تمييزها باستخدام XRD (حيود الأشعة السينية) ومقياس الطيف الضوئي UV-Vis / DRS (مطيافية الانعكاس المنتشر). تم تحليل تركيزات SLS باستخدام طريقة MBAS (المواد الفعالة لأزرق الميثيلين). تم اختبار نشاط التحلل الضوئي باستخدام الاختلافات في تركيز وطول التشعيع تحت تشعيع الضوء المرئي. تشير نتائج التوصيف باستخدام XRD إلى أنه تم استبدال $+Fe_3$ في بنية مادة TiO_2 -Fe التي تتميز بتحول ذروة نحو 2θ أكبر من خلال عدم تغيير المرحلة البلورية، وهي المرحلة العليا. بينما تظهر نتائج UV-Vis / DRS أن المنشطات $+Fe_3$ يمكن أن تقلل من طاقة فجوة النطاق TiO_2 من 3.20 eV إلى 3.00 eV وبالتالي توسيع امتصاص الضوء المرئي. تم إنتاج نتيجة التحلل الضوئي المثلى في فترة تشعيع طويلة مدتها ١٥٠ دقيقة بقيمة تحلل تبلغ ٧١%. تم العثور على تحديد تركيز SLS بتركيز مثالي يبلغ ١٠ جزء في المليون مع نسبة تدهور تبلغ ٨٥%.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan deterjen pada seluruh lapisan masyarakat semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk terutama untuk bahan pembersih dalam kehidupan sehari-hari. Deterjen merupakan pembersih sintetis yang banyak digunakan karena pembersih air saja tidak cukup untuk menghilangkan kotoran dari pakaian maupun barang yang berminyak, atau terkena pengotor organik lainnya. Penggunaan deterjen dalam kehidupan sehari-hari pada akhirnya akan menghasilkan residu berupa limbah cair, dari beberapa penelitian disebutkan bahwa deterjen memiliki kemampuan untuk melarutkan bahan dan bersifat karsinogen serta tidak dapat diuraikan dalam jangka waktu lama dalam kondisi perairan alamiah yang akan terakumulasi dalam badan air (Dewi, 2012). Deterjen umumnya terdiri dari bahan baku (surfaktan), bahan penunjang dan aditif. Bahan baku surfaktan menempati porsi 20-30% dan bahan penunjang sekitar 70-80%. Surfaktan (*surface active agent*) merupakan zat aktif permukaan yang mempunyai ujung berbeda yaitu *hydrophile* (suka air) dan *hydrophobe* (suka lemak). Bahan aktif ini berfungsi melepaskan kotoran yang menempel pada permukaan bahan, memiliki daya bersih yang sangat baik, dan biasanya berbusa banyak. Peningkatan penggunaan deterjen akan membuat semakin banyak limbah surfaktan yang dihasilkan dari pencucian oleh deterjen yang dalam jumlah tertentu dapat menimbulkan busa yang dapat mengganggu kehidupan organisme perairan (Tanjung *et al.*, 2019). Kandungan surfaktan yang terdapat dalam deterjen umumnya adalah jenis surfaktan anionik.

Surfaktan anionik adalah zat yang menghasilkan ion muatan negatif dalam larutan, terdiri dari grup sulfonate atau alkil sulfonate.

Salah satu jenis surfaktan yang sering digunakan yaitu *Sodium Lauryl Sulfat* (SLS). *Sodium Lauryl Sulfat* (SLS) merupakan salah satu jenis surfaktan anionik sangat kuat dan umum digunakan dalam produk-produk pembersih noda minyak dan kotoran. SLS dalam konsentrasi tinggi ditemukan pada produk-produk industri seperti pembersih mesin (*engine degreaser*), pembersih lantai, dan shampo mobil. SLS digunakan dalam kadar rendah di dalam pasta gigi, sampo dan busa pencukur. Zat kimia ini adalah bahan utama di dalam formulasi kimia untuk mandi busa karena efek pengentalnya dan kemampuan untuk menghasilkan busa. Produksi dan penggunaan *sodium lauryl sulfat* sebagai surfaktan dapat menghasilkan pelepasannya (produk buangan) ke lingkungan melalui berbagai aliran limbah. Limbah tersebut akan masuk ke selokan, sungai, hingga ke perairan yang lebih luas dan menyebabkan pencemaran pada badan air jika sudah melebihi batas ambang (Maretta dan Helmy, 2015).

Beberapa metode konvensional untuk mengolah limbah cair surfaktan dinilai tidak menguntungkan karena membutuhkan biaya yang besar dalam penanganannya. Metode adsorpsi dinilai kurang efektif karena surfaktan yang diserap akan terakumulasi dalam adsorben sehingga lama-kelamaan akan memunculkan permasalahan baru (Wildan, 2017). Beberapa penelitian yang telah dilakukan dalam mendegradasi limbah deterjen surfaktan (SLS) diantaranya; Maretta dan Helmy (2015) melaporkan bahwa untuk mendegradasi surfaktan SLS menggunakan fotokatalis ZnO agar dapat bekerja secara optimal yaitu pada konsentrasi sebesar 0,4% dengan waktu optimum 60 menit yang menghasilkan persen degradasi sebesar 57,03%. Penelitian

lain oleh Jefry (2015) menyatakan bahwa dengan penggunaan fotokatalis TiO₂-fenton dan sinar UV 8 watt selama waktu optimum 3 jam dapat menghasilkan persen degradasi sebesar 59,62%.

Limbah jika sudah terlalu lama berada di lingkungan dalam jumlah berlebihan akan sulit diuraikan dan menjadi sumber penyakit karena bersifat karsinogenik dan mutagenik. Membuang limbah berbahaya ke lingkungan perairan merupakan suatu tindakan tidak terpuji yang dapat merusak ekosistem perairan. Lingkungan alam yang rusak sangat berdampak terhadap kehidupan manusia sehingga berpotensi menghasilkan bencana. Islam mengajarkan untuk peduli terhadap lingkungan bahkan memerintahkan manusia untuk memelihara alam semesta oleh karenanya kita dilarang untuk berbuat kerusakan seperti yang telah dijelaskan dalam Al-Qur'an surah al-A'raf ayat 56 berikut:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ
Artinya: “Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah (diciptakan) dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat kepada orang yang berbuat kebaikan.” (Q.S. al-A'raf 7:56)

Menurut Ibnu Katsir dalam tafsir Ibnu Katsir (2008), ayat ini Allah melarang perbuatan yang dapat membahayakan hingga merusak kelestarian lingkungan yang sudah diperbaiki, tidak berbuat maksiat, seta Allah memerintahkan kepada mereka untuk menyembah-Nya dan berdoa kepada-Nya serta berendah diri dan memohon belas kasihan-Nya. Allah menciptakan segala kelengkapan di muka bumi ini yang bertujuan agar manusia dapat memanfaatkan dan mengolah dengan sebaik-baiknya. Manusia sebagai makhluk yang diberi akal dan pikiran berusaha untuk mengurangi dampak pencemaran lingkungan dengan mengembangkan metode pengolahan limbah

cair guna menjaga dan melestarikan ekosistem serta makhluk hidup yang tinggal di dalamnya. Dari beberapa cara yang dapat dilakukan, penggunaan fotokatalis merupakan salah satu cara yang efektif dalam pengolahan limbah cair.

Fotokatalis mengubah energi cahaya menjadi energi kimia yang dalam prosesnya akan menghasilkan radikal hidroksil yang akan bereaksi redoks dengan senyawa organik (polutan), sehingga air akan kembali jernih karena terpisahkan dari limbah cair. Prinsip metode ini didasarkan pada penguraian polutan dari senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti CO_2 , H_2O , asam atau basa mineral serta senyawa lain yang lebih sederhana. Senyawa yang sederhana tersebut memiliki karakteristik yang tidak berbahaya bagi lingkungan (Oktapiani *et al.*, 2021). Teknik ini menggunakan bahan fotokatalis oksida logam transisi yang memiliki struktur elektronik semikonduktor. Fotokatalis dianggap solusi terbaik saat ini untuk mengurangi permasalahan limbah yang dapat merusak lingkungan, hal ini dikarenakan fotokatalis memiliki beberapa kelebihan, yaitu: (1) sifat oksidasinya kuat; (2) tidak membentuk senyawa baru yang beracun; (3) ikatan kimianya stabil terhadap cahaya; (4) tidak larut dalam air; dan (5) biayanya yang relatif lebih murah (Aliah, dkk., 2012). Beberapa material digunakan sebagai fotokatalis pengolahan limbah yang umumnya merupakan semikonduktor, di antaranya TiO_2 , WO_3 , dan SnO_2 . Ketiga fotokatalis tersebut memiliki *band gap* yang berbeda yaitu TiO_2 3,2 eV, WO_3 2,7 eV dan SnO_2 3,5 eV (Sucahya, dkk., 2016).

Material semikonduktor yang banyak digunakan sebagai fotokatalis adalah TiO_2 (titanium (III) oksida) atau disebut juga dengan titania. Titania dalam bentuk anatas adalah titania yang paling baik digunakan sebagai fotokatalis UV, karena titania

hanya dapat menyerap sinar UV yang kelimpahannya sedikit di alam (Miyake *et al.*, 2015). Oleh karena itu memerlukan suatu usaha untuk mengefisienkan titania sebagai fotokatalis. Doping ion logam dilaporkan dapat menurunkan energi sehingga penyerapan cahaya akan bergeser ke daerah cahaya tampak (Hasani, 2019). Doping logam besi pada TiO₂ dapat menggeser serapan dari sinar UV ke sinar tampak (Aldrianti, dkk., 2020) sehingga lebih efisien digunakan untuk proses fotokatalisis di lingkungan. Shirsath, dkk (2014) menjelaskan doping 0,4-1,2% besi (III) mampu menunjukkan peningkatan dalam fotoaktivitas katalis, akan tetapi pada konsentrasi yang lebih rendah menunjukkan penurunan aktivitas, sehingga doping besi (III) 1,2% dianggap sebagai konsentrasi optimum.

Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis TiO₂ terdoping besi (III) menggunakan metode sonikasi. Metode sonikasi dipilih karena memiliki beberapa keunggulan di antaranya adalah reaksi yang cepat, lebih mudah, distribusi atau dispersi nanopartikel yang lebih seragam, stabilitas termal yang baik, serta luas permukaan dan kemurnian fasa yang lebih tinggi. Selain itu metode sintesis sonikasi dapat digunakan untuk mensintesis berbagai oksida dan memecah agregat kristal yang berukuran besar menjadi kecil hingga skala nano (Khafifudin, 2017). Ambati dan Gogate (2018) telah melakukan sintesis TiO₂ terdoping katalis besi (III) di mana dihasilkan pengurangan hasil celah pita (*band gap*) dari 3,2 eV menjadi 2,9 eV yang memiliki kemampuan degradasi sebesar 31,1%.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan sintesis fotokatalis TiO₂-Fe menggunakan metode sonikasi untuk mengetahui perbandingan efektivitas TiO₂-Fe dalam mendegradasi surfaktan *Sodium Lauryl Sulfat* (SLS). Karakterisasi akan

dilakukan menggunakan *X-Ray diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur dan ukuran kristal dalam material hasil sintesis, serta *UV-Vis/Diffuse Reflectance Spectroscopy* (Uv-Vis/DRS) untuk mengetahui energi celah pita material hasil sintesis. Uji efektivitas fotodegradasi akan dilakukan menggunakan TiO₂-Fe dengan variasi konsentrasi sampel yaitu *Sodium Lauryl Sulfat* (SLS) dan variasi lama penyinaran di bawah iradiasi cahaya tampak untuk melihat pengaruhnya terhadap efektivitas degradasi limbah surfaktan SLS.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana struktur kristal dan energi celah pita hasil sintesis dalam material fotokatalis TiO₂-Fe berdasarkan karakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis DRS dan XRD?
2. Berapa waktu penyinaran optimum yang dapat digunakan untuk mendegradasi SLS dengan menggunakan fotokatalis TiO₂ terdoping besi (III)?
3. Berapa konsentrasi optimum SLS pada proses degradasi dengan menggunakan fotokatalis TiO₂-Fe?
4. Bagaimana pengaruh penambahan doping besi (III) pada TiO₂ dalam mendegradasi SLS?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui energi celah pita dan struktur kristal dalam material fotokatalis TiO₂-Fe berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis DRS dan XRD.

2. Untuk mengetahui waktu penyinaran optimum yang dapat digunakan untuk mendegradasi SLS dengan menggunakan fotokatalis TiO_2 terdoping besi (III).
3. Untuk mengetahui konsentrasi optimum SLS pada proses degradasi dengan menggunakan fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$.
4. Untuk mengetahui pengaruh penambahan doping besi (III) pada TiO_2 dalam mendegradasi SLS

1.4 Batasan Masalah

1. Konsentrasi dopan besi (III) yang digunakan sebesar 1,2%.
2. Metode sintesis yang digunakan adalah metode sonikasi *vibracell* dengan gelombang ultrasonik 20 KHz.
3. Karakterisasi dilakukan dengan instrumen XRD dan UV-Vis/DRS.
4. Variasi waktu penyinaran yang digunakan adalah 60, 90, 120, 150 dan 180 menit.
5. Variasi konsentrasi SLS yang digunakan adalah 5;10;15; 20; 25 ppm.
6. Pengukuran konsentrasi fotodegradasi menggunakan metode spektroskopi UV-Vis.

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai karakteristik dan aktivitas fotokatalisis dari TiO_2 terdoping besi (III), yang dapat digunakan sebagai dasar pengembangan dan pemanfaatan fotokatalis TiO_2 terdoping besi (III) dalam mendegradasi limbah surfaktan SLS. Serta pada penelitian ini diharapkan mampu untuk digunakan sebagai sumbangan pemikiran bagi perkembangan ilmu di bidang lingkungan dan teknologi, khususnya dalam penanganan masalah proses pengolahan limbah deterjen.

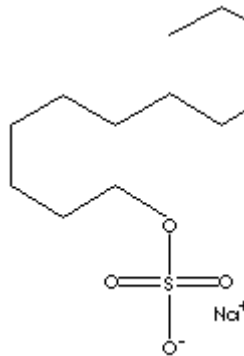
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Surfaktan *Sodium Lauryl Sulfat* (SLS)

Surfaktan adalah suatu zat yang mempunyai kemampuan untuk menurunkan tegangan permukaan (*surface tension*) suatu medium dan menurunkan tegangan antarmuka (*interfacial tension*) antar dua fasa yang berbeda derajat polaritasnya. Surfaktan bersifat amfifilik yaitu senyawa yang memiliki dua gugus yang berlainan sifat dalam satu molekulnya yaitu gugus hidrofilik dan lipofilik sehingga mampu menyatukan dua bahan yang berbeda kepolarannya. Surfaktan seringkali disebut sebagai bahan aktif permukaan (*surface active agent*) karena memiliki sifat aktivitas permukaan yang tinggi. Surfaktan dikelompokkan menjadi empat kelompok berdasarkan muatan ion pada gugus hidrofiliknya, yaitu kelompok anionik, nonionik, kationik, dan amfoterik. Kelompok surfaktan yang paling banyak diproduksi dan diaplikasikan secara luas pada berbagai industri adalah surfaktan anionik (Hambali, 2019).

Sodium lauryl Sulfat (SLS) sebagai salah satu surfaktan anionik yang memiliki rumus kimia $C_{12}H_{25}SO_4Na$ seperti yang ditunjuk pada Gambar 2.1 dengan berat molekul 288,38 gr/mol, memiliki range pH 6-9, berbentuk serbuk atau hablur putih atau kuning pucat dengan bau lemah atau bau khas. SLS memiliki kelarutan dalam air dan praktis larut dalam kloroform dan eter (Rowe, 2009). SLS adalah jenis surfaktan yang sangat kuat dan umum digunakan dalam produk-produk pembersih noda minyak dan kotoran. Sebagai contoh, SLS ini banyak ditemukan dalam konsentrasi tinggi pada produk-produk industri seperti pembersih mesin (*engine degreaser*), pembersih lantai,

dan sampo mobil. SLS digunakan dalam kadar rendah di dalam pasta gigi, sampo dan busa pencukur. Zat kimia ini merupakan bahan utama di dalam formulasi kimia untuk mandi busa karena efek pengentalnya dan kemampuan untuk menghasilkan busa (O'Neil, 2001). Adapun beberapa penelitian yang sudah dilakukan dalam mendegradasi SLS di antaranya; Maretta dan Helmy (2015) melaporkan bahwa dalam mendegradasi surfaktan SLS menggunakan fotokatalis ZnO pada konsentrasi 0,4% dengan waktu optimum 60 menit dapat menghasilkan persen degradasi sebesar 57,03%. Penelitian lain oleh Jefry (2015) menyatakan bahwa dengan penggunaan fotokatalis TiO₂-fenton dan sinar UV 8 watt selama waktu optimum 3 jam dapat menghasilkan persen degradasi sebesar 59,62%.

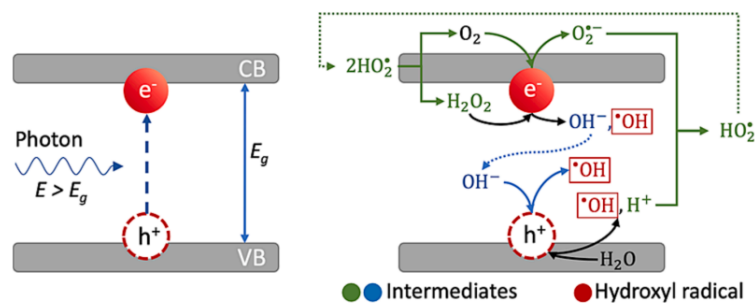


Gambar 2.1 Struktur *sodium lauryl sulfat*

2.2 Fotokatalis

Fotokatalis merupakan proses reaksi kimia yang dibantu oleh radiasi sinar UV dan katalis semikonduktor (Aulia., dkk, 2020). Semikonduktor memiliki pita valensi yang terisi penuh dan pita konduksi yang kosong. Kedua pita dipisahkan oleh celah yang disebut dengan energi *band gap*. *Band gap* atau celah pita adalah wilayah energi yang memanjang dari bagian bawah pita konduksi kosong (CB) ke bagian atas pita valensi

terisi (VB) (Ola dan Maroto-Valer, 2015). Energi celah pita terjadi karena adanya tumpang tindih orbital atom yang akan memberikan pelebaran dan penyempitan pita (Nogueira, dkk, 1993). Prinsip dari terjadinya mekanisme fotokatalis pada material semikonduktor adalah ketika elektron tereksitasi oleh energi cahaya dari pita valensi yang terisi penuh menuju pita konduksi yang kosong maka akan menghasilkan elektron (e^-) pada pita konduksi dan *hole* (h^+) pada pita valensi. Fotokatalis menyerap foton dengan energi yang sama atau lebih tinggi dari celah pita. *Hole* ketika bereaksi dengan H_2O menghasilkan radikal OH^\bullet sehingga mampu mendegradasi suatu senyawa (Pawar, dkk., 2018; Wardhani, dkk., 2016). Surahman (2017) dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa radikal hidroksil OH^\bullet dapat mengoksidasi berbagai macam zat organik dengan cepat dan tidak selektif, seperti senyawa-senyawa jenis surfaktan yang memiliki sifat toksik dan sukar larut dalam air jika melebihi batas baku mutu yang telah ditetapkan.

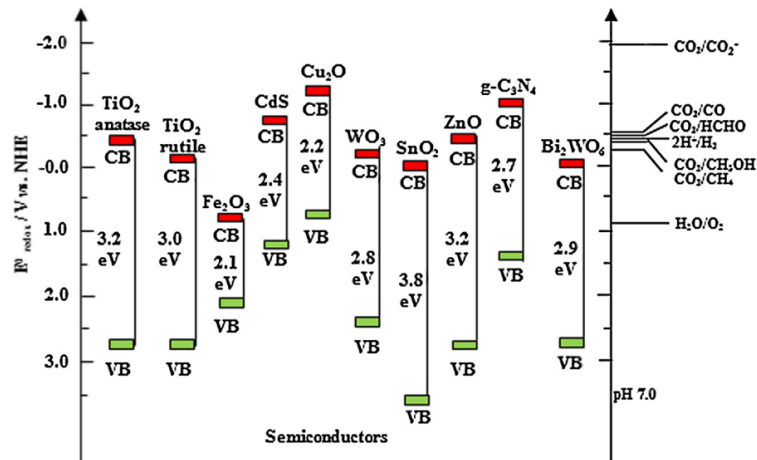


Gambar 2.2 Mekanisme pembentukan radikal pada fotokatalis semikonduktor (Kahkeci dan Gamal, 2023)

2.3 Semikonduktor TiO_2 sebagai Fotokatalis

Fotokatalis dapat diartikan sebagai proses kombinasi atau gabungan dari reaksi fitokimia yang memerlukan unsur cahaya dan katalis yang di mana katalis yang

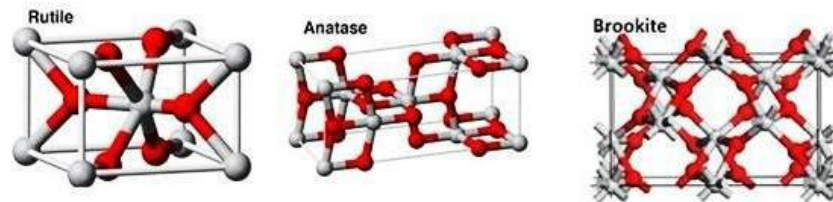
digunakan dapat berupa material semikonduktor untuk mempercepat terjadinya transformasi kimia (Trisunaryanti, 2018). Semua fotokatalis pada dasarnya adalah semikonduktor dengan energi *band gap* berkisar 1,5-3,0 eV seperti yang terlihat pada Gambar 2.2. Kelebihan metode fotokatalis semikonduktor adalah dapat melakukan mineralisasi total terhadap polutan organik, biaya murah, proses relatif cepat, tidak beracun, dan mampu digunakan dalam jangka panjang, tidak menghasilkan *secondary pollution* karena zat organik yang didekomposisi menjadi karbondioksida dan air (Rahman, 2018).



Gambar 2.3 *Band gap* dari beberapa fotokatalis (Ola dan Maroto-Valer, 2015)

Di antara semikonduktor yang dapat bertindak sebagai fotokatalis seperti TiO_2 , V_2O_5 , ZnO , Fe_2O_3 , CdO , CdS , dan Al_2O_3 . Material fotokatalisis yang sering digunakan adalah TiO_2 (Ameta, dkk., 2018). TiO_2 dikenal memiliki 3 jenis struktur kristal, di antaranya: anatas (tetragonal), brokit (ortorombik), dan rutil (tetragonal) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. TiO_2 fasa anatas dan brokit bersifat metastabil di mana dengan adanya peningkatan suhu kedua fasa tersebut secara *irreversible* dan secara eksotermal berubah menjadi TiO_2 fase rutil yang bersifat stabil (Khatun, dkk., 2018).

Fase anatas lebih disukai untuk aplikasi dalam bidang fotokatalis karena memiliki tingkat mobilitas pembawa muatan dan sifat katalitik yang lebih tinggi daripada fasa TiO₂ lainnya (Luttrell, dkk., 2015; Banerjee, dkk., 2012).



Gambar 2.4 Struktur kristal TiO₂ rutil, anatas, dan brookit (Woodley dan Catlow, 2019)

2.4 Penggunaan Dopan Logam Besi (III) pada Material Fotokatalis TiO₂

Untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik dapat dilakukan proses modifikasi struktur, ukuran partikel dan luas permukaan dari TiO₂ melalui penambahan doping ion. Ion dopan dapat menghambat rekombinasi e^-/h^+ , agar proses reaksi katalitik dapat berlangsung lebih lama pada permukaan TiO₂ (Wang, dkk., 2006; Yu, dkk., 2006). Pendekatan yang dapat digunakan untuk penggunaan TiO₂ pada daerah sinar tampak adalah memodifikasi struktur kimianya sehingga terjadi pergeseran penyerapan spektrum ke daerah sinar tampak. Salah satu modifikasi fotokatalis TiO₂ melibatkan pengantar (doping) dari logam dan non logam (Wardhani, dkk., 2016). Penggunaan ion dopan dari golongan halida, alkali, lantanida, dan transisi ternyata dapat meningkatkan kinerja dari fotokatalis TiO₂ (Sreethawong, dkk., 2006; Burns, dkk., 2002).

Doping TiO₂ dengan ion logam transisi lebih disukai karena logam transisi memiliki sub kulit d yang kosong dengan ditunjukkannya bilangan oksidasi logam transisi terdiri dari dua atau lebih. Bilangan oksidasi ini dapat bertindak sebagai perangkap potensial untuk e^- yang mengalami fotoregenerasi dan akibatnya akan

menghambat laju rekombinasi. Selain itu, banyak dari logam transisi memiliki potensial redoks lebih rendah daripada kondisi energi celah pita TiO_2 . Sehingga substitusi ion logam transisi ke dalam kisi TiO_2 akan menimbulkan energi celah pita tengah yang menghasilkan pemanjangan serapan ke daerah sinar tampak karena elektron dapat di transfer dari pita valensi ke celah pita atau elektron orbital d dopan dapat dipindahkan ke pita konduksi TiO_2 (Khan dan Berk, 2013).

Logam transisi yang digunakan sebagai dopan TiO_2 di antaranya V, Fe, Mo, Pd dan Nb untuk menurunkan energi celah pita. Logam besi memiliki energi celah pita sebesar 2,6 eV, yang dapat menurunkan energi celah pita TiO_2 sehingga meningkatkan efisiensi fotokatalis dengan menggeser panjang gelombang ke daerah sinar tampak (Nasralla, dkk., 2013). Berdasarkan plot Tauc celah pita TiO_2 adalah 3,2 eV, dengan adanya doping besi (III) energi celah pita TiO_2 menjadi sekitar 2,9 eV (Ambati and Gogate, 2018). Li, dkk (2008) melaporkan besi (III) sebagai dopan dapat bertindak sebagai perangkap e^-/h^+ yang dapat meningkatkan *lifetime* dari fotokatalis. Doping logam besi ke dalam kisi TiO_2 tidak mengubah struktur katalis. Hal tersebut disebabkan oleh dua hal yaitu doping logam besi dalam konsentrasi rendah dan perbedaan jari-jari ionik antara Ti^{4+} (0,68 Å) dan Fe^{3+} (0,64 Å) yang rendah (Safari, dkk., 2013).

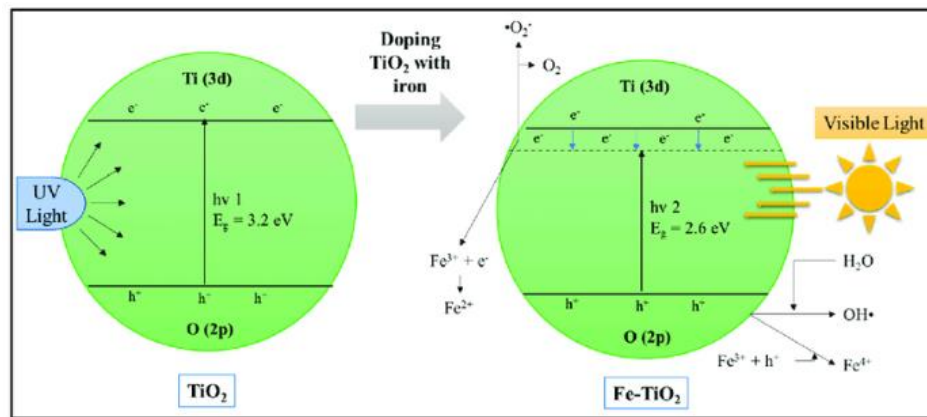
Ali, dkk (2017) melaporkan meningkatnya konsentrasi doping besi (III), dapat menurunkan aktivitas fotokatalitik TiO_2 . Hal ini dapat terjadi karena meningkatnya pembentukan perangkap pembawa muatan yang dapat meningkatkan rekombinasi e^-/h^+ , karena jumlah pembawa muatan yang lebih rendah mencapai permukaan fotokatalis untuk proses degradasi surfaktan. Selain itu pada konsentrasi doping yang lebih tinggi, akumulasi dopan terjadi pada permukaan katalis yang dapat mengurangi

kedalaman penetrasi cahaya, di mana akumulasi dopan menutupi bagian fotosensitif permukaan fotokatalis sehingga mengurangi situs aktif permukaan dan degradasi surfaktan menjadi berkurang.

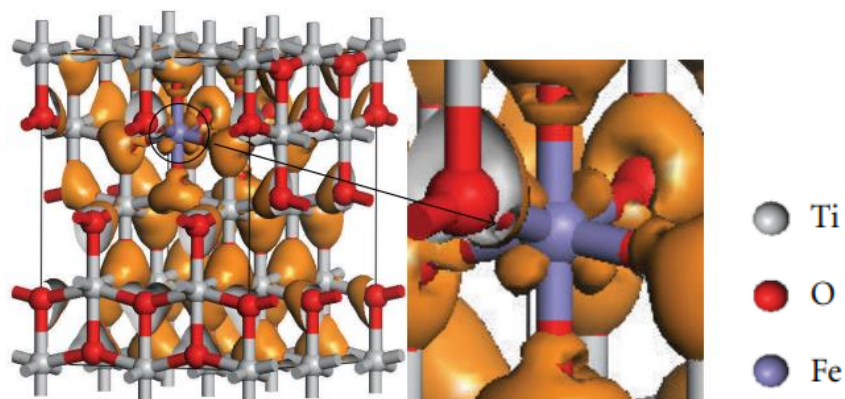
TiO₂ terdoping Fe menghasilkan energi celah pita yang lebih kecil dari senyawa TiO₂ anatas tanpa doping. Hal ini disebabkan karena adanya pembentukan sub pita baru dari dopan Fe di antara pita konduksi dan pita valensi dari senyawa TiO₂. Doping Fe dapat membentuk pita baru dibawah pita konduksi. Pembentukan pita baru menghasilkan laju rekombinasi yang lemah sehingga dapat meningkatkan efisiensi degradasi fotokatalis. Energi celah pita turun dikarenakan adanya oksigen vakansi yang terbentuk dibawah pita konduksi sehingga mudah mengikat elektron yang mengalami eksitasi (Zhang, dkk., 2011). Adanya sub pita baru tersebut memungkinkan elektron untuk tereksitasi dengan energi yang lebih rendah atau lebih tinggi, seperti diilustrasikan pada Gambar 2.5. Semakin lebar pita valensi mengakibatkan peningkatan dalam aktivitas elektron yang difotogenerasi. Dengan cara ini, baik penyempitan celah pita maupun peningkatan mobilitas pembawa fotogenerasi dapat terjadi sehingga meningkatkan aktivitas fotokatalitik di bawah cahaya tampak (Chung Wu., dkk. 2012).

Banyak penelitian telah dilakukan untuk memodifikasi *band gap* TiO₂. Salah satu metode yang paling efektif melibatkan doping kristal TiO₂ dengan pengotor termasuk transisi logam. Di antara unsur pengotor tersebut seperti V, Mo, Fe, Co dan Au. Jari-jari Fe³⁺ (0,64 Å) mirip dengan Ti⁴⁺ (0,68 Å) oleh karena itu mudah dimasukkan ke dalam kristal TiO₂. Zhao., dkk. (2013) yang mensintesis material TiO₂

dengan metode lelehan garam. Dari perbandingan scale-bar maka diketahui bahwa partikel semua produk mempunyai ukuran yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa dopan mempengaruhi ukuran partikel, karena perbedaan jari-jari ionik antara dopan dan kation. Sehingga peningkatan ukuran dengan kemungkinan masuknya Fe (0,645 Å) dalam kisi TiO_2 dapat menyebabkan adanya distorsi struktur lokal, yang akan mempengaruhi laju pertumbuhan dari kristal (Chung Wu., dkk. 2012). Adapun gambaran ilustrasi masuknya Fe ke dalam TiO_2 dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.5 Diagram band gap TiO_2 terdoping Fe (Saputera., dkk. 2021)



Gambar 2.6 Distribusi Fe ke dalam kisi TiO_2 (Chung Wu., dkk. 2012)

2.5 Sintesis Material TiO₂-Fe dengan Metode Sonikasi

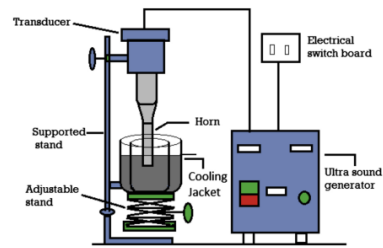
Sintesis kristal TiO₂ terdoping besi (III) dapat dilakukan dengan beberapa metode di antaranya metode fasa padat, sol-gel, hidrotermal dan sonikasi. Namun, dari metode fasa padat memiliki banyak kekurangan seperti tidak homogen, bentuk tidak teratur dan ukuran partikel yang besar. Sedangkan kristalinitas TiO₂-Fe yang dihasilkan menggunakan metode sol-gel lebih rendah. Adapun melalui metode hidrotermal juga memiliki kelemahan yaitu waktu reaksi yang lama serta dapat menggeser penyerapan di daerah sinar tampak (Kustiningsih, dkk., 2010). Metode sonikasi adalah metode yang sangat efektif untuk dimanfaatkan dalam mensintesis material berukuran nanometer (Hielscher, 2005). Metode sonikasi merupakan penggunaan ultrasonik dengan frekuensi 20 KHz–10 MHz. Medan ultrasonik akan menghasilkan efek kimia dan fisika yang diakibatkan oleh meledaknya gelembung kavitas mikro yang disebabkan getaran ultrasonik sehingga efek tersebut berdampak pada terjadinya proses sonokimia. Ultrasonik dapat meningkatkan kereaktifan kimia pada suatu sistem yang secara efektif bertindak sebagai katalis untuk lebih mereaktifkan atom-atom dan molekul dalam sistem (Rismiarti, 2016). Gelombang ultrasonik dapat merambat dalam medium padat, cair dan gas. Proses perambatannya secara longitudinal dengan arah rambat sejajar. Sehingga, karakteristik gelombang ultrasonik tersebut mengakibatkan getaran partikel secara periodik. (Leong, dkk., 2011).

Adapun kelebihan dari metode sonikasi di antaranya (Rusdiana, 2018):

- 1) Teknik ini dinilai lebih efektif dan efisien karena memerlukan waktu yang relatif lebih singkat dan tidak banyak bahan kimia yang terbuang,

- 2) Dari segi keamanan, metode ini tergolong aman karena menggunakan frekuensi yang tidak terlalu tinggi,
- 3) Pada reaksi yang menggunakan bahan padat, ultrasonik dapat memecah padatan dari energi yang ditimbulkan akibat pecahnya kavitasi,
- 4) Memberikan komponen reaktan padat luas permukaan yang lebih besar untuk meningkatkan laju reaksi, dan
- 5) Menghasilkan ukuran partikel sangat kecil sehingga mencegah terjadinya proses *creaming* atau sedimentasi selama masa penyimpanan.

Suhu yang digunakan sangat tinggi (>5000 K), tekanan (>20 MPa) dan laju pendinginan yang sangat tinggi ($>10^{10}$ Ks⁻¹) memberikan sifat unik pada media cairan dalam metode sonikasi sehingga mampu mereduksi ion logam menjadi nanopartikel oksida logam atau logam (Guo, dkk., 2011). Kristalinitas nanopartikel TiO₂-Fe yang disintesis dengan metode sonikasi mengarah pada peningkatan pembentukan partikel kristal dengan fase anatase, serta adanya doping besi (III) dapat menurunkan ukuran kristal yang terbentuk (Shirsath, dkk., 2014). Selain itu, penelitian yang dilakukan Ambati dan Gogate (2018) melakukan sintesis TiO₂ terdoping besi (III) dengan membandingkan material hasil sintesis menggunakan metode konvensional dan ultrasonik. Hasil penelitian menunjukkan TiO₂-Fe yang disintesis menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil yaitu 25,43 nm. Sedangkan TiO₂-Fe yang disintesis dengan metode konvensional menghasilkan ukuran partikel sebesar 31,15 nm. Adapun bentuk dari sonikator *vibracell* dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut.



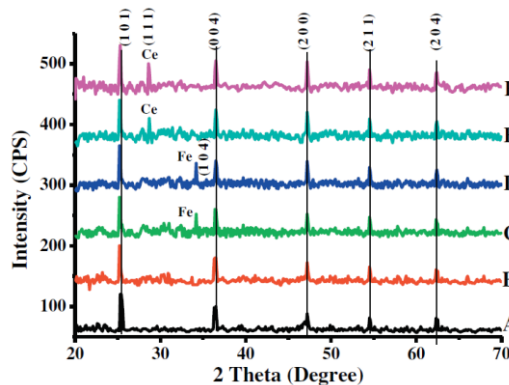
Gambar 2.7 Alat sonikasi (Bethi dan Sonawane, 2018)

2.5.1 Karakterisasi dengan XRD (*X-Ray Diffraction*)

Prinsip dasar dari XRD didasarkan pada cahaya monokromatik berupa sinar-X yang difokuskan atau diteruskan pada sampel untuk mengetahui informasi struktural material kristal (Tiwari dan Talreja, 2020). Sinar-X dihasilkan dalam tabung sinar katoda dengan memanaskan filamen untuk menghasilkan elektron, mempercepat elektron menuju target dengan menerapkan tegangan, dan membombardir bahan target dengan elektron. Ketika elektron memiliki energi yang cukup untuk melepaskan elektron kulit bagian dalam dari bahan target, karakteristik spektrum sinar-X dihasilkan. Sinar-X yang telah mengenai sampel dan memenuhi hukum Bragg akan menghasilkan interferensi konstruktif dan terbentuk puncak intensitas. Detektor akan merekam dan memproses sinyal sinar-X tersebut dan mengubah sinyal menjadi pola difraktogram, yang kemudian dikeluarkan ke perangkat seperti komputer dan printer (Bunaciu *et al.*, 2015). XRD didasarkan pada hukum Bragg (Saxena, 2019):

X-Ray Diffraction (XRD) adalah teknik non destruktif untuk karakterisasi suatu kristal. XRD memberikan informasi tentang struktur, fase, orientasi kristal (tekstur), dan parameter lainnya, seperti ukuran butir rata-rata, kistalinitas, regangan dan cacat kristal. Puncak kristal di hasilkan oleh interferensi konstruktif dari berkas sinar-X monokromatik yang tersebar pada sudut tertentu dari setiap rangkaian bidang kisi

dalam sampel. Intensitas puncak ditentukan oleh posisi atom di dalam bidang kisi. Akibatnya pola XRD terbentuk atas susunan periodik atom dalam suatu kristal (Methods for Assessing Surface Cleanliness, 2019). Sood, dkk (2015) melakukan sintesis TiO₂ terdoping besi (III) menyebutkan bahwa konsentrasi dopan yang rendah menghasilkan dispersi ion logam pada kisi TiO₂ atau penggantian ion Ti⁴⁺ oleh ion Fe³⁺. Konsentrasi dopan besi (III) yang rendah tidak membentuk fasa Fe₂O₃, serta menghasilkan kristal berukuran 25 nm. Hasil karakterisasi XRD pada Gambar 2.5 yang dilakukan oleh Shirsath, *et al.* (2013) menunjukkan puncak utama yang dihasilkan oleh TiO₂ anatas berada pada $2\theta = 25,2^\circ, 38^\circ, 47,6^\circ, 55,1^\circ$ dan $61,9^\circ$. Sedangkan, TiO₂-Fe berada pada $2\theta = 25,8^\circ, 36,9^\circ, 48,1^\circ, 54,1^\circ$ dan $62,4^\circ$ yang mengindikasikan bahwa doping dengan ion logam tidak mempengaruhi struktur kristal partikel TiO₂.



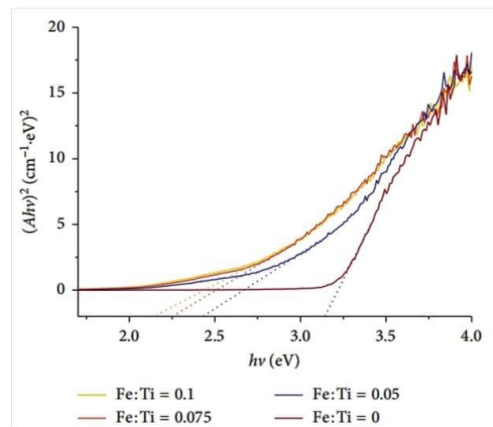
Gambar 2.5 Pola XRD TiO₂-Ce, TiO₂-Fe dan TiO₂ (Shirsath *et al.*, 2014)

2.5.2 Karakterisasi dengan UV-Vis/Diffuse Reflectance Spectroscopy

Prinsip dasar dari spektroskopi reflektansi adalah unsur atau senyawa dapat disinari baik oleh sumber cahaya langsung maupun difus. Kedua sumber cahaya akan memberikan refleksi spekular dan difus. Refleksi spekular didefinisikan sebagai

pemantulan dari permukaan material, di mana sudut datang sama dengan sudut pantul sedangkan refleksi difus muncul dari interaksi cahaya dengan berbagai faktor kimia dan fisik dalam volume reaksi unsur yang merupakan komponen utama pengukuran. Interaksi ini tergolong dalam absorpsi, transmisi, dan sifat hamburan dari unsur yang disinari (Danielson, 1996). Energi celah pita merupakan besaran energi yang diperlukan suatu elektron untuk dapat tereksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi. Semakin besar energi celah pita, maka semakin sulit untuk elektron tereksitasi karena energi yang dibutuhkan untuk eksitasi elektron akan semakin besar. Partikel semikonduktor akan menjadi oksidator yang mampu mendegradasi sejumlah polutan bila dikenai cahaya dengan panjang gelombang yang sesuai dengan energi celah pita semikonduktor tersebut (Hindryawati, 2020).

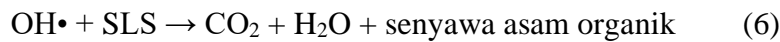
Dalam penelitian yang dilakukan oleh Sood, dkk (2015) hasil karakterisasi menggunakan UV-Vis/DRS menunjukkan penyerapan meningkat secara signifikan dengan peningkatan kandungan dopan besi (III). Doping besi (III) ke dalam matriks TiO_2 , menyebabkan peningkatan penyerapan cahaya, memperluas respon spektral fotokatalis menjadi 426 nm. Dengan meningkatnya kandungan besi (III), maka energi celah pita menurun. Energi celah pita fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe } 0,1\%$ adalah 2,9 eV, lebih rendah dibandingkan fotokatalis TiO_2 . Solano, dkk (2019) juga melaporkan energi celah pita mengalami penurunan 1 eV dengan penambahan 0,1% Fe^{3+} (Gambar 2.6), tanpa mengubah posisi tepi pita valensi TiO_2 dengan memperkenalkan tingkat energi baru ($\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{4+}$) dari transisi ion Fe^{3+} ke dalam energi celah pita TiO_2 .



Gambar 2.6 Energi celah pita dari nanopartikel $\text{TiO}_2\text{-Fe } x\%$ (Solano, dkk., 2019)

2.6 Fotodegradasi

Fotodegradasi secara definisi merupakan sebuah metode penguraian senyawa menjadi yang lebih sederhana dengan bantuan foton. Prinsip metode ini didasarkan pada penguraian polutan dari senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti CO_2 , H_2O , asam atau basa mineral serta senyawa lain yang lebih sederhana. Senyawa yang sederhana tersebut memiliki karakteristik yang tidak berbahaya bagi lingkungan (Oktaviani, 2021). Proses fotodegradasi membutuhkan material fotokatalis yang secara umum menggunakan material semikonduktor. Material yang saat ini banyak digunakan sebagai fotokatalis dalam mendegradasi senyawa ialah TiO_2 . Ketika TiO_2 disinari oleh sinar UV dengan energi yang lebih besar dari energi celah pitanya (3,2 eV), elektron valensi tereksitasi ke pita konduksi sehingga menghasilkan *hole* (lubang). Pasangan elektron/*hole* yang dihasilkan (e^-/h^+) dapat bergabung kembali atau bermigrasi ke permukaan dan memulai reaksi redoks (Dostanić, dkk., 2011). Mekanisme persamaan (2.1) reaksi fotodegradasi yang terjadi adalah sebagai berikut (Zilfa, dkk., 2017).



Energi foton ($h\nu$) yang mengenai fotokatalis dapat mengakibatkan terbentuknya pasangan elektron/*hole*. *Hole* yang terbentuk pada pita valensi dapat mengoksidasi air yang teradsorpsi dan ion hidroksil (OH^-) untuk menghasilkan radikal hidroksil ($\text{OH}\cdot$), sedangkan elektron dapat mereduksi ion H^+ dan molekul oksigen menjadi anion radikal superoksida ($\text{O}_2\cdot^-$). Radikal hidroksil ($\text{OH}\cdot$) yang dihasilkan, menjadi oksidator yang sangat kuat (potensial redoks standar +2,8 V) yang dapat mengoksidasi sebagian besar surfaktan SLS menjadi produk akhir berupa molekul CO_2 dan H_2O (Rashed dan El-Amin, 2007). Spesies oksidan tinggi lainnya seperti radikal peroksida juga bertindak dalam fotodegradasi menggunakan fotokatalis TiO_2 . Selain itu, terdapat beberapa molekul lain yang teradsorpsi dapat mengalami oksidasi langsung melalui transfer elektron ke *hole* permukaan, atau reduksi langsung melalui reaksi dengan elektron (Dostanić, dkk., 2011).

2.7 Metode MBAS (*Methylene Blue Active Substances*)

Metode MBAS merupakan sebuah metode pewarnaan dengan menambahkan zat warna metilen biru. Metode ini umum dipakai pada pewarnaan surfaktan yang merupakan zat aktif tidak berwarna. Prosesnya secara umum substansi akan berikatan dengan metilen biru kemudian dianalisis menggunakan instrument UV-Vis. Pada pembacaan konsentrasi SLS secara MBAS dinyatakan bahwa konsentrasi yang terbaca

adalah kadar surfaktan anionik pada sampel yang berikatan dengan metilen biru. Prinsip dari ekstraksi ini adalah distribusi zat berdasarkan kelarutannya terhadap pelarut yang ditambahkan. Hal tersebut bertujuan agar surfaktan anionik terikat dengan metilen biru dan terlarut dalam fase kloroform. Pada dasarnya metilen biru merupakan senyawa organik yang memiliki sifat hidrofobik dan memiliki gugus ammonium kuartener, yang lebih efektif dalam membentuk sebuah disosiasi ion dengan surfaktan yang memiliki rantai hidrokarbon panjang. Pada dasarnya terdapat metode lain yang dapat dipakai yakni dengan metode malasit hijau. Namun, penggunaan malasit hijau yang merupakan senyawa organik bersifat hidrofobik dan mempunyai gugus amonium kuartener yang menyebabkan kurang selektif dan kuantitatif untuk membentuk suatu asosiasi ion dengan anion surfaktan yang mempunyai rantai hidrokarbon yang panjang. Semakin panjang rantai hidrokarbon suatu senyawa, makin hidrofob senyawa tersebut dan makin kuat tambatannya dengan ion lawan yang memiliki hidrofobilitas yang besar. Hal tersebut memungkinkan surfaktan anionik akan memiliki selektivitas yang tinggi dengan menggunakan reagen MBAS (Pratiwi & Prasetya, 2020).

Prinsip dasar dari metode MBAS ini adalah pemindahan metilen biru dari larutan ke dalam pelarut organik yang tidak saling bercampur, kemudian membentuk kompleks antara metilen biru dengan surfaktan anionik. Kelebihan menggunakan *methylen blue active substance* dengan metode Spektrofotometer UV-Vis adalah metode ini memiliki ketelitian yang tinggi, kesalahan dalam metode ini biasanya cenderung kepada *human error* yaitu kesalahan dalam pembuatan larutan standar sehingga kurva standar yang didapat kurang begitu valid yang disebabkan karena kesalahan dalam pembuatan larutan, selain itu kesalahan dari metode ini kemungkinan

terjadi pada saat penentuan panjang gelombang maksimum sehingga dapat mempengaruhi nilai konsentrasi sampel yang didapat (Pratiwi & Prasetya, 2020)

2.8 Perspektif Islam Terhadap Pencemaran Lingkungan dan Usaha Penanggulangannya

Perilaku manusia terhadap keadaan alam dapat membawa dampak positif seperti kebahagiaan, kesejahteraan atau kemuliaan, sedangkan dampak negatif yang dapat ditimbulkan adalah pencemaran lingkungan yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem alam. Pencemaran lingkungan hidup merupakan masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia atau proses alam sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya (UU RI No. 23 Tahun 1997). Larangan kepada umat manusia untuk tidak melakukan kerusakan lingkungan telah disebutkan dalam Q.S al-An'am (6) ayat 165 yang menegaskan larangan umat manusia sebagai *khalifatullah fi al 'ardh* untuk berbuat kerusakan di muka bumi:

وَهُوَ الَّذِي جَعَلَكُمْ خَلَائِفَ الْأَرْضِ وَرَفَعَ بَعْضَكُمْ فَوْقَ بَعْضٍ دَرَجَاتٍ لِّيُبْلُوَكُمْ فِي مَا آتَاكُمْ إِنَّ رَبَّكَ سَرِيعُ الْعِقَابِ وَإِنَّهُ لَغَفُورٌ رَّحِيمٌ

Artinya: “Dan Dialah yang menjadikan kamu sebagai khalifah-khalifah di bumi dan Dia mengangkat (derajat) sebagian kamu di atas yang lain, untuk mengujimu atas (karunia) yang diberikan-Nya kepadamu. Sesungguhnya Tuhanmu sangat cepat memberi hukuman dan sungguh, Dia Maha Pengampun, Maha Penyayang” (Q.S al-An'am (6):165)

Kata (خلائف) dalam surat al-An'am (6) ayat 165 disebutkan plural atau jamak sering kali diartikan sebagai “pengganti” karena yang menggantikan selalu berada atau datang (Al-Ishfahani, 1992). Menurut Shihab (2000) dalam buku Tafsir Al-Mishbah

bahwa kata *khalifah* pada mulanya berarti yang menggantikan atau yang datang sesudah siapa yang datang sebelumnya. Selain itu, Ibnu Katsir dalam Tafsir Al-Qur'an Al-Azhim menegaskan bahwa sebelum Adam telah ada manusia atau makhluk lain yang mendiami bumi, dan mereka ini telah mengemban amanat, akan tetapi mereka tidak mampu melaksanakan amanat itu dengan sebaik-baiknya. Justru cenderung berbuat kerusakan, maka Allah mengganti kepemimpinan mereka dengan penguasa yang baru yaitu Adam (خليفة). Pendapat M. Quraish Shihab, maupun Ibnu Katsir memiliki pesan yang sama, bahwa *khalifah* bermakna kaum yang silih bergantian mendiami bumi dan diberikan tugas dan wewenang oleh Allah untuk membangun dan menciptakan kemakmuran, menegakkan keadilan dan mencegah segala bentuk penyimpangan moral (Muid, 2010). Kehadiran manusia di muka bumi ini adalah untuk memenuhi amanah Allah SWT. Dalam rangkaian surat Al-Qur'an banyak tersimpan petunjuk bahwa amanah Allah SWT itu mencakup kewajiban dan tanggung jawab sesama manusia dan juga terhadap alam sekitarnya (Manan, 2015). Sehingga manusia sebagai *khalifah* di muka bumi memiliki peran yang penting dalam menjaga lingkungan, agar dapat terus dimanfaatkan untuk keberlangsungan hidup umat manusia dan makhluk hidup lainnya.

Salah satu upaya umat manusia dalam menjaga kualitas air di muka bumi ini agar dapat terus dimanfaatkan oleh seluruh makhluk hidup adalah dengan berupaya mengurangi bahaya dari pencemaran lingkungan yang dapat diakibatkan oleh limbah surfaktan sebagai bentuk pelestarian lingkungan perairan. Dalam upaya mengurangi bahaya pencemaran lingkungan dapat diperoleh dengan menuntut ilmu untuk mempelajari dan menemukan metode yang tepat sehingga dapat digunakan dalam

mengurangi dampak pencemaran lingkungan. Adapun metode yang sedang dikembangkan dalam menangani permasalahan limbah zat warna adalah dengan metode fotodegradasi. Fotodegradasi adalah suatu proses degradasi suatu material dengan bantuan energi foton yang berasal dari sinar ultraviolet (UV), fakta ini penting mengingat sinar matahari yang masuk ke permukaan bumi sebagian terdiri dari sinar ultra violet (UV) sehingga terjadi reaksi fotokimia (Bismo, 2006). Matahari sebagai pusat tata surya dan juga merupakan sumber energi untuk kehidupan yang berkelanjutan memiliki berbagai manfaat untuk kehidupan di bumi, seperti disebutkan dalam firman Allah Q.S Yusuf (10) ayat 5 dan Q.S Nuh (71) : 16 tentang penciptaan matahari sebagai cahaya sumber kehidupan bagi manusia:

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسَ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ مَا هُوَ خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ

Artinya: “Dialah yang menjadikan matahari bersinar dan bulan bercahaya, dan Dialah yang menetapkan tempat-tempat orbitnya, agar kamu mengetahui bilangan tahun, dan perhitungan (waktu). Allah tidak menciptakan demikian itu melainkan dengan benar. Dia menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya) kepada orang-orang yang mengetahui.” (Q.S Yusuf (10) : 5)

وَجَعَلَ الْقَمَرَ فِيهِنَّ نُورًا وَجَعَلَ الشَّمْسَ سِرَاجًا

Artinya: “Dan di sana Dia menciptakan bulan yang bercahaya dan menjadikan matahari sebagai pelita (yang cemerlang)?” (Q.S Nuh (71) : 16)

Dari ayat-ayat ini dipahami bahwa matahari memancarkan sinar yang berasal dari dirinya sendiri, ibarat pelita yang terus memancarkan sinar guna terus bisa memberi manfaat. Sebagai tanda kekuasaan Allah Swt matahari sebagai sumber cahaya, petunjuk waktu shalat, petunjuk atas bayang-bayang (penetapan waktu), dan sebagai perhitungan. Sains menjelaskan bahwa matahari sebagai sumber cahaya terbesar bagi bumi dapat menghasilkan energinya sendiri hal ini dijelaskan dalam al-

Qur'an bahwa matahari dideskripsikan sebagai سِرَاجًا dan ضِيَاءً yang berarti sinar matahari bersumber dari dirinya sendiri. Matahari memiliki energi cahaya yang sangat besar. Energi cahaya tersebut mampu menerangi bumi pada sisi yang luas. Cahaya matahari membantu tumbuhan melakukan fotosintesis yang hasilnya berupa gas oksigen yang merupakan bahan utama pernapasan makhluk hidup. Selain membantu tumbuhan berfotosintesis, cahaya matahari juga membantu menguapkan air laut sehingga terjadilah siklus hidrologi dan lain sebagainya.

Umumnya cahaya matahari terlihat seperti seberkas cahaya berwarna putih akan tetapi ilmu pengetahuan modern menemukan hal lain yang didukung dengan kecanggihan teknologi saat ini membuat manusia berfikir untuk memanfaatkan energi cahaya matahari bukan hanya sampai dengan mengubahnya menjadi sumber energi listrik. Seiring berkembangnya zaman, saat ini sinar matahari sudah dimanfaatkan sebagai metode pengolahan limbah dimana proses degradasi suatu material dengan bantuan energi foton yang berasal dari sinar ultraviolet disebut fotodegradasi (Budiman, 2014). Pemanfaatan metode fotodegradasi limbah dapat dilakukan menggunakan material fotokatalis TiO_2 terdoping logam besi (III). Suatu limbah jika ditambahkan bahan fotokatalis seperti $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ dan disinari sinar ultraviolet akan diuraikan menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana sehingga aman bagi lingkungan. Penggunaan $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ telah banyak dilaporkan sebagai fotokatalis yang efektif dalam degradasi limbah surfaktan dalam air. Sehingga penelitian mengenai $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ merupakan upaya pelestarian lingkungan perairan, yang bertujuan dalam menanggulangi bahaya limbah surfaktan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret 2023 sampai Juli 2023 di Laboratorium Kimia Anorganik dan Laboratorium Instrumentasi Jurusan Kimia, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas, corong pemisah, spatula, labu ukur, neraca analitik, *magnetic stirrer*, botol semprot, mortar *agate*, *hot plate*, pipet volume, cawan penguap, cawan krusibel, oven merk *Thermo Scientific*, tanur, *ultrasonic vibracell* merk Q-Sonica, corong pisah, Spektrofotometer UV-Vis merk Varian tipe Cary 50, Benchtop Powder XRD merk Rigaku dan UV-Vis/DRS merk Evolution 220.

3.2.2 Bahan

Adapun bahan dan prekursor yang dipergunakan dalam penelitian ini diantaranya titanium (IV) dioksida (TiO_2) anatas (Sigma Aldrich, 97%), $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (Merck, 99%), isopropanol (Merck, 99,5%), NaOH 10 M (Merck), etanol p.a (Merck), aquades, kloroform, *Sodium Lauryl Sulfat* (SLS) teknis, Metilen Biru, natrium dihidrogen fosfat monohidrat ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

3.3 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan-tahapan pada penelitian ini adalah:

1. Sintesis material TiO_2 terdoping besi (III) menggunakan metode sonikasi.

2. Karakterisasi struktur kristal, analisis daerah serapan dan energi celah pita (E_g) material fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$.
3. Uji aktivitas fotodegradasi $\text{TiO}_2\text{-Fe}$
 - a. Pengaruh variasi lama penyinaran pada proses degradasi SLS di bawah iradiasi cahaya tampak dengan material sintesis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ sonikasi.
 - b. Pengaruh variasi konsentrasi SLS pada proses degradasi dengan material sintesis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ sonikasi.
 - c. Uji efektivitas SLS dengan lama penyinaran dan konsentrasi optimum menggunakan material TiO_2 , $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ dan tanpa katalis.
4. Analisis data.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Sintesis Material $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ dengan Metode Sonikasi

Sintesis TiO_2 terdoping besi (III) dilakukan dengan menimbang TiO_2 anatas SA sebanyak 2,9 gr. Kemudian ditambahkan 50 mL isopropanol. Campuran kemudian disonikasi menggunakan *ultrasonic vibracell* selama 5 menit dengan frekuensi rendah 20 KHz. Sejumlah 0,1 gr $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dicampurkan ke dalam 20 mL akuades. Larutan TiO_2 yang telah disonikasi ditambahkan dengan 2 mL larutan $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dan 5 mL larutan NaOH 10 M setiap 30 detik sambil di stirer hingga total 20 mL larutan besi (III) nitrat dan 50 mL larutan NaOH 10 M habis. Campuran kemudian disonikasi selama 30 menit dengan frekuensi rendah 20 KHz. Setelah 30 menit, hasil sonikasi didiamkan selama 2 hari. Endapan yang terbentuk kemudian disentrifugasi selama 15 menit pada 5300 rpm, dicuci dengan akuades dan etanol dan disaring,

selanjutnya dikeringkan pada suhu 80 °C selama 12 jam. Setelah kering, padatan digerus dengan mortar *agate* untuk membentuk pelet dan dikalsinasi pada suhu 450 °C selama 3 jam.

3.4.2 Analisis Daerah Serapan dan Energi Celah Pita dengan Spektroskopi UV-Vis/Diffuse Reflectance Spectroscopy

Karakterisasi dengan UV-Vis/DRS dilakukan untuk mengetahui karakter serapan sinar dari material hasil sintesis di daerah ultraviolet dan sinar tampak. Dari data DRS juga dapat ditentukan energi celah pita material hasil sintesis. Sampel yang akan di karakterisasi dalam bentuk serbuk halus ditempatkan pada *sample holder* kemudian diukur persentase reflektansinya pada rentang panjang gelombang 400-800 nm. Hasil dari karakterisasi ini akan menghasilkan grafik energi celah pita di mana akan menunjukkan grafik hubungan antara foton dengan kuadrat koefisien absorpsi. Besarnya energi celah pita dapat ditentukan dengan cara menarik garis lurus dari ujung kurva koefisien absorpsi berpotongan dengan sumbu x. Titik potong tersebut yang menunjukkan energi celah pita dari TiO₂-Fe.

3.4.3 Analisis Struktur Fotokatalis TiO₂-Fe Menggunakan X-Ray Diffraction (XRD)

Difraksi sinar-X digunakan untuk mengidentifikasi fasa dan menentukan kristalinitas sampel. Difraktometer yang digunakan adalah XRD, merk Rigaku, tipe: MiniFlex. Pengukuran dilakukan dengan Cu sebagai logam target, terisi generator 40 kV dan arus 30 mA, sehingga dihasilkan radiasi Cu-K α ($\lambda = 1,518$). Pola difraksi sinar-X merepresentasikan intensitas puncak difraksi sebagai fungsi dari sudut 2θ pada

rentang 10-90°. Pertama sampel TiO₂-Fe dihaluskan dengan mortar agate untuk membentuk pelet. Kemudian sampel ditempatkan pada preparat dan dipress. Selanjutnya ditempatkan pada *sample holder* dan disinari dengan sinar-X. Data yang diperoleh dari karakterisasi dengan XRD adalah difraktogram yang akan dibandingkan dengan standar untuk mengetahui karakteristik dari TiO₂ setelah di doping dengan besi. Berdasarkan difraktogram yang diperoleh dari hasil difraksi sinar-X.

3.4.4 Pengukuran Konsentrasi Fotodegradasi SLS Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis

3.4.4.1 Pembuatan Kurva Kalibrasi

Larutan kerja sebanyak 25 mL dengan kadar SLS 3, 5, 10, 15, 20 dan 25 ppm dimasukkan ke dalam corong pemisah 50 mL. Selanjutnya ditambahkan dengan 6,25 mL larutan metilen biru dan 2,5 mL kloroform, dikocok kuat-kuat selama 30 detik dengan sesekali membuka keran corong guna mengeluarkan gas yang dihasilkan. Biarkan hingga terjadi pemisahan fasa, digoyangkan corong pemisah perlahan-lahan (jika terbentuk emulsi tambahkan sedikit *isopropyl alcohol* sampai emulsinya hilang), pisahkan lapisan bawah (fasa kloroform) dan tampung dalam corong pemisah yang lain. Ekstraksi kembali fasa air dalam corong pisah sebanyak 2 kali dan satukan semua fasa kloroform. Terakhir tambahkan 12,5 mL larutan pencuci ke dalam fasa kloroform gabungkan kemudian kocok kuat-kuat selama 30 detik, biarkan terjadi pemisahan fasa, selanjutnya keluarkan lapisan bawah (kloroform) dan ditampung ke dalam labu ukur. Diukur absorbansinya dengan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum yang diperoleh. Masing-masing absorbansi setiap konsentrasi yang diperoleh dibuat kurva kalibrasi dengan sumbu x sebagai konsentrasi larutan standar (ppm) dan sumbu y sebagai

absorbansi yang dihasilkan dari larutan standar. Dari grafik diperoleh persamaan linier $y = ax + b$ (Rahmawati, 2020).

3.4.5 Uji Aktivitas Fotokatalis TiO₂-Fe terhadap Degradasi SLS dengan Variasi Lama Penyinaran dan Konsentrasi SLS

3.4.5.1 Uji Aktivitas Fotodegradasi SLS dengan Variasi Lama Penyinaran

Larutan SLS 25 ppm sebanyak 25 mL dimasukkan dalam gelas kimia 50 mL kemudian ditambahkan 375 mg TiO₂-Fe. Campuran diuji aktivitas fotodegradasi yang dilakukan di dalam reaktor sinar tampak (lampu halogen) dengan variasi lama penyinaran 60, 90, 120, 150, dan 180 menit. Pengulangan dilakukan sebanyak 3 kali pada masing-masing variasi waktu. Larutan SLS hasil degradasi, masing-masing di sentrifugasi dan dilakukan prosedur seperti poin 3.4.4.1. Kemudian dianalisa absorbansi yang menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum larutan SLS.

3.4.5.2 Uji Aktivitas Fotodegradasi SLS dengan Variasi Konsentrasi SLS

Larutan SLS dengan variasi konsentrasi 5; 10; 15; 20; 25 ppm sebanyak 25 mL dimasukkan dalam gelas kimia 50 mL dan ditambahkan 375 mg TiO₂-Fe. Campuran diuji aktivitas fotodegradasi yang dilakukan di dalam reaktor sinar tampak (lampu halogen) dengan lama penyinaran optimum. Pengulangan dilakukan sebanyak 3 kali pada masing-masing variasi konsentrasi. Larutan SLS hasil degradasi, masing-masing di sentrifugasi dan dilakukan prosedur seperti poin 3.4.4.1. Kemudian dianalisa absorbansi yang menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum larutan SLS.

3.4.5.3 Uji Efektivitas Fotodegradasi SLS

Larutan SLS dengan konsentrasi optimum sebanyak 25 mL dimasukkan dalam tiga gelas kimia 50 mL berbeda. Gelas pertama berisi SLS tanpa katalis, gelas kedua dengan 375 mg TiO₂ dan gelas ketiga dengan 375 mg TiO₂-Fe. Campuran diuji

efektivitas fotodegradasi yang dilakukan di dalam reaktor cahaya tampak dengan lama penyinaran optimum. Pengulangan dilakukan sebanyak 3 kali pada masing-masing variasi uji. Larutan SLS hasil degradasi, masing-masing di sentrifugasi dan dilakukan prosedur seperti poin 3.4.4.1. Kemudian dianalisa absorbansi yang dihasilkan dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum larutan SLS.

3.4.6 Analisis Data

1. Difraktogram yang diperoleh dari karakterisasi XRD dibandingkan dengan standar ICDD-TiO₂ anatas untuk mengetahui perubahan fasa dari TiO₂ setelah diberi perlakuan. Ukuran kristal dapat ditentukan berdasarkan difraktogram yang diperoleh dari hasil XRD dengan persamaan Debye-Scherrer :

$$D = \frac{K\lambda}{dW \cdot \cos\theta} \dots\dots\dots(3.1)$$

Notasi D merupakan ukuran rata-rata kristal (nm), K merupakan konstanta (~1), λ merupakan panjang gelombang sinar-X (nm), dW adalah lebar puncak pada setengah intensitas, dan θ adalah sudut Bragg.

2. Data yang diperoleh dari hasil karakterisasi dengan UV-Vis/DRS adalah berupa nilai reflektansi (*R*) dari panjang gelombang 200-800 nm. Data yang diperoleh kemudian dibuat grafik hubungan antara panjang gelombang dan nilai reflektansi, untuk mengetahui kecenderungan nilai reflektansi terhadap peningkatan panjang gelombang dengan adanya pengaruh dopan besi (III). Analisis lebih lanjut dilakukan dengan menggunakan persamaan Kubelka-Munk.

$$F(R) = \frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R} \dots\dots\dots(3.2)$$

Notasi F(R) = faktor Kubelka-Munk, K = koefisien absorpsi, S = koefisien *scattering* dan R = nilai reflektan yang diukur. Selanjutnya, energi celah pita

ditentukan dengan membuat plot antara energi foton ($h\nu$) (sebagai sumbu x) dan $(F(R).h\nu)^{1/2}$ (sebagai sumbu y). Energi foton dihitung dari data panjang gelombang yang terukur, dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$E_g = \frac{hc}{\lambda} \dots \dots \dots (3.3)$$

di mana E_g = energi celah pita (eV), c = kecepatan cahaya (m/s), dan λ = panjang gelombang (nm).

3. Absorbansi maksimal spektra UV-Vis dari hasil degradasi larutan dimasukkan ke persamaan regresi ($y=ax+b$) dari kurva standar untuk mengetahui konsentrasi akhir larutan setelah proses degradasi. Nilai x yang diperoleh merupakan nilai konsentrasi dari. Nilai persen degradasi dapat dihitung dengan persamaan

$$\% \text{Degradasi} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\% \dots \dots \dots (3.4)$$

di mana C_0 = konsentrasi awal dan C_1 = konsentrasi setelah degradasi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

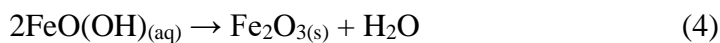
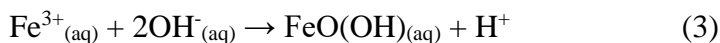
4.1 Sintesis Material TiO₂-Fe dengan Metode Sonikasi

Sintesis material fotokatalis TiO₂ terdoping besi (III) dilakukan dengan metode sonikasi menggunakan *ultrasonic vibracell* dengan frekuensi 20 KHz. Reaktan yang digunakan adalah TiO₂ anatas Sigma Aldrich (SA) dan besi (III) nitrat (Fe(NO₃)₃).9H₂O. Dalam proses sonikasi digunakan larutan isopropanol yang berfungsi sebagai medium cair untuk perambatan gelombang karena dapat bercampur secara heterogen dalam campuran reaksi dan baik dalam menghasilkan kristal berukuran nanopartikel. Sampel disonikasi selama 5 menit untuk memaksimalkan campuran antara TiO₂ anatas dan isopropanol. Isopropanol dipilih karena menghasilkan ukuran partikel yang terkecil daripada pelarut lain yaitu dari 116,3 nm menjadi 83,53 nm.

Hal ini sesuai dengan penelitian Ambati dan Gogate (2018) yang memaparkan perbedaan penggunaan pelarut dalam sintesis TiO₂-Fe menggunakan metode sonikasi, dimana jika menggunakan pelarut air ukuran partikel akan jauh menurun dari 185,4 nm menjadi 129,3 nm; metanol ukuran partikel dari 141,5 nm menjadi 101,7 nm: dan untuk etanol ukuran partikel yang dihasilkan mendekati isopropanol yaitu dari 115,3 nm menjadi 84,38 nm. Sehingga selain isopropanol, etanol juga bisa digunakan sebagai pelarut dalam sintesis TiO₂-Fe dengan metode sonikasi. Penggunaan isopropanol sebagai pelarut dalam penelitian ini merupakan kesalahan dalam interpretasi jurnal rujukan terkait sebelum dilakukan penelitian. Oleh karena itu penggunaan isopropanol

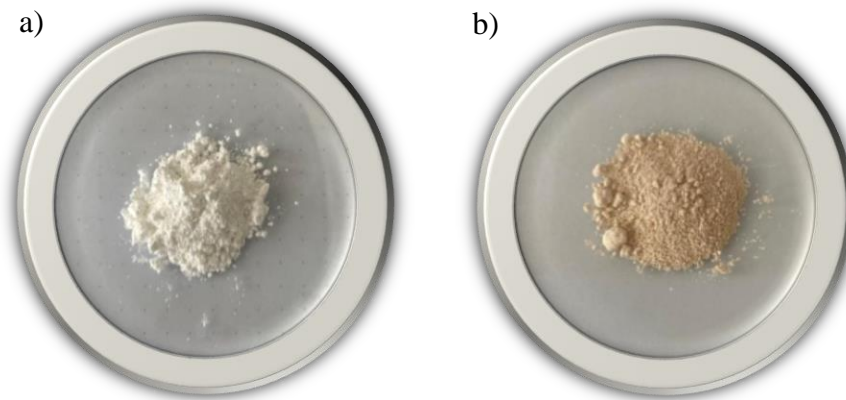
bisa tetap digunakan dengan catatan menggunakan TiO_2 yang bersumber dari *Titanium (IV) tetra-isopropoxide* (TTIP) dalam penelitian selanjutnya.

Proses doping dilakukan dengan penambahan larutan $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ dan NaOH setiap 30 detik sambil distirer untuk memaksimalkan pencampuran. Penambahan NaOH ke dalam campuran berfungsi untuk mengontrol laju kristalisasi (Xie, *dkk.*, 2019). Selain itu kondisi basa diperlukan untuk meningkatkan kecepatan pembentukan oksida besi, kondisi basa dapat diperoleh dengan penambahan NaOH . Garam $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ sebagai bahan awal Fe_2O_3 dengan Fe memiliki muatan $3+$. Campuran tersebut diaduk hingga homogen lalu bereaksi dengan NaOH , ion hidroksida (OH^-) dalam larutan bereaksi dengan ion Fe^{3+} dalam garam besi yang membentuk besi hidroksida, Sebagaimana mekanisme Persamaan (4.1) reaksi pembentukan besi oksida Fe_2O_3 sebagai berikut (Marta, *dkk.*, 2019).



Tahap selanjutnya produk didiamkan selama 2 hari untuk memaksimalkan proses kristalisasi. Produk hasil pendiaman dilakukan pemisahan dengan sentrifuge untuk memaksimalkan pemisahan kristal yang terbentuk. Hasil pencucian selanjutnya dioven untuk menguapkan pelarut yang masih tersisa. Kemudian digerus dengan mortar agate untuk meningkatkan luas permukaan partikel, karena semakin besar luas permukaan suatu material maka sifat fotokatalisnya semakin baik. Luas permukaan suatu material akan semakin besar jika bentuk partikelnya mendekati *tube* meskipun

tetap berukuran nano (Chen, dkk., 2003). Selanjutnya dikalsinasi pada suhu 450°C selama 3 jam untuk mendapatkan struktur kristal dengan fase anatas. Sampel yang telah dikalsinasi kemudian digerus kembali menggunakan mortar agate sehingga diperoleh perubahan yang signifikan antara TiO_2 sebelum dan sesudah terdoping Fe (III). Seperti pada Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa TiO_2 anatas setelah ditambahkan dopan besi (III) secara fisik terjadi perubahan warna dari putih menjadi kecoklatan.



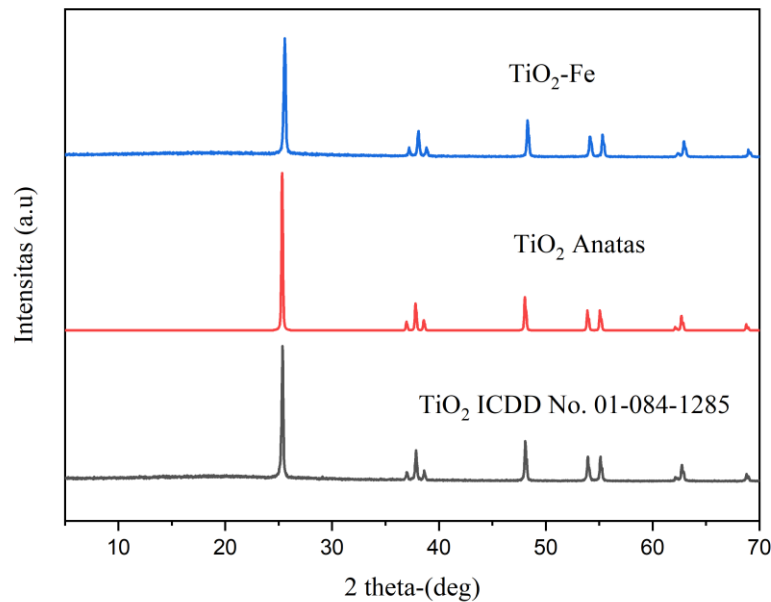
Gambar 4.1 (a) TiO_2 anatas SA (b) $\text{TiO}_2\text{-Fe}$

4.2 Karakterisasi Material Fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$

4.2.1 Hasil Analisis Material Fotokatalis Menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*

Identifikasi material hasil sintesis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ dapat dilakukan menggunakan instrumen XRD yaitu untuk mengetahui fasa yang terbentuk dan pengaruh adanya penambahan doping besi (III) pada pola difraksi sinar-X yang dihasilkan. Fasa TiO_2 anatas hasil sintesis dibandingkan dengan TiO_2 anatas standar ICDD (*International Centre for Diffraction Data*) untuk mengetahui apakah ada fasa lain yang terbentuk

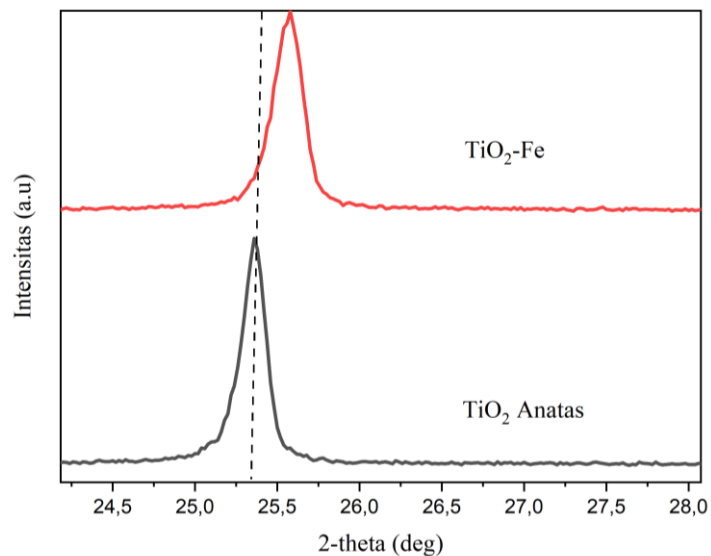
atau tidak. XRD menggunakan radiasi monokromator sinar X Cu ($1,54060 \text{ \AA}$) dengan voltase 30 kV dengan scanning dilakukan pada sudut $2\theta(\text{deg}) = 3-90^\circ$. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa fasa TiO_2 hasil sintesis yang terbentuk adalah fasa anatas. Di mana TiO_2 fasa anatas memiliki karakteristik puncak khas $2\theta(^\circ) = 25^\circ$, 38° , 48° dan 75° (Sood *et al.*, 2015). Pola difraksi hasil sintesis material $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ ditunjukkan pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Difraktogram XRD TiO_2 anatas dan $\text{TiO}_2\text{-Fe}$

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat diamati bahwa puncak-puncak tersebut memiliki kesesuaian dengan puncak khas standar TiO_2 ICDD No. 01-084-1285 yang tidak terbentuk fasa lain akibat adanya penambahan besi (III) pada TiO_2 . Tidak adanya puncak baru yang terbentuk mengindikasikan bahwa besi (III) mampu berperan sebagai dopan pada kristal TiO_2 tanpa mengubah fasa anatas TiO_2 . Hal ini sejalan dengan pemaparan Sood *et al.* (2015) yaitu adanya dopan besi tidak memunculkan

puncak baru karena komposisi dopan yang digunakan sangat kecil, adanya dopan besi juga memunculkan ciri khas yakni menurunnya intensitas puncak yang ada. Dapat diketahui pula dengan adanya penambahan dopan besi (III) memberikan pengaruh terhadap pergeseran puncak pada posisi 2θ . Hal tersebut disebabkan karena adanya distorsi struktural akibat substitusi ion Ti^{4+} oleh ion Fe^{3+} yang memiliki jari-jari atom berbeda, sehingga menyebabkan pergeseran puncak (Moalej, dkk., 2019).



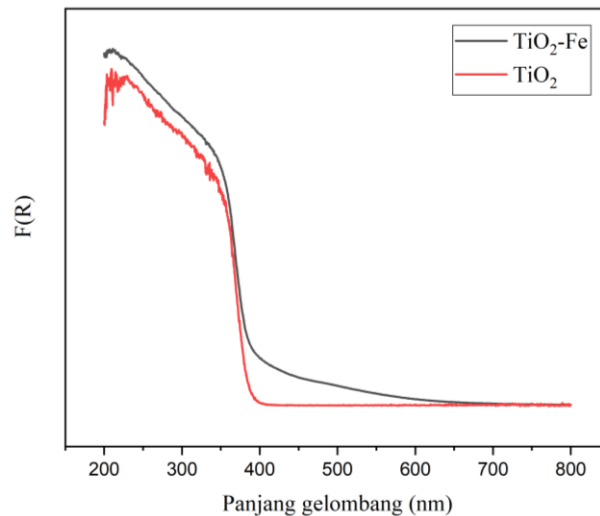
Gambar 4.3 Hasil perbesaran puncak difraktogram TiO₂ anatas dan TiO₂-Fe

Adapun pada Gambar 4.3 dapat diamati pergeseran pada 2θ ke kanan dari $25,337^\circ$ menjadi $25,573^\circ$. Menurut Pratiwi, dkk (2020) hasil karakterisasi TiO₂-Fe menggunakan XRD menghasilkan pergeseran ke arah nilai 2θ yang lebih besar. Pergeseran ke arah kanan disebabkan bahwa semakin sedikit dopan besi (III) yang ditambahkan maka nilai 2θ akan semakin bergeser ke arah yang lebih besar yang disebabkan oleh sedikit perbedaan jari-jari antara kedua logam (Ismael, 2020). Hal tersebut juga dapat dikaitkan dengan adanya perluasan sel. Perluasan sel dapat dikenali

karena perbedaan yang signifikan antara jari-jari ion dopan dan ion inang (Fe^{3+} : 0,79 Å and Ti^{4+} : 0,75 Å) (Shirsath *et al.*, 2013).

4.2.2 Hasil Analisis Daerah Serapan dan Energi Celah Pita UV-Vis DRS

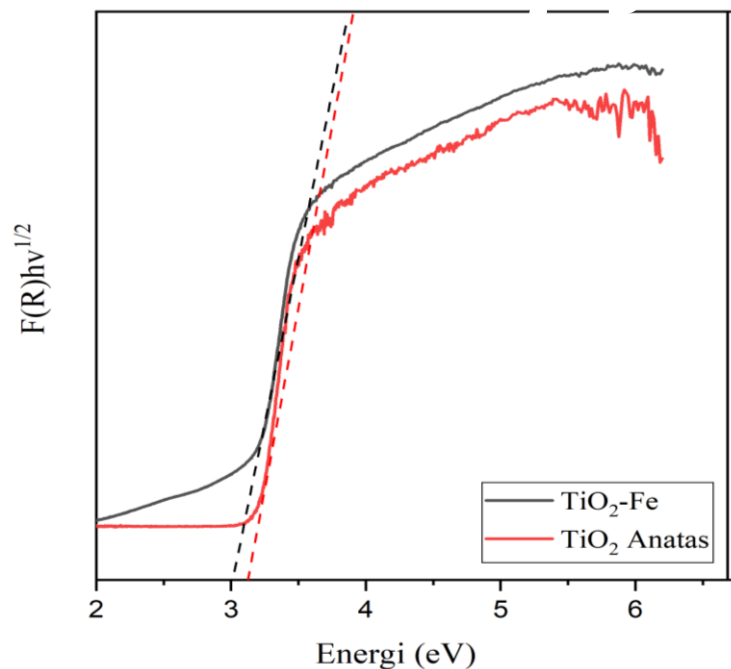
Karakterisasi menggunakan UV-Vis/DRS adalah untuk mengetahui daerah serapan sinar dan nilai energi celah pita pada TiO_2 terdoping 1,2% besi (III) yang disintesis dengan metode sonikasi. Karakterisasi juga dilakukan pada prekursor TiO_2 anatas SA sebagai pembanding daerah serapan dan nilai energi celah pita dari material TiO_2 -Fe yang telah disintesis. Pada karakterisasi ini pengukuran dilakukan dengan panjang gelombang 200-800 nm. Hasil pengukuran dari material sintesis TiO_2 -Fe dapat dilihat pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Hubungan antara faktor *Kubelka-Munk* dengan Panjang gelombang

Berdasarkan Gambar 4.4 yaitu grafik teori Kubelka-Munk dengan panjang gelombang dilakukan untuk mempelajari sifat serapan sampel padatan. Faktor kubelka-munk sebanding dengan koefisien absorpsi per scattering (k/s), di mana nilai $F(R)$ diperoleh dari persamaan matematis $F(R) = (1-R)^2/2R$. Pada Gambar 4.4 menunjukkan

bahwa $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ mempunyai nilai koefisien absorpsi per scattering yang lebih tinggi daripada TiO_2 panjang gelombang 200-400 nm. Pada sinar tampak (400-800 nm) TiO_2 dan $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ memiliki nilai absorpsi per scattering yang hampir sama. Hal tersebut menandakan bahwa TiO_2 dan $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ dapat menyerap sinar pada daerah sinar UV (200-400) nm dan sinar tampak (400-800 nm). Hal tersebut mengindikasikan bahwa TiO_2 terdoping besi (III) yang disintesis dengan metode sonikasi, memiliki aktivitas fotokatalitik yang optimum untuk meningkatkan absorpsi sinar pada rentang cahaya tampak atau memiliki kemampuan menyerap sinar pada daerah sinar tampak lebih tinggi dibandingkan dengan TiO_2 anatas.



Gambar 4.5 Grafik penentuan energi celah pita

Analisis lebih lanjut dilakukan dengan grafik antara $(F(R) \cdot hv)^{1/2}$ dengan energi celah pita (hv). Pada Gambar 4.5 grafik tersebut digunakan untuk menentukan energi celah material hasil sintesis, dimana nilai energi celah pita diperoleh dari perpotongan

garis lurus yang ditarik memotong sumbu x pada kurva. Berdasarkan Tabel 4.5 dapat diketahui bahwa energi celah pita TiO₂ anatas SA sebesar 3,20 eV, sedangkan TiO₂-Fe mengalami penurunan energi celah pita menjadi 3,00 eV. Semakin banyak komposisi dopan yang terkandung dalam TiO₂, energi celah pita (E_g) yang dimiliki juga semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa sintesis TiO₂-Fe dapat menghasilkan energi celah pita yang lebih kecil dibandingkan dengan TiO₂ anatas. Penurunan energi celah pita pada TiO₂-Fe disebabkan adanya penambahan dopan besi (III) ke dalam matriks TiO₂ yang menyebabkan pergeseran sehingga meningkatkan absorpsi sinar ke daerah sinar tampak. Hal tersebut sejalan dengan pernyataan Larumbe *et al.* (2015) dimana terjadi pergeseran panjang gelombang yang lebih besar dan menuju tingkat energi yang lebih rendah. Pernyataan tersebut sesuai dengan Tabel 4.1 dimana nilai panjang gelombang bergeser dari 387 nm menjadi 413 nm yang merupakan daerah absorpsi sinar tampak. Energi celah pita yang semakin kecil dapat meningkatkan efektivitas fotokatalis dalam mendegradasi molekul organik, karena energi yang dibutuhkan untuk eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi menjadi lebih kecil.

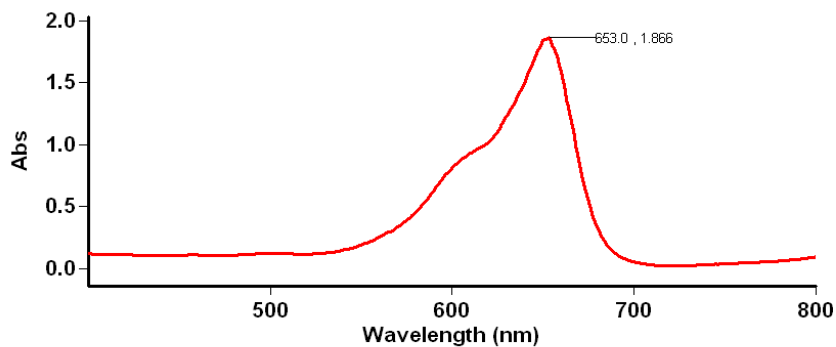
Tabel 4.1 Nilai energi celah pita dan daerah serapan panjang gelombang

Fotokatalis	Energi celah pita (eV)	Panjang gelombang (nm)
TiO ₂ anatas	3,20	387
TiO ₂ -Fe	3,00	413

4.3 Pengukuran Konsentrasi Fotodegradasi SLS Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis

4.3.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum SLS

Panjang gelombang maksimum untuk larutan SLS ditentukan dengan larutan standar SLS 25 ppm menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 400-700 nm. Penentuan panjang gelombang maksimum bertujuan untuk mengetahui pada panjang gelombang berapa sampel dapat terserap secara optimum sehingga dapat mengurangi kesalahan pembacaan serapan menjadi minimum. Penentuan panjang gelombang maksimum larutan SLS menggunakan metode MBAS agar SLS yang semula berwarna bening menjadi larutan berwarna. Prinsip metode ini adalah dengan ekstraksi. Adapun berdasarkan Gambar 4.6 didapatkan puncak maksimum pada panjang gelombang dari SLS yang bereaksi dengan metilen biru sebesar 653 Hal ini cukup sesuai dengan penelitian Pristhanto (2011) bahwa panjang gelombang maksimum SLS yang dihasilkan sebesar 652 nm.

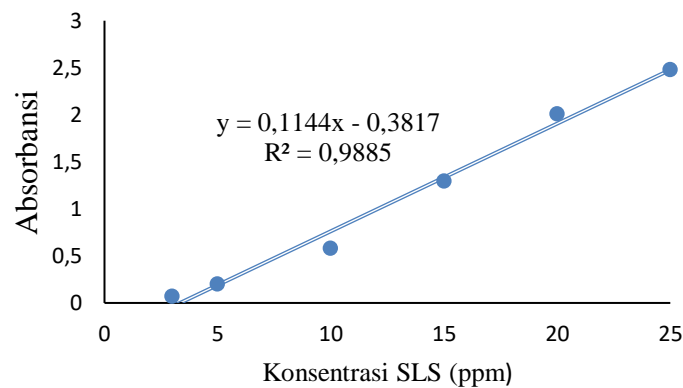


Gambar 4.6 Grafik panjang gelombang maksimum SLS

4.3.2 Penentuan Kurva Standar SLS

Pembuatan kurva standar didasarkan pada hukum Lambert-Beer yaitu radiasi cahaya yang diserap atau ditransmisikan oleh larutan akan sebanding dengan konsentrasi larutan tersebut. Di mana grafik antara konsentrasi dan absorbansi akan membentuk suatu garis lurus. Penentuan kurva standar SLS dilakukan dengan

mengukur absorbansi variasi konsentrasi 3, 5, 10, 15, 20, dan 25 ppm pada panjang gelombang maksimum 653 nm. Penentuan konsentrasi SLS untuk kurva standar SLS juga dilakukan dengan analisa MBAS. Penentuan kurva standar bertujuan untuk mengetahui konsentrasi terukur dari SLS menggunakan persamaan regresi ($y = ax + b$) di mana y merupakan absorbansi sedangkan x merupakan konsentrasi SLS. Adapun grafik penentuan kurva standar ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik kurva standar SLS

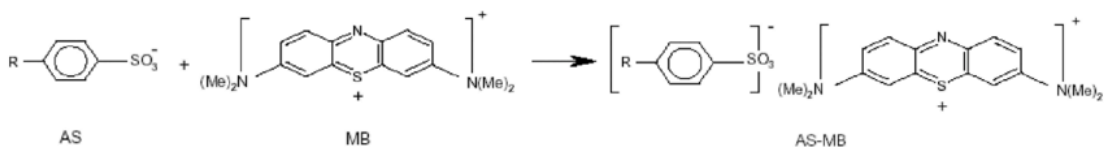
Grafik kurva standar SLS seperti Gambar 4.7 dengan sumbu x sebagai konsentrasi dan sumbu y sebagai absorbansi. Diperoleh persamaan $y = 0,1144x - 0,3817$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9885. Persamaan regresi linear ini digunakan untuk menentukan konsentrasi sisa SLS setelah proses fotodegradasi dengan cara memasukkan nilai absorbansi pada fungsi y .

4.3.3 MBAS Prosedur

Metode MBAS (*Methylene Blue Active Substances*) pada penelitian ini digunakan untuk mendeteksi keberadaan surfaktan SLS dalam air. Kompleks MBAS

berwarna biru yang terbentuk digunakan untuk penentuan kadar SLS sebagai MBAS pada panjang gelombang 653 nm setelah dilakukan pengukuran panjang gelombang. Pada kondisi yang ideal zat aktif *methylene blue* hanya dipresentasikan oleh SLS yang membentuk ikatan ion dengan *methylene blue*, sehingga SLS yang terdeteksi melalui reaksi warna disebut zat aktif *methylene blue*. Zat aktif *methylene blue* menyebabkan perpindahan *methylene blue* dari larutan berair menjadi cairan organik yang tidak dapat bercampur pada saat kesetimbangan. Jika terkandung kadar SLS, maka kationik *methylene blue* dan SLS anionik membentuk pasangan ion, yang diekstraksi ke dalam fase organik. Saturasi warna fase organik meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi surfaktan anionic. Intensitas warna biru yang dihasilkan pada fase organik diukur, pada prakteknya kompleks MBAS dapat terbentuk oleh zat-zat lain yang juga aktif terhadap *methylene blue*.

Namun faktanya, saturasi warna dari *methylene blue* dapat lebih banyak atau lebih sedikit yang dapat berpindah ke dalam fase organik, sehingga perlu dicatat bahwa dengan metode ini memungkinkan adanya kesalahan yang bisa saja terjadi seperti fase organik yang tetap tidak berwarna walaupun telah dilakukan ekstraksi *methylene blue*. Karena saturasi warna yang terukur setara dengan kadar SLS. Adapun mekanisme ikatan ion antara SLS (surfaktan) dengan *methylene blue* seperti pada Gambar 4.8.

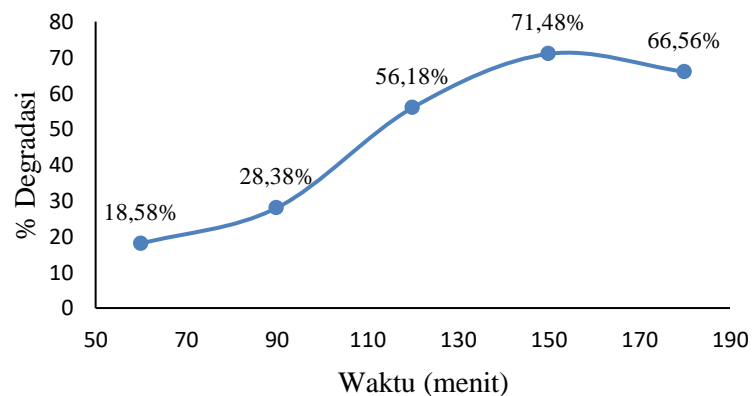


Gambar 4.8 Mekanisme pembentukan pasangan ion antara *methylene blue* dengan surfaktan anionik (Violetta, *dkk.*, 2015)

4.4 Uji Aktivitas Fotokatalis TiO₂-Fe terhadap Degradasi SLS

4.4.1 Uji Aktivitas Fotodegradasi SLS dengan Variasi Lama Penyinaran

Uji efektivitas fotokatalis TiO₂-Fe dalam mendegradasi larutan SLS dilakukan menggunakan sinar tampak dengan variasi waktu lama penyinaran terhadap reaksi fotodegradasi. Tujuan dari adanya variasi waktu lama penyinaran adalah untuk mengetahui kemampuan katalis dalam mendegradasi SLS seiring dengan perubahan waktu. Penentuan lama waktu penyinaran dilakukan dengan cara menambahkan 25 mL SLS dengan konsentrasi SLS yang digunakan adalah 25 ppm dan menambahkan 375 mg TiO₂-Fe pada setiap variasi waktu penyinaran 60, 90, 120, 150 dan 180 menit disertai pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* bertujuan agar semua bagian fotokatalis dapat terkena sinar secara merata, dilakukan di dalam reactor lampu halogen 20 watt yang memiliki serapan pada daerah sinar tampak dalam rentang panjang gelombang 370-800 nm. Jika dikaitkan dengan hasil sintesis TiO₂-Fe yang memiliki *band gap* 3,00 dengan serapan panjang gelombang pada 413 nm maka penggunaan lampu halogen dalam penelitian ini sudah sesuai. Hasil fotodegradasi SLS menggunakan katalis TiO₂-Fe dengan variasi waktu lama penyinaran sebagai berikut.



Gambar 4.9 Grafik hasil penentuan lama waktu penyinaran

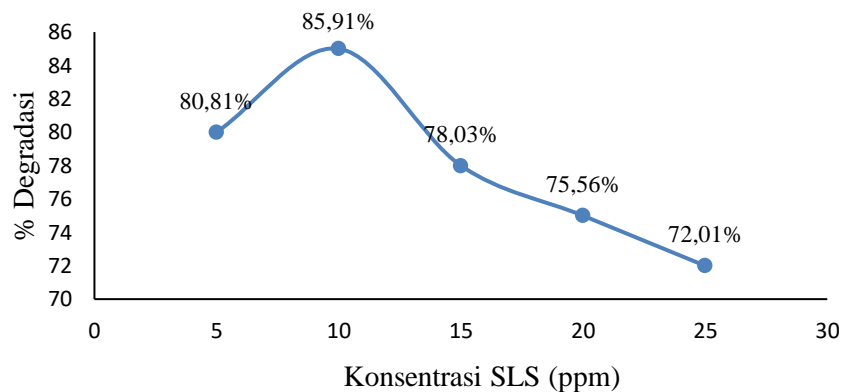
Berdasarkan Gambar 4.9 diketahui bahwa variasi waktu penyinaran yang dilakukan adalah 60, 90, 120, 150, dan 180 menit. Masing-masing variasi memberikan persen degradasi (%) 18,58; 28,38; 56,18; 71,48; dan 66,56%. Pada persen degradasi yang dihasilkan terdapat persen degradasi yang paling tinggi yaitu sebesar 71,48% pada menit ke-150 menit, hal tersebut menunjukkan keadaan optimum dari fotodegradasi SLS. Sedangkan pada menit ke-180 persen degradasi justru mengalami penurunan menjadi 66,56%. Menurut data pada Gambar 4.9 semakin lama penyinaran yang dilakukan maka persen degradasi meningkat seiring bertambahnya waktu penyinaran. Hal tersebut dapat terjadi karena semakin lama penyinaran maka akan semakin banyak elektron yang tereksitasi sehingga akan semakin banyak *hole* (h^+) yang terbentuk menjadikan aktivitas fotodegradasi meningkat. (Said & Hariani, 2022).

Adapun ketika aktivitas fotodegradasi sudah mengalami keadaan optimal maka pada waktu berikutnya yakni pada 180 menit cenderung sedikit menurun. Penurunan aktivitas degradasi dikarenakan terbentuknya rekombinasi elektron/*hole* (e^-/h^+). Rekombinasi elektron dan *hole* yang terjadi pada permukaan atau di dalam volume partikel fotokatalis menyebabkan terjadinya eksitasi dari pita valensi ke pita konduksi dan kemudian turun kembali ke pita valensi. Hal tersebut menyebabkan fotokatalis kehilangan kemampuan redoksnya dengan cara menghasilkan energi panas atau foton. Semakin lama waktu penyinaran maka persentase degradasi akan menurun seiring dengan banyaknya proses rekombinasi elektron/*hole* yang dihasilkan (Setiyawati *et al.*, 2020). Hasil optimum yang diperoleh dari penentuan lama waktu penyinaran adalah

150 menit dan akan digunakan sebagai acuan uji fotodegradasi variasi penentuan konsentrasi SLS.

4.4.2 Uji Aktivitas Fotodegradasi SLS dengan Variasi Konsentrasi SLS

Pada tahap ini digunakan variasi konsentrasi SLS dengan menggunakan lama waktu penyinaran optimum fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ yang bertujuan untuk mengetahui konsentrasi optimum dari SLS. Penentuan konsentrasi optimum SLS dilakukan dengan variasi konsentrasi 5, 10, 15, 20, 25 ppm dengan menambahkan massa fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ sebanyak 375 mg. Adapun grafik hasil uji aktivitas fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ terhadap degradasi SLS dengan variasi konsentrasi larutan SLS dapat dilihat pada Gambar 4.10



Gambar 4.10 Grafik hasil degradasi SLS variasi konsentrasi SLS

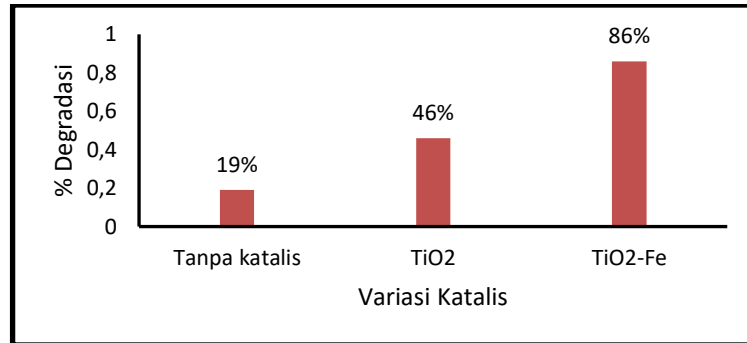
Berdasarkan Gambar 4.10 diperoleh bahwa variasi konsentrasi SLS sebesar 5, 10, 15, 20, 25 ppm masing-masing menghasilkan persen degradasi (%) 80,81; 85,91; 78,03; 75,56; 72,71. Konsentrasi optimum SLS dihasilkan pada 10 ppm dengan persen degradasi tertinggi yaitu 85,91%, hal ini menandakan bahwa aktivitas optimum proses degradasi berada di konsentrasi 10 ppm dimana saat kondisi optimum kesempatan

untuk terbentuknya *hole* (h^+) semakin banyak yang berimbas pada aktivitas degradasi semakin meningkat. Adapun penurunan persen degradasi pada konsentrasi 15 ppm ke 25 ppm disebabkan oleh semakin tinggi konsentrasi surfaktan SLS maka akan memiliki jumlah molekul yang lebih banyak, mengakibatkan molekul tersebut menutupi permukaan fotokatalis. Hal ini menyebabkan kurangnya pembentukan pasangan *hole* (h^+) dan elektron (e^-) yang dihasilkan untuk mengoksidasi surfaktan akan semakin sedikit (Riskiani *et al.*, 2018). Interaksi yang kurang optimal antara sinar dengan fotokatalis akan menurunkan proses degradasi karena dengan menurunnya interaksi sinar dan fotokatalis akan menurunkan aktivitas fotokatalis dalam mendegradasi SLS. Oleh karena itu, konsentrasi surfaktan SLS yang semakin tinggi memiliki molekul lebih banyak dan menyebabkan intensitas sinar halogen yang mengenai fotokatalis menjadi berkurang, sehingga menurunkan aktivitas fotodegradasi yang menyebabkan persentase degradasi menjadi lebih kecil (Dewi *et al.*, 2017).

4.4.3 Uji Efektivitas Fotodegradasi SLS dengan Variasi Optimum

Uji efektivitas fotokatalis dilakukan untuk mengetahui efektivitas dari beberapa variasi kondisi saat mendegradasi surfaktan berupa larutan SLS. Pada tahap ini perlakuan dilakukan menggunakan lama waktu penyinaran optimum dan konsentrasi optimum yang telah diperoleh sebelumnya. Hasil persen degradasi SLS dengan katalis TiO_2 -Fe dibandingkan dengan persen degradasi SLS menggunakan TiO_2 , TiO_2 -Fe, dan tanpa katalis. Perbandingan ini tujuannya untuk mengetahui bahwa penambahan TiO_2 -Fe dapat lebih efektif dalam proses degradasi SLS. Pengukuran konsentrasi SLS

dilakukan dengan analisa MBAS dan didapatkan hasil % degradasi pada Gambar 4.11 berikut:



Gambar 4.11 Hasil uji efektivitas untuk fotodegradasi SLS

Berdasarkan Gambar 4.11 dapat diketahui material fotokatalis TiO₂-Fe dengan konsentrasi 10 ppm dan waktu penyinaran 150 menit memiliki nilai % degradasi paling tinggi, bahkan jauh melebihi kondisi tanpa katalis dan dengan katalis TiO₂ anatas. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa material fotokatalis TiO₂-Fe pada waktu penyinaran dengan konsentrasi SLS yang optimal efektif dalam mendegradasi SLS. Hasil optimal tersebut dipengaruhi beberapa faktor antara lain sinar yang diiradiasikan pada material sepadan dengan nilai energi celah pita yang ada, di mana pada material TiO₂-Fe memiliki rentang kerja daerah sinar tampak dengan E_g 3,00 eV yang memiliki rentang panjang gelombang 413,91 nm. Fotokatalis TiO₂-Fe memiliki kemampuan yang lebih baik dalam melakukan degradasi dikarenakan nilai energi celah pita nya yang lebih kecil. Hal ini disebabkan karena adanya pembentukan sub pita baru dari dopan Fe di antara pita konduksi dan pita valensi dari senyawa TiO₂. Doping Fe dapat membentuk pita baru dibawah pita konduksi. Pembentukan pita baru menghasilkan laju

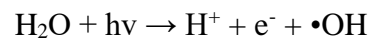
rekombinasi yang lemah sehingga dapat meningkatkan efisiensi degradasi fotokatalis. Energi celah pita turun dikarenakan adanya oksigen vakansi yang terbentuk dibawah pita konduksi sehingga mudah mengikat elektron yang mengalami eksitasi (Zhang, dkk., 2011).

Band gap yang lebih kecil dapat membuat pembentukan $\text{OH}\cdot$ yang lebih mudah menghasilkan radikal OH yang lebih banyak menyebabkan aktivitas proses degradasi menjadi lebih tinggi dengan persen degradasi yang besar. Menurut penelitian dari Nahar, dkk (2007) dan Zhou, dkk (2006) yang mendapatkan bahwa, penambahan dopan Fe pada TiO_2 membuat aktivitas fotokatalis yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan yang tidak di doping. TiO_2 yang dikenai sinar akan terjadi eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dengan meninggalkan lubang positif ($h_{\text{vb}+}$) pada pita valensi. Spesies $h_{\text{vb}+}$ akan terikat pada permukaan TiO_2 kemudian membentuk radikal $\cdot\text{OH}$ dengan air sehingga dapat memecah molekul dan menghasilkan radikal hidroksil (OH) sehingga dapat mendegradasi SLS menjadi CO_2 dan H_2O . Seperti pada reaksi mekanisme persamaan 2.1.

Sedangkan degradasi SLS dengan katalis TiO_2 tanpa doping menghasilkan persen degradasi sebesar 45%. Hal ini menunjukkan bahwa TiO_2 saja mampu mendegradasi SLS disebabkan TiO_2 mempunyai sifat semikonduktor yang dapat menyerap energi cahaya mengakibatkan OH radikal dihasilkan untuk mendegradasi SLS. Namun pada kondisi ini memiliki nilai % degradasi kecil karena sinar yang dipakai (sinar tampak) pada proses fotodegradasi tidak sepadan dengan nilai energi celah pita TiO_2 anatas yakni 3,20 eV dengan panjang gelombang 387,75 nm yang merupakan daerah sinar UV. Hal tersebut bisa terjadi

karena proses eksitasi elektron ke pita konduksi terhambat karena ketidaksesuaian antara sinar yang digunakan dengan nilai energi gap pada fotokatalis.

Proses tersebut berefek pada spesies radikal hidroksil ($\text{OH}\cdot$) yang terbentuk akan semakin sedikit yang berakibat pada menurunnya tingkat degradasi SLS. Adapun pada data SLS tanpa katalis didapatkan hasil degradasi paling rendah yaitu hanya 19%. Hal ini menandakan SLS dapat terdegradasi oleh sinar meskipun hanya sedikit. Dengan adanya penyinaran oleh radiasi sinar tampak dari lampu halogen, menyebabkan degradasi SLS meningkat. Hal tersebut disebabkan oleh reaksi fotolisis H_2O dan sinar yang diiradiasikan. Reaksi fotolisis H_2O akan menghasilkan radikal $\text{OH}\cdot$ dalam jumlah kecil yang ditunjukkan oleh reaksi berikut (Chang, dkk., 2020):



4.5 Fotokatalis sebagai Metode Pengolahan Limbah Surfaktan SLS dalam Pandangan Islam

Besi diketahui mampu meningkatkan aktivitas fotokatalis TiO_2 dalam mendegradasi limbah cair seperti surfaktan SLS dalam kandungan deterjen, peningkatan aktivitas fotodegradasi terlihat di bawah penyinaran sinar tampak dengan variasi lama penyinaran. Hal ini menunjukkan bahwa material fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ memiliki potensi dalam mendegradasi surfaktan SLS, serta polutan organik lainnya. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai bentuk menjaga dan melestarikan alam semesta. Sebagaimana firman-Nya dalam surat Hud (11) ayat 61, dimana Allah

SwT memberikan kepercayaan kepada umat manusia untuk memakmurkan dan mengelola Bumi guna mencegah bencana alam:

وَالِى تَمُودَ أَخَاهُمْ صَالِحًا قَالَ يَا قَوْمِ اعْبُدُوا اللَّهَ مَا لَكُمْ مِنْ إِلَهٍ غَيْرُهُ هُوَ أَنشَأَكُمْ مِنَ الْأَرْضِ وَاسْتَعْمَرَكُمْ فِيهَا فَاسْتَغْفِرُوهُ ثُمَّ تَوْبُوا إِلَيْهِ إِنَّ رَبِّي قَرِيبٌ مُجِيبٌ

Artinya: “Dan kepada kaum Tsamud (Kami utus) saudara mereka, Saleh. Saleh berkata, “Wahai kaumku! Sembahlah Allah, tidak ada tuhan bagimu selain Dia. Dia telah menciptakanmu dari bumi (tanah) dan menjadikanmu pemakmurnya, karena itu mohonlah ampunan kepada-Nya, kemudian bertobatlah kepada-Nya. Sesungguhnya Tuhanku sangat dekat (rahmat-Nya) dan memperkenankan (doa hamba-Nya)” (Q.S Hud (11): 61).

Kata **وَاسْتَعْمَرَكُمْ** mengungkapkan bahwa manusia diperintahkan untuk memakmurkan bumi, karena manusia memiliki potensi dan kesiapan menjadi makhluk yang mampu mengolah dan membangun kehidupan di atas bumi. Melaksanakan pembangunan dan mengolah bumi merupakan cara pengelolaan lingkungan secara benar, untuk menjaga dan melestarikan alam bagi generasi mendatang (Istianah, 2015). Penciptaan atas sesuatu selalu disertai dengan tanggungjawab setelahnya untuk menjalankan dengan kebaikan.

Fotokatalis yaitu senyawa yang digunakan untuk mendegradasi limbah dengan bantuan cahaya (foton). Cahaya sendiri termasuk dalam ciptaan Allah yang ada di langit dan di bumi, yang keberadaannya menjadi penerang bagi makhluk hidup. Di sisi lain, dalam ilmu pengetahuan cahaya memiliki banyak manfaat, salah satunya dalam penelitian ini berguna untuk menjadi alat untuk mendegradasi limbah. Mengamalkan ilmu pengetahuan melalui penelitian-penelitian yang kemudian dapat diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari. Seperti yang di firmankan dalam surah Al-Mujadalah

(58) ayat 11, yang memerintahkan manusia untuk menguasai ilmu pengetahuan dan teknologi, serta mengajukan penemuan dalam berbagai disiplin ilmu:

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا إِذَا قِيلَ لَكُمْ تَفَسَّحُوا فِي الْمَجَالِسِ فَأْفَسَّحُوا يَفْسَحَ اللَّهُ لَكُمْ وَإِذَا قِيلَ انشُرُوا فَاَنْشُرُوا يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ

Artinya: “Wahai orang-orang yang beriman! Apabila dikatakan kepadamu, “Berilah kelapangan di dalam majelis-majelis,” maka lapangkanlah, niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu. Dan apabila dikatakan, “Berdirilah kamu,” maka berdirilah, niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman di antarmu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat. Dan Allah Maha teliti apa yang kamu kerjakan.” (Q.S Al-Mujadalah (58): 11)

Ayat di atas dalam tafsir Al-Mishbah dijelaskan bahwa dalam kalimat (أُوتُوا الْعِلْمَ) (دَرَجَاتٍ) dimaksudkan bahwa Allah Swt akan meninggikan derajat orang-orang yang memiliki ilmu beberapa derajat atau kemuliaan dalam hidupnya. Peranan ilmu dalam Islam sangat penting sekali, karena dalam menjalankan kehidupan yang penuh dengan permasalahan perlu adanya ilmu pengetahuan untuk menyelesaikannya. Serta, ilmu pengetahuan juga dapat mengantarkan seseorang untuk mencapai kebahagiaan hidup di akhirat (Shihab, 2000). Fotodegradasi menjadi salah satu solusi yang efektif dalam mengatasi permasalahan lingkungan akibat pencemaran zat warna. Fotodegradasi memerlukan material fotokatalis dalam prosesnya, TiO₂ sebagai material fotokatalis sering digunakan karena kelebihanannya yang mampu mendegradasi senyawa organik dan mereduksi senyawa anorganik menjadi senyawa sederhana, lebih aman, stabil secara fisika dan kimia, ekonomis, serta ramah lingkungan (Suradjo, dkk., 2016).

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat diketahui bahwa penambahan doping besi (III) ke dalam matriks TiO₂ mampu meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya pada daerah sinar tampak, sehingga dapat digunakan secara efisien. Hasil karakterisasi

menunjukkan bahwa $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ memiliki energi celah pita yang lebih rendah, dibandingkan TiO_2 murni, sehingga lebih aktif di bawah sinar matahari sebagai sumber cahaya tampak yang melimpah. Serta hasil uji efektivitas dari $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ dalam mendegradasi SLS (*Sodium Lauryl Sulfat*), menunjukkan bahwa $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ menghasilkan persentase degradasi lebih besar dibandingkan TiO_2 murni di bawah penyinaran cahaya tampak. Adanya modifikasi TiO_2 menggunakan logam besi (III) dapat dimanfaatkan dalam mendegradasi surfaktan menjadi senyawa yang lebih sederhana yaitu CO_2 dan H_2O sehingga lebih aman bagi lingkungan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan XRD dihasilkan fasa kristal yang terbentuk pada material yang diidentifikasi sebagai fasa anatas dengan adanya pergeseran puncak akibat dopan besi (III). Adapun, data hasil karakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis/DRS menunjukkan $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ mengalami penurunan nilai energi celah pita yaitu dari 3,20 eV menjadi 3,00 eV.
2. Hasil uji aktivitas variasi lama penyinaran dihasilkan pada waktu penyinaran 150 menit yang dapat mendegradasi 71% larutan SLS.
3. Uji aktivitas variasi konsentrasi SLS dihasilkan bahwa semakin tinggi konsentrasi menyebabkan aktivitas degradasi akan semakin menurun. Adapun konsentrasi optimum dihasilkan pada variasi 10 ppm dengan persen degradasi sebesar 85%.
4. Pengaruh penambahan doping besi (III) pada TiO_2 memberikan hasil yang cukup signifikan dibandingkan tanpa doping. Hal ini terbukti dengan adanya doping besi (III) mampu menaikkan persen degradasi yang lebih tinggi karena nilai energi *band gap* yang berbeda. Adapun pada SLS dengan fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ menghasilkan persen degradasi tertinggi sebesar 86%.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan pengaruh lama penyinaran pada variasi waktu di bawah 60 menit dalam mendegradasi SLS menggunakan fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$.
2. Karakterisasi lanjutan menggunakan XRF untuk mengetahui persentase kandungan hasil sintesis.
3. Dibutuhkan metode prosedur baru dalam analisis surfaktan selain MBAS yang lebih efektif dan efisien, kelemahan metode MBAS yaitu saturasi warna dari *methylene blue* masih larut air sehingga akurasi pengukuran SLS kurang valid.
4. Penggunaa pelarut etanol saat sintesis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ pengganti isopropanol dikarenakan hasil sintesis yang tidak jauh berbeda dan mempertimbangkan harga yang lebih ekonomis.
5. Menggunakan TiO_2 berupa *Titanium (IV) tetra-isopropoxide* (TTIP), seperti pada penelitian/jurnal rujukan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldila, T. Y. (2015). *Analisis Faktor Perilaku Hidup Bersih Dan Sehat (PHBS) Dengan Kejadian Penyakit ISPA Berulang Pada Balita Di Wilayah Kerja Puskesmas Pekalongan Selatan Kota Pekalongan*. Jurusan Ilmu Kesehatan Masyarakat Fakultas Ilmu Keolahragaan.
- Aliah, H., Nurasih, A. E., Karlina, Y., Arutanti, O., Sustini, E., Budiman, M., & Abdullah, M. 2012. Optimasi Durasi Pelapisan Katalis TiO₂ pada Permukaan Polimer Polipropilena serta Aplikasinya dalam Fotodegradasi Larutan Metilen Biru. *Prosiding Seminar Nasional Material Fisika-ITB*, 58–61.
- Ambati, R. and Gogate, P.R., 2018. Ultrasound Assisted Synthesis of Iron Doped TiO₂ Catalyst. *Ultrasonics sonochemistry*, 40, pp.91-100.
- Ameta, S. C., Ameta, R., & Ameta, G. (Eds.). 2018. *Sonochemistry: An Emerging Green Technology*. USA: CRC Press.
- Aminullah, M., Sukarno, F., & Baiti, I. F. 2019. Pemanfaatan TiO₂ Pada Proses Fotodegradasi Limbah Pewarna Batik (Remazol Yellow Fg). *Jurnal Crystal*, 1(01), 28–38.
- Apriyani, N. 2017. Penurunan Kadar Surfaktan dan Sulfat dalam Limbah Laundry. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2(1), 37–44.
- Astuti, F. 2018. Efek Fotodegradasi Pada Pengolahan Surfaktan Anionik Dari Limbah Laundry. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 2(1).
- Aulia D.R, Anggita R.K Wardani, Herlina Agusyanti Anggraeni. 2020. Pengaruh Suhu Kalsinasi Terhadap Karakteristik Dan Aktivitas Fotokatalis N/TiO₂ Pada Penjernihan Limbah Batik Tenun Ikat Kediri. *Jurnal Kimia*. Volume 8 Nomor 1. Hal. 26-33
- Banerjee, Arghya N., Sang Woo Joo., dan Bong-Ki Min. 2012. Photocatalytic degradation of Organic Dye by Sol-Gel-Derived Gallium-Doped Anatase Titanium Oxide nanoparticles for Environmental Remediation. *Journal of Nanomaterials*, 1-14.
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. Gabriela, & Aboul-Enein, H. Y. 2015. X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(4), 289–299.
- Cahyono, E., Wijayanti, N., Kusumawardhana, S. M., Mursiti, Sri, Alighiri, D, Prasetya, A. T., Harjono, dan Kasmui. 2020. Modul Digital Kimia Organik Fisik. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang: UNNES Press.

- Chang, Y., Li, Q., An, F., Luo, Z., Zhao, Y., Yu, Y., He, Z., Chen, Z., Che, L., Ding, H. and Zhang, W., 2020. Water Photolysis and Its Contributions to The Hydroxyl Dayglow Emissions in The Atmospheres of Earth and Mars. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 11(21), pp.9086-9092.
- Chung Wu., Sheng Hong., & Syuan Wei. 2012. Effect of Fe Concentration on Fe-Doped Anatase TiO₂ from GGA + U Calculations. *International Journal of Photoenergy*. ID 823498 (6).
- Choi, J., Park, H., & Hoffmann, M. R. 2010. Combinatorial doping of TiO₂ with platinum (Pt), chromium (Cr), vanadium (V), and nickel (Ni) to achieve enhanced photocatalytic activity with visible light irradiation. *Journal of Materials Research*, 25(1), 149–158.
- Colon, G., Ward, B. C., & Webster, T. J. 2006. Increased Osteoblast and Decreased *Staphylococcus Epidermidis* Functions on Nanophase ZnO and TiO₂. *Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 78(3), 595-604.
- Danielson, S.J., 1996. Thin-film immunoassays. In *Immunoassay* (pp. 505-535). Academic Press.
- Dewi, M. A. K., Suprihatin, I. E., & Sibarani, J. 2017. Fotodegradasi Zat Warna *Remazol Brilliant Blue* Dengan Bentonit Terimpregnasi Fe₂O₃. *Jurnal Kimia* 11, 82–87.
- Dostanić, J. M., Lončarević, D. R., Banković, P. T., Cvetković, O. G., Jovanović, D. M., & Mijin, D. Z. 2011. Influence of Process Parameters on the Photodegradation of Synthesized azo Pyridone Dye in TiO₂ Water Suspension Under Simulated Sunlight. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 46(1), 70–79.
- Effendy. 2010. *Logam, Aloi, Semikonduktor, dan Superkonduktor*. Bayumedia
- Guo, J., Zhu, S., Chen, Z., Li, Y., Yu, Z., Liu, Q., & Zhang, D. 2011. Sonochemical Synthesis of TiO₂ Nanoparticles on Graphene for Use As Photocatalyst. *Ultrasonics sonochemistry*, 18(5), 1082-1090.
- Hadi, W., Prasetyo, A. K., Ardy, K., & Saraswati, P. 2021. Kajian Beban Pencemaran Air Sungai di Kota Malang dari Aspek Kualitas Air, Aspek Tata Guna Lahan, dan Aspek Kelembagaan. *Prosiding STEPPLA*, 422–429.
- Hambali R.I.A, Rahayuningsih M. Pengaruh Sonikasi Terhadap Sifat Fisik Formula Herbisida yang Ditambahkan Surfaktan Dietanolamida. *Agroradix*. 2018;1(2):34–41.

- Hasani, P.S.D., 2019. Sintesis dan Karakterisasi TiO₂ Terdoping Vanadium Variasi Konsentrasi Menggunakan Metode Reaksi Keadaan Padatan. *Skripsi*. Malang: Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Malang.
- Hendra, H., Barlian, E., Razak, A., & Sanjaya, H. 2016. Photo-Degradation of Surfactant Compounds Using Uv Rays With Addition of TiO₂ Catalysts in Laundry Waste. *Sainstek : Jurnal Sains Dan Teknologi*, 7(1), 59.
- Hielscher, Thomas. 2005. Ultrasonic Production of nano-Size Dispersions and Emulsions. *TIMA Editions*, 138-143.
- Hidup, K. L. 2010. *Baku Mutu Limbah Cair Surfaktan*. Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia.
- Hindryawati, N. 2020. Fotokatalis dalam Pengolahan Limbah Tekstil. Yogyakarta: Deepublish.
- Ibnu Katsir. 1407 H/1086M. *Tafsir Al-Qur'ân Al-Azhîm, Juz 1*. Beirut Libanon: Dâr Al-Fikr.
- Ismael, M. (2020). Enhanced photocatalytic hydrogen production and degradation of organic pollutants from Fe (III) doped TiO₂ nanoparticles. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(2), 103676.
- Jang, S. J., Kim, M. S., & Kim, B. W. 2005. Photodegradation of DDT with the photodeposited ferric ion on the TiO₂ film. *Water Research*, 39(10), 2178–2188.
- Jefri, F.P. 2015. Degradasi Fotokatalitik Surfaktan NaLS (*Natrium Lauryl Sulfat*) dengan Kombinasu Reagen Fenton dan TiO₂. *Skripsi*. Universitas Airlangga.
- Khafifudin, B. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis Titanium Dioksida (TiO₂) Anatas dengan Metode Sonikasi Variasi Suhu dan Waktu Kalsinasi. *Skripsi*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Khatun N., Saurabh ., C.P. Vinod., Chuan-Ming T., Shung W.L., Sajal ., dan Somaditya S. 2018. Role of oxygen Vacancies and Interstitials on Structural Phase Transition, Grain Growth, and Optical Properties of Ga Dopen TiO₂. *Journal of Applied Physics*, 123(24): 245702.
- Kumar, A. and Pandey, G., 2017. The Photocatalytic Degradation of Methyl Green in Presence of Visible Light with Photoactive NiO. 10: La0. 05: TiO₂ Nanocomposites. *IOSR-JAC*, 10(9), pp.31-44.
- Kustiningsih, I., Mareta, H., Mustofa, D., Slamet dan Purwanto, W. W. 2010. Pengaruh Morfologi TiO₂ dan Dopan Platina terhadap Produksi Hidrogen dan Air dengan Metode Fotokatalisis. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. Vol 14, No. 1.
- Li, J., Zhou, S. L., Hong, G. B., & Chang, C. T. 2013. Hydrothermal preparation of

- P25-graphene composite with enhanced adsorption and photocatalytic degradation of dyes. *Chemical Engineering Journal*, 219, 486–491.
- Li, Shen, W., He, W., & Zu, X. (2008). Effect of Fe-doped TiO₂ nanoparticle derived from modified hydrothermal process on the photocatalytic degradation performance on methylene blue. *Journal of Hazardous Materials*, 155(3), 590–594.
- Luttrell, Tim., Sandamali H., Junguang T., Alan K., Eli S., dan Matthias B. 2015. Why is Anatase a Better Photocatalyst than Rutile – Model Studies on Epitaxial TiO₂ Films. *Scientific Reports*, 4(1).
- Maretta, A., & Helmy, Q. 2015. Degradasi Surfaktan Sodium lauryl Sulfat dengan Proses Fotokatalis Menggunakan Nano Partikel ZnO. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 21(1). Hal 1-8.
- Marta, V., Jonas T., Jiri, P., and Kamila, K. 2019. Fe₂O₃ Nanoparticles/Vermiculite Clay Material: Structural, Optical and Photocatalytic Properties. *Journal Materials*. (12)1880
- Maryani, P., Swantika, L., & Satya, G. 2010. Degradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS) Menggunakan TiO₂. *Skripsi*. Universitas Airlangga.
- Manan, Abdul. 2015. Pencemaran dan Perusakan Lingkungan dalam Perspektif Hukum Islam. *Jurnal Hukum dan Peradilan*, Vol. 4. No. 2.
- Miyake, Michihiro; Takayuki Mano; Shunsuke Nishimoto; Yoshikazu Kameshima, Water treatment efficacy of various metal oxide semiconductors for photocatalytic ozonation under UV and visible light irradiation. *Chemical Engineering Journal*, 2015, 264, 221–229.
- Moalej, N.S., Ahadi, S. and Sheibani, S. 2019. Photocatalytic Degradation of Methylene Blue by 2 Wt.% Fe Doped TiO₂ Nanopowder Under Visible Light Irradiation. *Journal of Ultrafine Grained and Nanostructured Materials*, 52(2), pp.133-141.
- Muid, F.A., 2010. Pemerintahan dalam Perspektif Al-Qur'an. *Al-Ulum*, 10(1), pp.41-58.
- M.S. Nahar, K. Hasegawa, S. Kagaya, S. Kuroda. 2007. Comparative assessment of the efficiency of Fe-doped TiO₂ prepared by two doping methods and photocatalytic degradation of phenol in domestic water suspensions, *Sci. Technol. Adv. Mater.* 8. 286–291.
- Ningsih, S. K. W. 2016. Sintesis Anorganik. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.

- Nugroho, R.T., dan Fajriati, I. 2017. *Efektivitas Fotodegradasi Zat Warna Alizarine Red-S Menggunakan Oksidator Hidrogen Peroksida (H₂O₂) dan Fotokatalis TiO₂*. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 2(2): 26-37.
- Noguera, R.F.P. dan Jardim, W.F. 1993. Photodegradation of methylenen Blue Using Solar Light and Semiconductor (TiO₂). *Journal of Chemistry Education*, 70(10): 861-862.
- Oktapiani, N. K. A., Simpen, I. N., & Negara, I. M. S. 2021. Fotodegradasi Rhodamin B Oleh Katalis Zeolit Alam-TiO₂/ZnO dan Irradiasi Sinar Tampak. *Jurnal Kimia*, 15(1), 94.
- Oktaviani, Ade S. 2021. Sintesis dan Uji Efektivitas Fotokatalis Polianilin/TiO₂ terhadap Degradasi Senyawa Rhodamin B. *Skripsi*. Universitas Jenderal Soedirman.
- O'Neil, M. J. 2001. *The Merck Index-An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals. 13th Edition*. Whitehouse Station, NJ: Merck and Co. Inc. Hal: 1762.
- Ola, O., & Maroto-Valer, M. M. 2015. Review of Material Design and Reactor Engineering on TiO₂ Photocatalysis for CO₂ Reduction. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 24, 16–42.
- Pawar, M., Sengođdular, S. T., & Gouma, P. 2018. a Brief Overview of TiO₂ Photocatalyst for Organic Dye Remediation: Case Study of Reaction Mechanisms Involved in Ce-TiO₂ Photocatalysts System. *Journal of Nanomaterials*, 5953609, 1–13.
- Pratiwi, E., & Prasetya, T. 2020. Indonesian Journal of Chemical Science Optimasi Metode Analisis Kadar Surfaktan Anion Menggunakan Methylen Blue Active Substances dengan Spektrofotometer Ultraviolet Visible. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(2), 1–6.
- Pratiwi, E., Harlia, H., & Aritonang, A. B. 2020. Sintesis TiO₂ terdoping Fe³⁺ untuk Degradasi Rhodamin B Secara Fotokatalisis dengan Bantuan Sinar Tampak. *Positron*, 10(1), 57.
- Pristhanto, J.F. 2011. Degradasi Fotokatalitik Surfaktan NaLS (*Natrium Lauryl Sulfat*) dengan Kombinasi Reagen Fenton dan TiO₂. *Skripsi*. Universitas Airlangga.
- Putri, S. E., & Side, S. 2021. The Effect of Ratio Zeolite dan TiO₂ Toward the Particle Size of Zeolite/TiO₂ Composites. *Journal of Physics: Conference Series*, 1899(1), 1–7.
- Rahman, A., Nurjayadi, M., Wartilah, R., Kusriani, E., Prasetyanto, E. A., & Demergenci, V. 2018. Enhanced Activity of TiO₂/Natural Zeolite Composite for Degradation of Methyl Orange Under Visible Light Irradiation. *International Journal of Technology*, 6, 1159–1167.

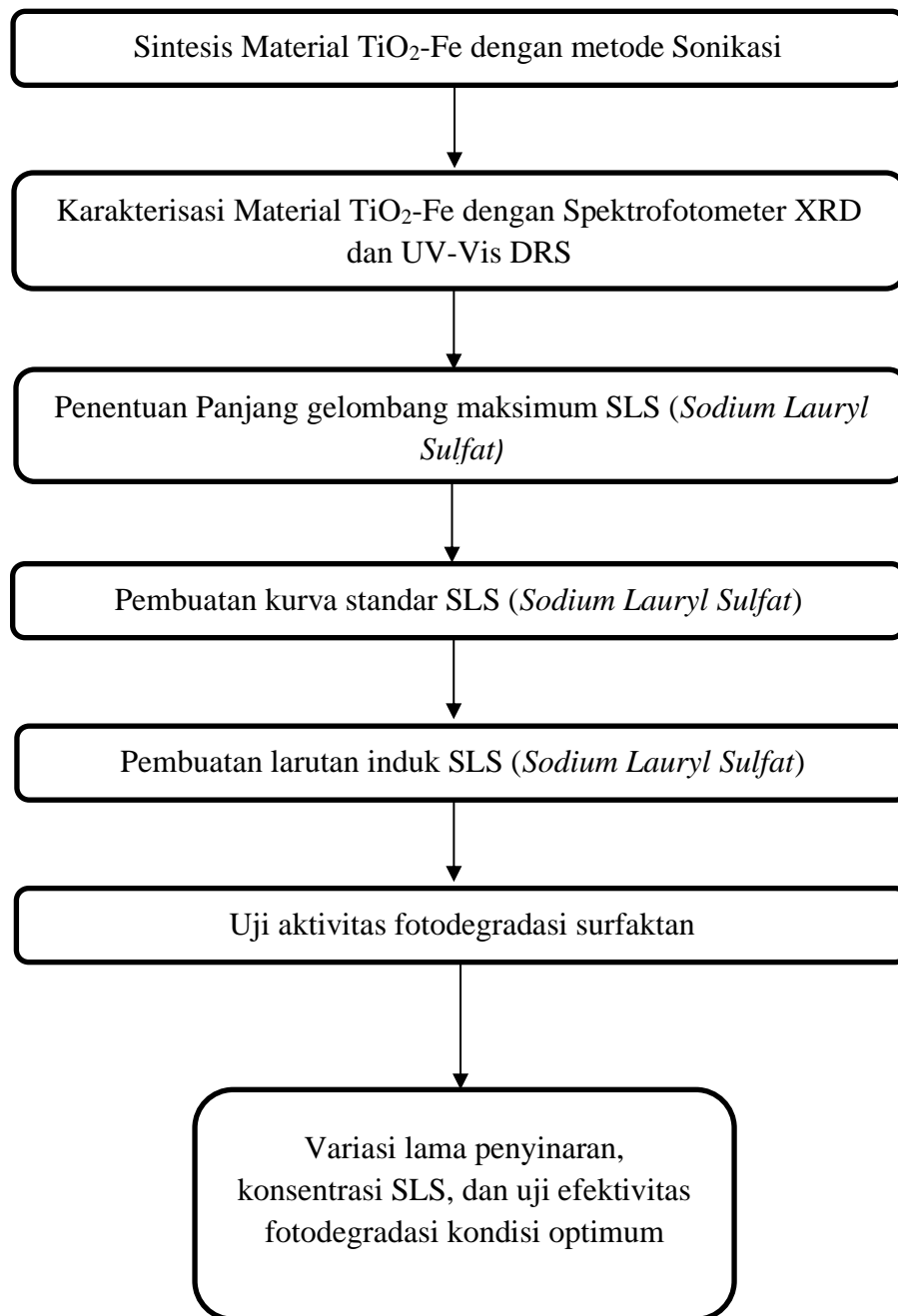
- Rahmawati, A., & Kusumawati, D. H. 2020. Review : Komposit TiO₂ Sebagai Fotokatalis Untuk Mendegradasi Zat Warna. *Inovasi Fisika Indonesia*, 9(2), 78–84.
- Rashed, M. N., & El-Amin, A. A. 2007. Photocatalytic Degradation of Methyl Orange in Aqueous TiO₂ Under Different Solar Irradiation Sources. *International Journal of Physical Sciences*, 2(3), 73–81.
- Riskiani, E., Suprihatin, I. E., & Sibarani, J. (2018). Fotokatalis Bentonit-Fe₂O₃ untuk Degradasi Zat Warna Remazol Brilliant Blue. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, Volume 7.
- Rizky, N. A., Irawati, U., & Rohman, T. (2020). Degradation of linear alkylbenzene sulfonate (LAS) using TiO₂-chitosan composite as a photocatalyst. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 980(1).
- Rowe, R. C., Sheskey P. J., & Quinn M. E. 2009. *Handbook of pharmaceutical excipients 6th edition*. London: The pharmaceutical press.
- Rusdiana, I.A., Hambali, E. and Rahayuningsih, M., 2018. Pengaruh Sonikasi Terhadap Sifat Fisik Formula Herbisida yang Ditambahkan Surfaktan Dietanolamida. *AGRORADIX: Jurnal Ilmu Pertanian*, 1(2), pp.34-41.
- Said, M., Riyanti, F., Hariani, P. L., Sastriani, & Rizki, W. T. (2022). Removal of Remazol Yellow Using SnO₂-Co Photocatalyst. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 30(3), 1949–1962.
- Saxena, V., Shukla, I., & Pandey, L. M. 2019. Hydroxyapatite: An Inorganic Ceramic for Biomedical Applications. *Materials for Biomedical Engineering* (pp. 205-249). Elsevier.
- Setiyawan, D., simpen, I.N., dan Ratnayati, O. 2020. Fotodegradasi Zat Warna Limbah Cair Industri Pencelup dengan Katalis Zeolit Alam/TiO₂ dan Sinar UV. *Cakra Kimia*. 8(1).
- Shihab, M. Quraish. 2000. *Tafsir Al-Mishbah, Pesan Kesan dan Keserasian Al-Qur'an*. Volume I. Jakarta: Lentera Hati.
- Shirsath, S.R., Pinjari, D.V., Gogate, P.R., Sonawane, S.H. and Pandit, A.B., 2014. Ultrasound Assisted Synthesis of Doped TiO₂ Nano-Particles: Characterization and Comparison of Effectiveness for Photocatalytic Oxidation of Dyestuff Effluent. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(1), pp.277-286.
- Solano, R.A., Herrera, A.P., Maestre, D. and Cremades, A., 2019. Fe-TiO₂ Nanoparticles Synthesized by Green Chemistry for Potential Application in Waste Water Photocatalytic Treatment. *Journal of Nanotechnology*.

- Sood, S., Umar, A., Mehta, S.K. and Kansal, S.K., 2015. Highly Effective FeDoped TiO₂ Nanoparticles Photocatalysts for Visible-Light Driven Photocatalytic Degradation of Toxic Organic Compounds. *Journal of Colloid and Interface Science*, 450, pp.213-223.
- Sucahya, Transmissia Noviska., Novie Permatasari., dan Asep Bayu D.N., 2016. *Review: Fotokatalis Untuk Pengolahan Limbah Cair*. Jurnal Integrasi Proses Vol. 6, No. (1). 1 – 15.
- Sudarminto, H.P., Suryandari, A.S., Mufid, Sindhuwati, C., Maula, I. 2021. Degradasi Linier Alkylbenzene Sulfonate Air Limbah Laundry Menggunakan Proses Fotokatalis. *Seminar Nasional Rekayasa Proses Industri Kimia*. 5 (1).
- Surenjan, A., Sambandam, B., Pradeep, T., dan Philip, L. 2017. Synthesis, characterization and performance of visible light active C-TiO₂ for pharmaceutical photodegradation. *Journal of Environmental Chemical*.
- Tanjung, R.H.R., Hamuna, B & Alianto, 2019. Assessment of Water Quality and Pollution Index in Coastal Waters of Mimika, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*, 20(2):87– 94.
- Tiwari, S., & Talreja, S. 2020. Powder X-Ray Crystallography a Powerful Tool of Analysis and Powder X-Ray Crystallography a Powerful Tool of Analysis. *The International Journal Of Analytical And Experimental Modal Analysis*, 12(12), 109–116.
- Trisunaryanti, Wega. 2018. *Material Katalis dan Karakternya*. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.
- Violetta, J., Jasmina, M., & Jelica, S. 2015. Detergent-like stressor and nutrient in metabolism of *Penicillium chrysogenum*. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. Vol. 28, No. 1, 43–51.
- Xie, E., Zheng, L., Li, X., Wang, Y., Dou, J., Ding, A., & Zhang, D. (2019). One-step synthesis of magnetic-TiO₂-nanocomposites with high iron oxide-composing ratio for photocatalysis of rhodamine 6G. *PLoS ONE*, 14(8), 1–19.
- Wahyuni, Desi Sri. 2020. *Urgensi Belajar Dalam Perspektif Islam (Kajian Tafsir Qur'An Surat Al-Mujadalah Ayat 11)*. *Skripsi*. Palembang: Universitas Muhammadiyah Palembang.
- Wahyuningsih, S., Ramelan, A.H. and Saputri, L.N.M.Z., 2017, July. A Study on Structure/Phase Transformation of TiO₂ Nanorods at Various Annealing Temperatures. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 75, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.
- Wardhani, S., Purwonugroho, D., Fitri, C.W. and Prananto, Y.P., 2018, October. Effect of pH and Irradiation Time on TiO₂-Chitosan Activity for Phenol Photo-

- Degradation. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2021, No. 1, p. 050009). AIP Publishing LLC.
- Wildan, A., Pramitaningastuti, A.S. dan Anggraeny, E.N., 2017. Pengolahan Limbah Cair dengan Metode Fotokatalitik di Desa Gemawang Kabupaten Semarang. *Proceeding of The URECOL*, pp.135-141.
- Wiranwetchayan, O., Promnopas, S., Thongtem, T., Chaipanich, A. and Thongtem, S., 2017. Effect of Alcohol Solvents on TiO₂ Films Prepared by Sol–Gel Method. *Surface and Coatings Technology*, 326, pp.310-315.
- Yang, H., Han, C., dan Xue, X. 2014. Photocatalytic Activity of Fe-Doped CaTiO₃ Under UV-Visible Light. *Journal of Environmental*, 26:7, 1489-1495.
- Yuliana, dkk. 2013. Efektivitas dan Efisiensi Fitoremediasi Orthophospat pada Detergen dengan menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). *Jurnal Program Studi Manajemen Sumber Daya Air*. Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan. Univeristas Maritim Raja Ali Haji.
- Zilfa, Rahmayeni, Septiani, U., & Fajri, M. L. 2017. Utilization Natural Zeolite from West Sumatera for TiO₂ Support in Degradation of Congo Red dan a Waste Simulation by Photolysis. *Der Pharmacia Lettre*, 9(5), 1–10.
- Zhou, J. Yu, B. Cheng. 2006. Effects of Fe-doping on the photocatalytic activity of mesoporous TiO₂ powders prepared by an ultrasonic method, *J. Hazard. Mater.* B137. 1838–1847.

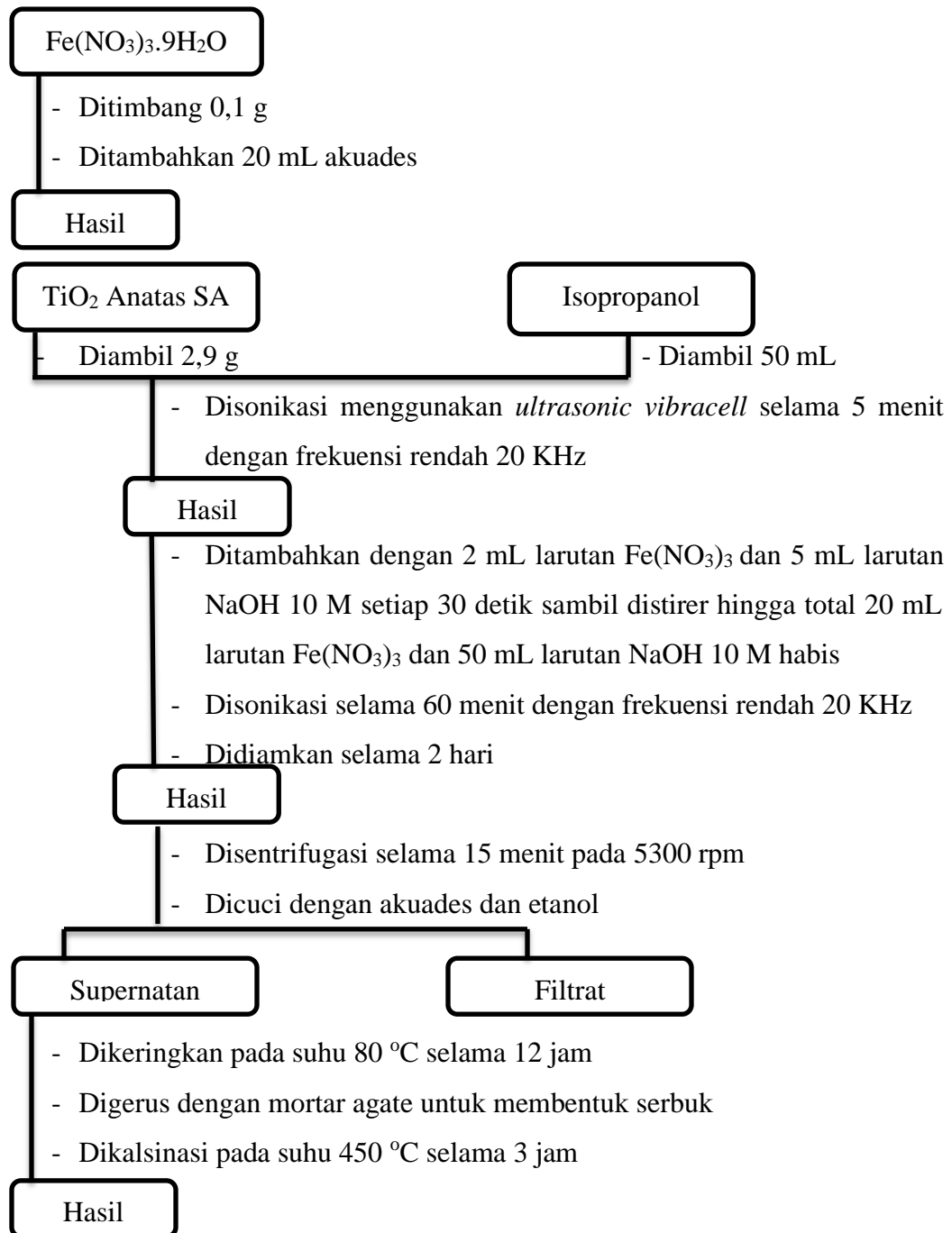
LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan Penelitian

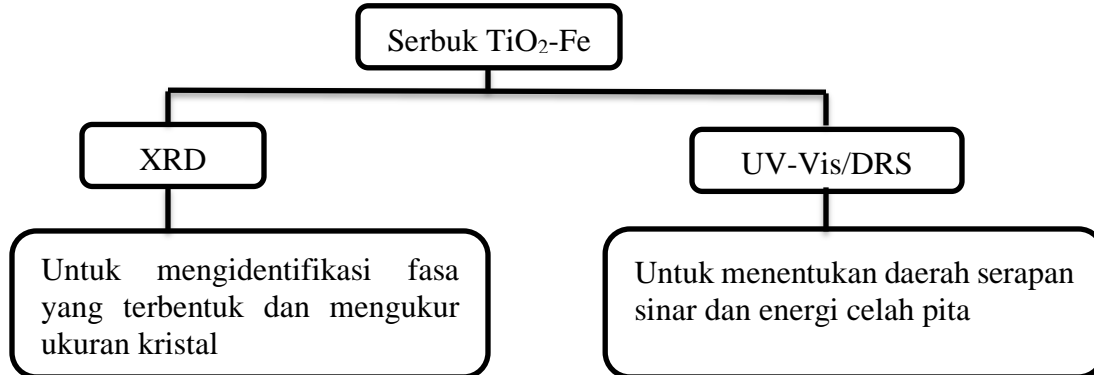


Lampiran 2. Diagram Alir

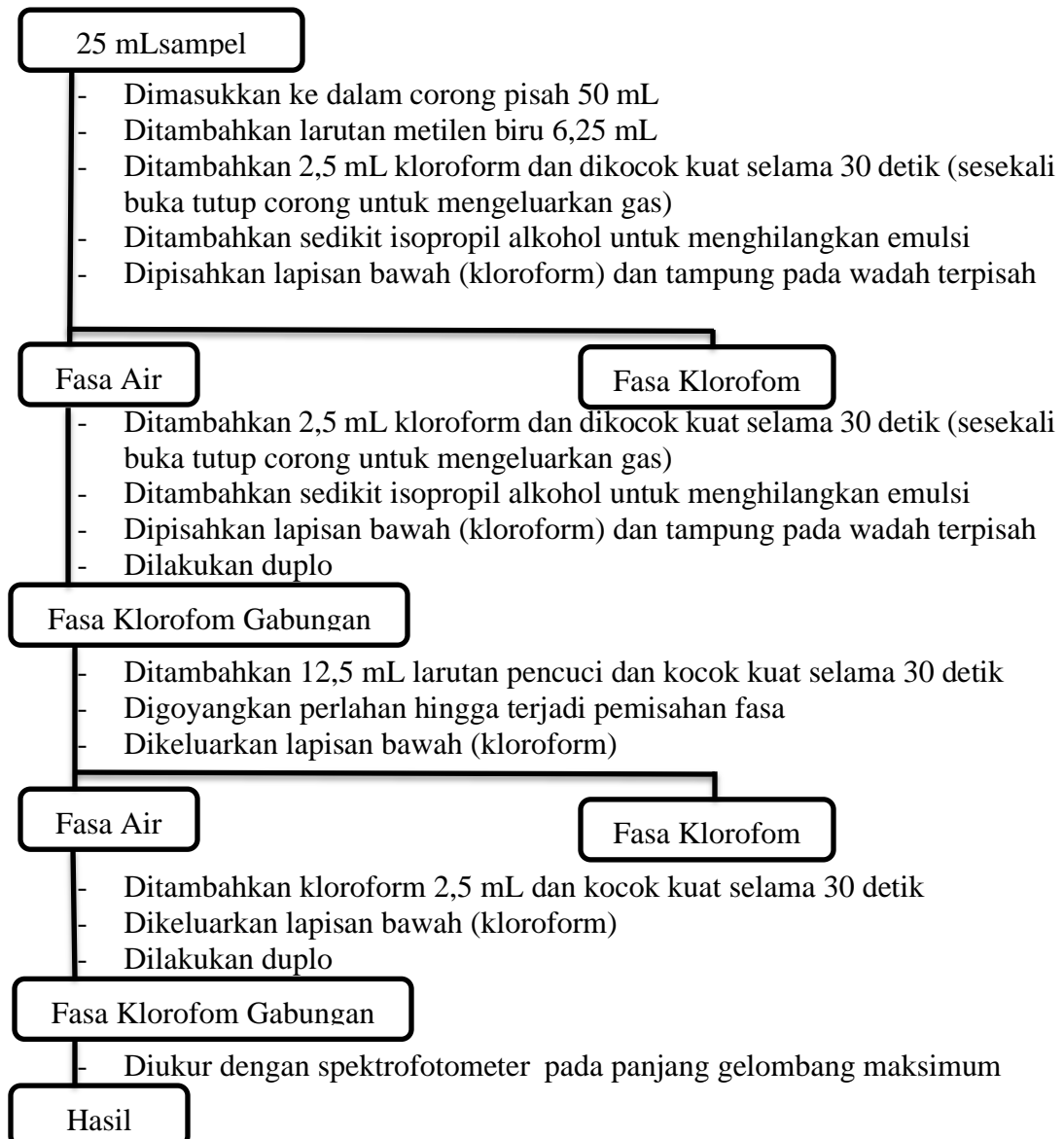
L.2.1 Sintesis Material Fotokatalis TiO₂-Fe dengan Metode Sonikasi

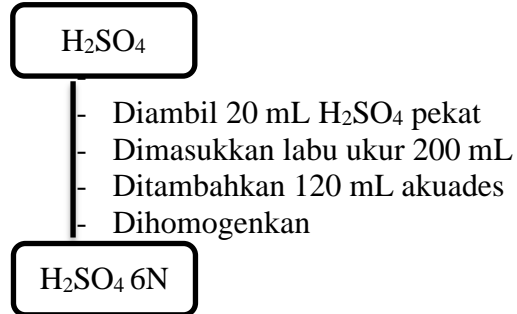
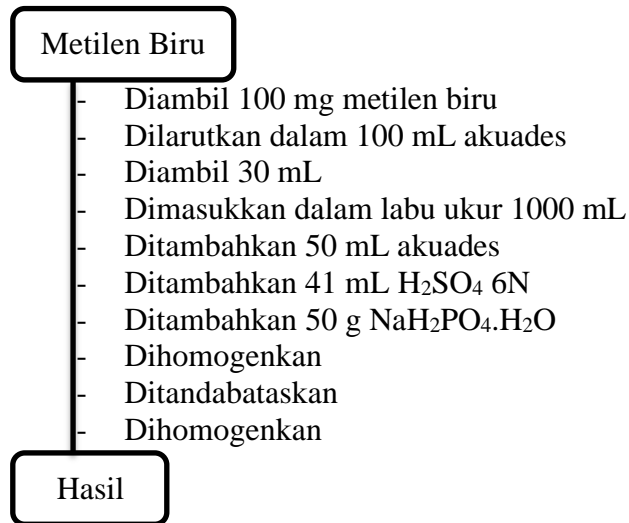
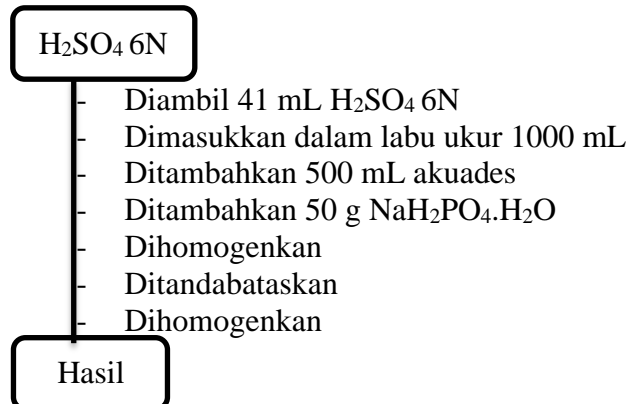


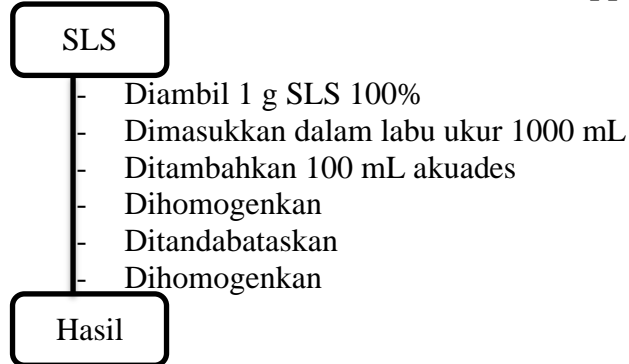
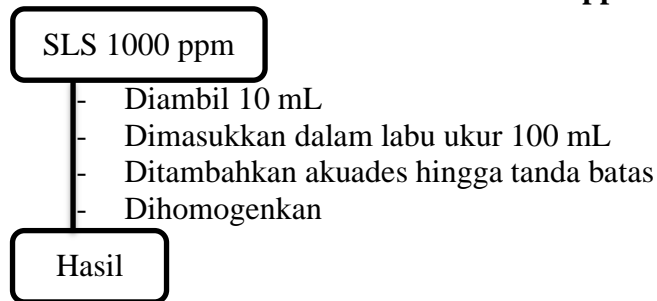
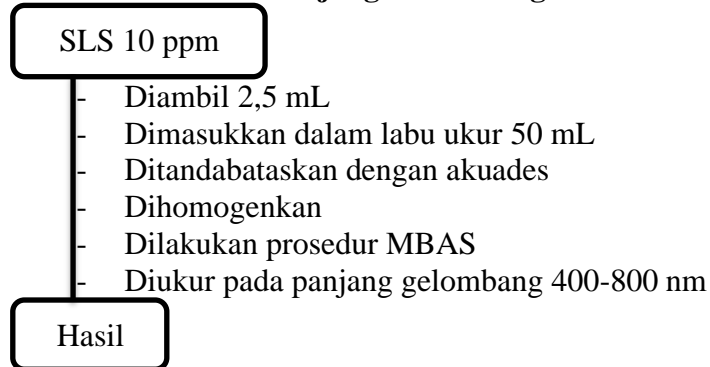
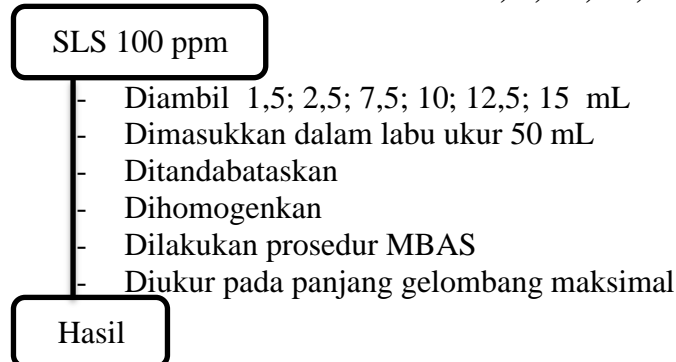
L.2.2 Karakterisasi Fotokatalis



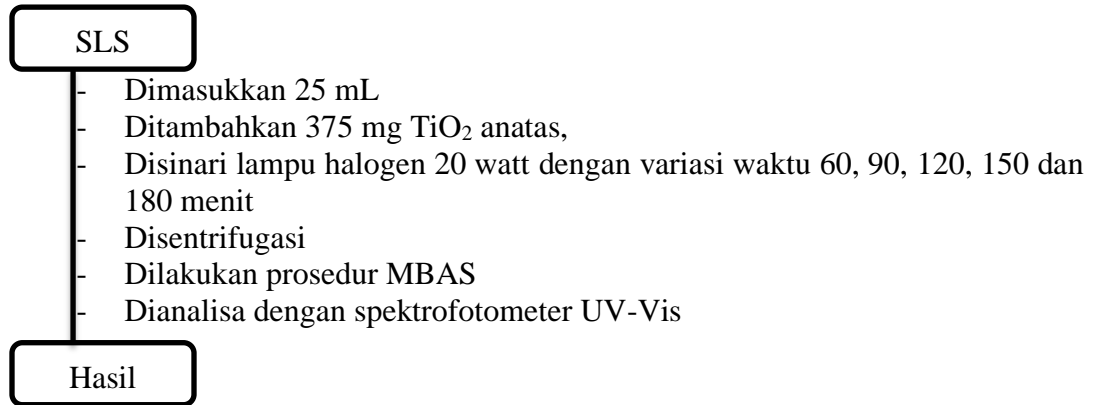
L.2.3 Prosedur MBAS



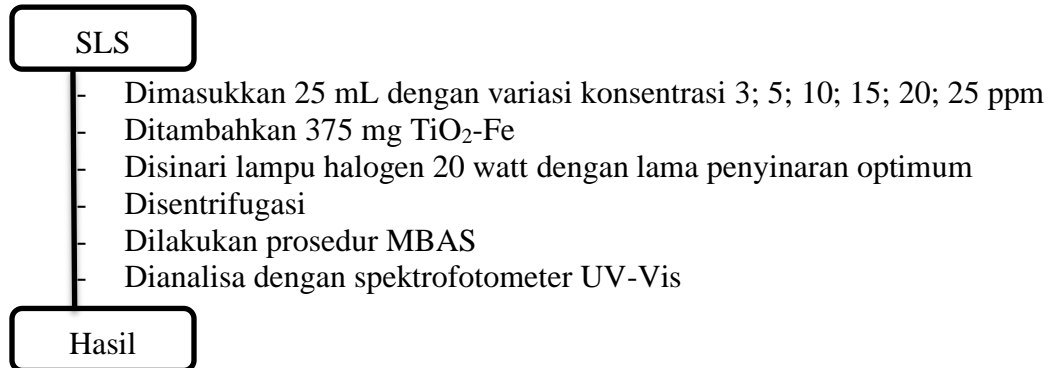
L.2.4 Pembuatan Larutan H₂SO₄ 6N**L.2.5 Pembuatan Larutan Metilen Biru****L.2.6 Pembuatan Larutan Pencuci**

L.2.7 Pembuatan Larutan Induk SLS 1000 ppm**L.2.8 Pembuatan Larutan Baku SLS 100 ppm****L.2.9 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum SLS****L.2.10 Pembuatan Larutan SLS 3; 5; 10; 15; 20; 25 ppm**

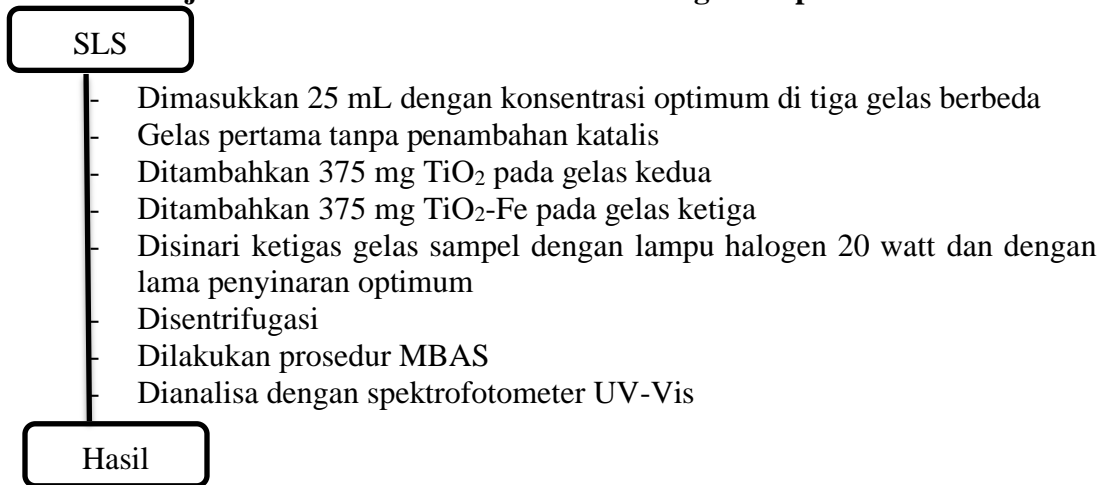
L.2.11 Uji Aktivitas Fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ terhadap Fotodegradasi *Sodium Lauryl sulfat* (SLS) dengan Variasi Lama Penyinaran



L.2.12 Uji Aktivitas Fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ terhadap Fotodegradasi *Sodium Lauryl Sulfate* (SLS) dengan Variasi Konsentrasi SLS



L.2.13 Uji Efektifitas Fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ dengan tanpa Katalis



Lampiran 3. Perhitungan

L.3.1 Massa Hasil Sintesis dan Material TiO₂-Fe pada Konsentrasi Besi (III) 1,2%

Diketahui :

Mr TiO₂ : 79,8788 g/mol

Ar Ti : 47,867 g/mol

Mr Fe(NO₃)₃.9H₂O : 403,999 g/mol

Ar Fe : 55,845 g/mol

Target Sintesis : 3 gram

$$\begin{aligned}
 \text{Massa TiO}_2 &= \frac{0,988 \times \text{Ar Ti}}{\text{MrTi}_{0,988}\text{Fe}_{0,012}\text{O}_2} \times \frac{\text{Mr TiO}_2}{\text{Ar Ti}} \times 3 \text{ g} \\
 &= \frac{0,988 \times 47,867}{(0,988 \times 47,867) + (0,012 \times 55,845) + (2 \times 16)} \times \frac{79,8788}{47,867} \times 3 \text{ g} \\
 &= \frac{47,2925}{79,90689} \times 1,6687 \times 3 \text{ g} \\
 &= 2.9611 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Fe(NO}_3)_3 &= \frac{0,012 \times \text{Ar Fe}}{\text{MrTi}_{0,988}\text{Fe}_{0,012}\text{O}_2} \times \frac{\text{Mr Fe(NO}_3)_3}{\text{Ar Fe}} \times 3 \text{ g} \\
 &= \frac{0,012 \times 55,845}{(0,988 \times 27,867) + (0,012 \times 55,845) + (2 \times 16)} \times \frac{403,999}{55,845} \times 3 \text{ g} \\
 &= \frac{0,6701}{47,2925} \times 7,2343 \times 3 \text{ g} \\
 &= 0,1819 \text{ g}
 \end{aligned}$$

L.3.2 Pembuatan H₂SO₄ 6N

H₂SO₄ : 96%

Berat Jenis : 1,84 g/mL

Berat Molekul : 98,08 g/mol

$$\text{Normalitas H}_2\text{SO}_4 = \frac{((10 \times 96\% \times 1,84)2)}{98,08} = 36 \text{ N}$$

H₂SO₄ 6N

Volume : 120 mL

N1 : 6 N

N2 : 1N

$$V1 \times N1 = V2 \times N2$$

$$V1 = \frac{V2 \times N2}{N1} = \frac{120 \times 6}{36} = 20 \text{ mL}$$

L.3.3 Pembuatan Larutan Baku SLS 100 ppm

M1 : 1000 ppm

M2 : 100 ppm

V2 : 100 mL

$$V1 = \frac{V2 \times M2}{M1} = \frac{100 \times 100}{1000} = 10 \text{ mL}$$

L.3.4 Pembuatan Larutan SLS 3; 5; 10; 15; 20; 25 ppm

3 ppm

M1 : 100 ppm

M2 : 3 ppm

V2 : 50 mL

$$V1 = \frac{V2 \times M2}{M1} = \frac{50 \times 3}{100} = 1,5 \text{ mL}$$

5 ppm

M1 : 100 ppm

M2 : 5 ppm

V2 : 50 mL

$$V1 = \frac{V2 \times M2}{M1} = \frac{50 \times 5}{100} = 2,5 \text{ mL}$$

10 ppm

M1 : 100 ppm

M2 : 10 ppm

V2 : 50 mL

$$V1 = \frac{V2 \times M2}{M1} = \frac{50 \times 10}{100} = 5 \text{ mL}$$

15 ppm

M1 : 100 ppm

M2 : 15 ppm

V2 : 50 mL

$$V1 = \frac{V2 \times M2}{M1} = \frac{50 \times 15}{100} = 7,5 \text{ mL}$$

20 ppm

M1 : 100 ppm

M2 : 20 ppm

V2 : 50 mL

$$V1 = \frac{V2 \times M2}{M1} = \frac{50 \times 20}{100} = 10 \text{ mL}$$

25 ppm

M1 : 100 ppm

M2 : 25 ppm

V2 : 50 mL

$$V1 = \frac{V2 \times M2}{M1} = \frac{50 \times 25}{100} = 12,5 \text{ mL}$$

30 ppm

M1 : 100 ppm

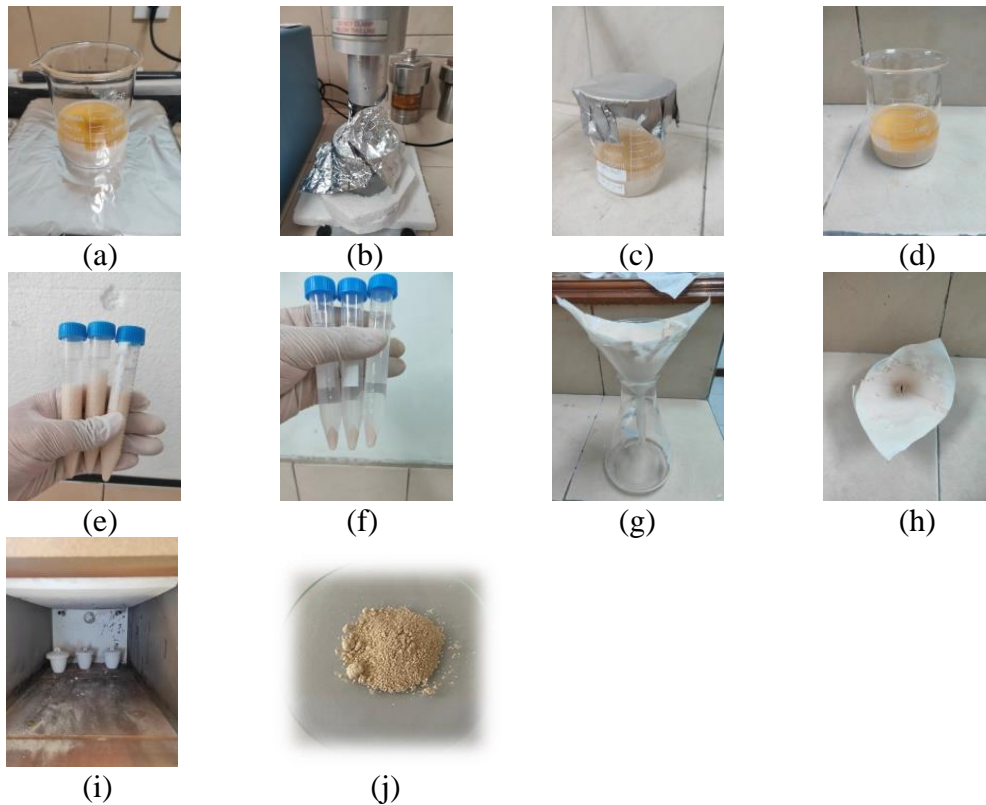
M2 : 30 ppm

V2 : 50 mL

$$V1 = \frac{V2 \times M2}{M1} = \frac{50 \times 30}{100} = 15 \text{ mL}$$

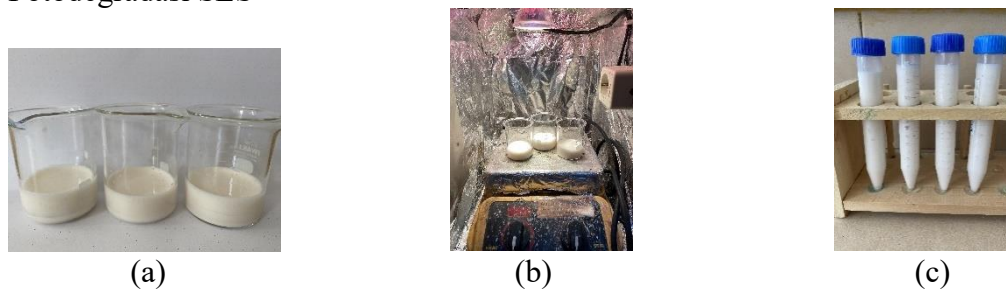
Lampiran 4. Dokumentasi Proses Sintesis dan Uji Efektivitas Material

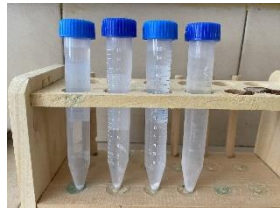
- Sintesis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$



Gambar L.4.1 Proses sintesis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ (a) stirer TiO_2 , larutan $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, isopropanol, dan NaOH 10 M, (b) proses sonikasi, (c) sebelum pendiaman, (d) setelah pendiaman, (e) sebelum sentrifugasi, (f) setelah sentrifugasi, (g) proses pencucian dengan aquades dan etanol, (h) setelah pengeringan dalam oven, (i) proses kalsinasi, (j) hasil padatan setelah kalsinasi dan penggerusan.

- Fotodegradasi SLS

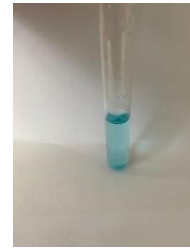




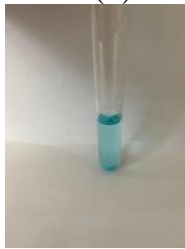
(d)



(e)



(f)



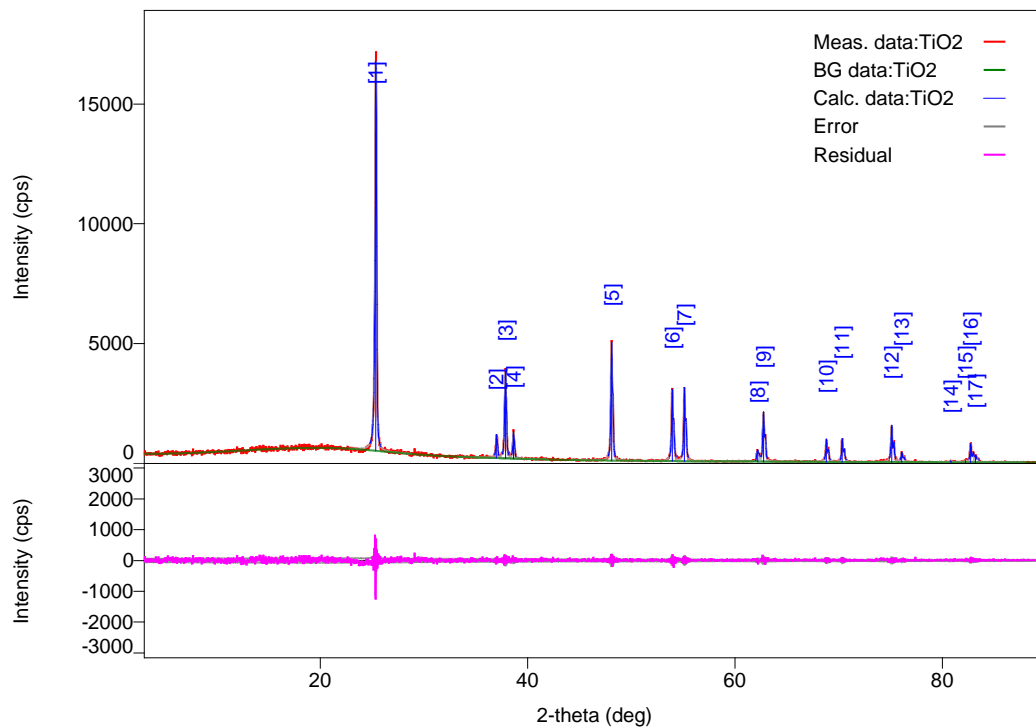
(g)



(h)

Gambar L.4.2 Fotodegradasi: (a) Larutan SLS + $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ sebelum fotodegradasi, (b) proses fotodegradasi, (c) setelah fotodegradasi & sebelum sentrifugasi, (d) setelah sentrifugasi, (e) pengompleksan SLS dengan methylen biru, (f) hasil fotodegradasi variasi lama waktu, (g) hasil fotodegradasi variasi konsentrasi, (h) penentuan kurva standar.

Lampiran 5. Hasil Karakterisasi Menggunakan XRD
L.5.1 TiO₂ Anatas SA

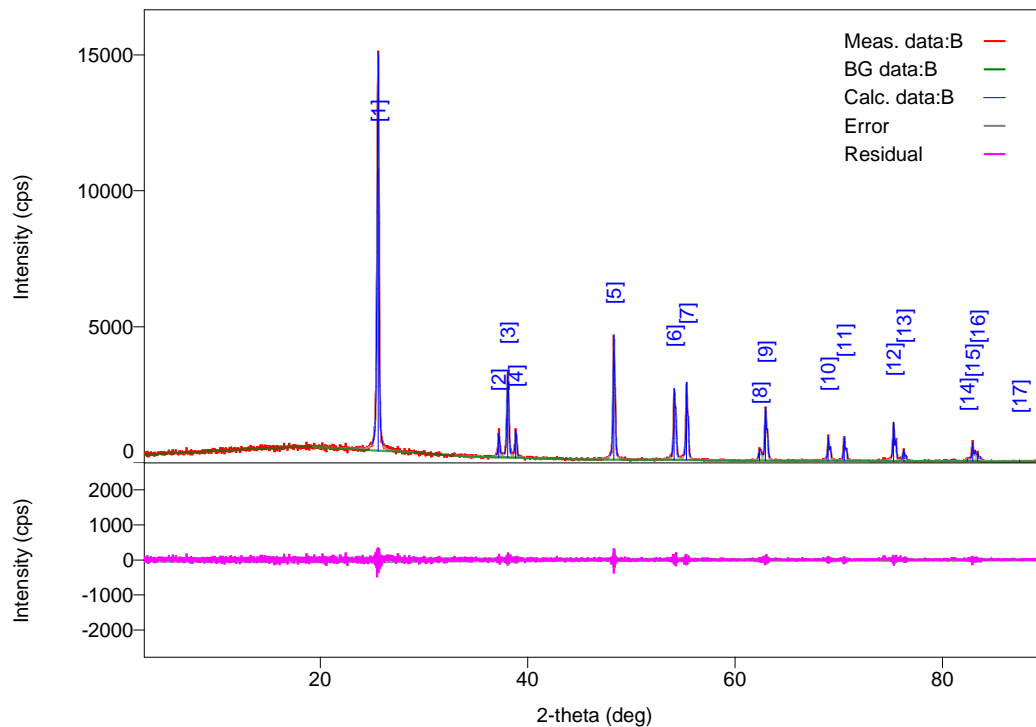


Gambar L.5.1 Difraktogram TiO₂ anatas SA

Tabel L.5.1 Data XRD TiO₂ anatas

No.	2-theta (deg)	d(ang.)	Height (cps)	FWHM (deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	25.573(3)	3.5124(3)	13328(333)	0.194(4)	2554(27)	0.192(7)	0.73(7)
2	36.980(4)	2.4289(2)	845(84)	0.115(10)	142(6)	0.17(2)	0.6(2)
3	37.856(6)	2.3747(4)	2897(155)	0.143(7)	588(10)	0.203(14)	1.9(4)
4	38.616(5)	2.3297(3)	975(90)	0.109(8)	168(6)	0.17(2)	0.67(9)
5	48.091(4)	1.89046(15)	4452(193)	0.130(4)	837(11)	0.188(10)	1.6(2)
6	53.935(6)	1.69861(17)	2717(150)	0.136(6)	562(9)	0.207(15)	1.2(3)
7	55.114(5)	1.66505(14)	2845(154)	0.129(5)	553(8)	0.194(13)	1.2(2)
8	62.165(7)	1.49204(15)	447(61)	0.159(17)	97(6)	0.22(4)	1.4(4)
9	62.742(6)	1.47969(12)	1941(127)	0.142(5)	391(7)	0.202(17)	1.4(3)
10	68.799(10)	1.36345(17)	898(87)	0.138(11)	194(5)	0.22(3)	0.9(3)
11	70.332(9)	1.33744(15)	947(89)	0.140(8)	196(5)	0.21(2)	1.1(3)
12	75.106(7)	1.26383(11)	1464(110)	0.135(11)	313(8)	0.21(2)	1.8(5)
13	76.062(5)	1.25030(7)	385(57)	0.153(17)	88(4)	0.23(4)	0.7(4)
14	80.801(15)	1.18849(18)	74(25)	0.13(4)	15(3)	0.20(10)	0.6(7)
15	82.22(2)	1.1715(3)	80(26)	0.22(5)	23(4)	0.29(14)	1.0(3)
16	82.712(9)	1.16581(10)	748(79)	0.158(8)	153(6)	0.20(3)	1.0(3)
17	83.188(11)	1.16035(12)	294(49)	0.183(16)	70(5)	0.24(6)	1.0(3)

L.5.2 TiO₂-Fe Sintesis Sonikasi



Gambar L.5.2 Difraktogram TiO₂-Fe sonikasi

Tabel L.5.2 Data XRD TiO₂-Fe Sonikasi

No.	2-theta (deg)	d(ang.)	Height (cps)	FWHM (deg)	Int. I (cps deg)	Int. W (deg)	Asym. factor
1	25.337(4)	3.4804(5)	10330(293)	0.119(3)	2615(18)	0.253(9)	1.87(17)
2	37.209(11)	2.4144(7)	713(77)	0.142(15)	146(5)	0.20(3)	1.5(6)
3	38.064(8)	2.3622(5)	2440(143)	0.175(6)	556(8)	0.228(17)	1.4(2)
4	38.814(4)	2.3182(2)	851(84)	0.137(10)	168(6)	0.20(3)	0.51(15)
5	48.298(4)	1.88284(15)	3979(182)	0.150(5)	826(9)	0.208(12)	1.45(17)
6	54.114(5)	1.69342(15)	2416(142)	0.156(7)	537(9)	0.222(17)	0.51(9)
7	55.315(4)	1.65946(12)	2624(148)	0.145(5)	525(7)	0.200(14)	1.15(15)
8	62.354(9)	1.4880(2)	361(55)	0.21(2)	104(6)	0.29(6)	0.98(15)
9	62.926(5)	1.47581(11)	1850(124)	0.156(6)	405(8)	0.219(19)	0.98(15)
10	68.968(9)	1.36052(16)	839(84)	0.140(12)	184(5)	0.22(3)	0.6(2)
11	70.526(8)	1.33424(14)	826(83)	0.165(8)	178(5)	0.22(3)	1.2(3)
12	75.274(9)	1.26142(12)	1363(107)	0.155(8)	312(7)	0.23(2)	1.1(3)
13	76.264(15)	1.2475(2)	394(57)	0.152(14)	78(5)	0.20(4)	2.1(11)
14	82.372(19)	1.1698(2)	97(28)	0.19(4)	26(4)	0.27(12)	1.7(5)
15	82.901(10)	1.16363(12)	622(72)	0.163(11)	141(6)	0.23(4)	1.7(5)
16	83.375(13)	1.15823(15)	268(47)	0.19(2)	71(6)	0.26(7)	1.7(5)
17	87.417(17)	1.11477(17)	33(16)	0.09(8)	4.3(19)	0.13(12)	5(17)
18	88.94(8)	1.0996(8)	10(9)	0.3(2)	3.3(18)	0.3(5)	5(10)

L.5.3 Perhitungan Ukuran Kristal Sampel Fotokatalis

Persamaan Debye-Scherrer:

$$D = \frac{k \lambda}{\beta \cos \theta}$$

Di mana:

D = ukuran partikel (nm)

k = konstanta (0,9)

β = Integrasi luas puncak reflektansi (FWHM, rad)

λ = Panjang gelombang radiasi (nm)

θ = Sudut difraksi dengan intensitas tertinggi

- TiO₂ anatas

Diketahui :

$$\lambda (K\alpha) = 1,54060 \text{ \AA}$$

$$2 \theta = 25,573 \rightarrow \theta = \frac{25,573}{2} = 12,7865 \rightarrow \cos \theta = 0,975201$$

$$\beta (\text{FWHM}) = 0,194^\circ \rightarrow \frac{0,194}{180} \times 3,14 = 0,003384$$

Ditanya : D?

$$D = \frac{k \lambda}{\beta \cos \theta} = \frac{0,9 \times 1,54060}{0,00338 \times 0,97520} = 421,440 \text{ \AA} = 42,14 \text{ nm}$$

- TiO₂-Fe

Diketahui:

$$\lambda (K\alpha) = 1,54060 \text{ \AA}$$

$$2 \theta = 25,337 \rightarrow \theta = \frac{25,337}{2} = 12,6685 \rightarrow \cos \theta = 0,975655$$

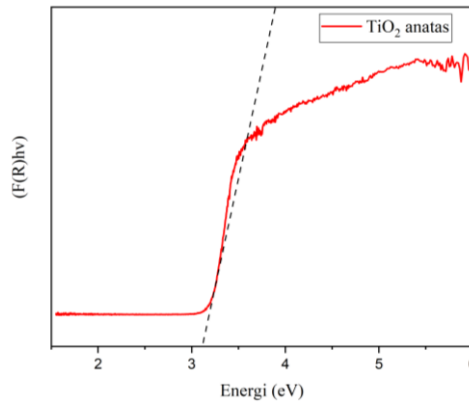
$$\beta (\text{FWHM}) = 0,119^\circ \rightarrow \frac{0,119}{180} \times 3,14 = 0,002075$$

Ditanya : D?

$$D = \frac{k \lambda}{\beta \cos \theta} = \frac{0,9 \times 1,54060}{0,00207 \times 0,97565} = 686,575 \text{ \AA} = 68,65 \text{ nm}$$

L.6 Hasil Karakterisasi UV-Vis/DRS

- TiO₂ anatas



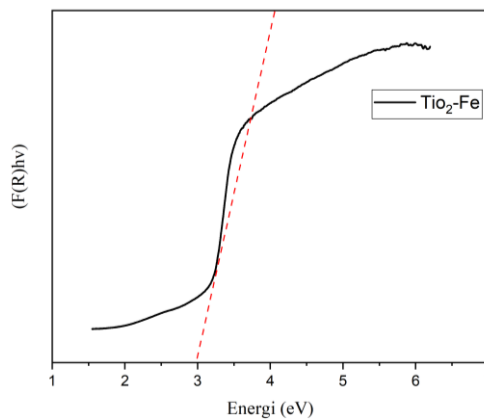
$$E_g = 3,20 \text{ eV}$$

$$h = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}}{1,602 \times 10^{-19} \text{ J.s}} \times 1 \text{ eV} = 4,13608 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$$

Nilai band gap pada saat $y = 0$

$$\lambda = \frac{h \times c}{c} = \frac{(4,13608 \times 10^{-15}) \text{ eV.s} \times (3 \times 10^{17}) \text{ nm/s}}{3,20} = 387,75 \text{ nm}$$

- TiO₂-Fe



$$E_g = 3,00 \text{ eV}$$

$$h = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}}{1,602 \times 10^{-19} \text{ J.s}} \times 1 \text{ eV} = 4,13608 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$$

Nilai band gap pada saat $y = 0$

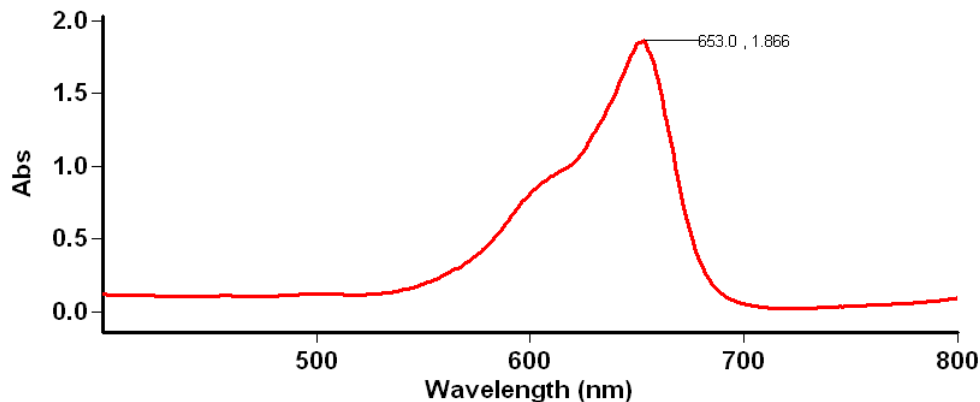
$$\lambda = \frac{h \times c}{c} = \frac{(4,13608 \times 10^{-15}) \text{ eV.s} \times (3 \times 10^{17}) \text{ nm/s}}{3,00} = 413 \text{ nm}$$

L.7 Uji Aktivitas Fotodegradasi *Sodium Lauryl Sulfat*

a. Panjang Gelombang Maksimum

Lamdha Maks SLS

Tanggal Analisa : 27 Maret 2023



Scan Analysis Report

Report Time : Mon 27 Mar 10:45:51 AM 2023

Method:

Batch: D:\Mahasiswa On Going\Baiq Raskada\Lamdha Maks SLS (27-03-2023).DSW

Software version: 3.00 (339)

Operator: Rika

Sample Name: SLS 25 ppm

Collection Time 3/27/2023 10:46:10 AM

Peak Table

Peak Style

Peaks

Peak Threshold

0.0100

Range

800.1nm to 400.0nm

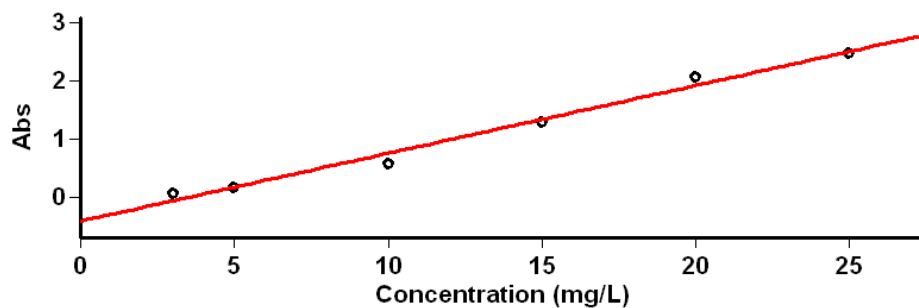
Wavelength (nm) Abs

653.0	1.866
-------	-------

b. Penentuan Kurva Standar SLS

Kurva Standar SLS

Tanggal Analisa : 11 April 2023



Concentration Analysis Report

Report time 4/11/2023 2:03:48 PM
 Method
 Batch name D:\Mahasiswa On Going\Baiq Raskada\Kurva Standar
 SLS 3 (11-04-2023).BCN
 Application Concentration 3.00(339)
 Operator Rika

Instrument Settings

Instrument Cary 50
 Instrument version no. 3.00
 Wavelength (nm) 653.0
 Ordinate Mode Abs
 Ave Time (sec) 0.1000
 Replicates 3
 Standard/Sample averaging OFF
 Weight and volume corrections OFF
 Fit type Linear
 Min R² 0.95000
 Concentration units mg/L

Zero Report

Read	Abs	nm
Zero	(0.6993)	653.0

Calibration
 Collection time 4/11/2023 2:04:07 PM

Standard	Concentration mg/L	F	Mean	SD	%RSD	Readings
Std 1	3.0	0.0718	0.0006	0.90	0.0711	0.0720
						0.0723
Std 2	5.0	0.1981	0.0016	0.93	0.1668	0.1644
						0.1673
Std 3	10.0	0.5818	0.0028	0.48	0.5815	0.5848
						0.5792
Std 4	15.0	1.2954	0.0053	0.41	1.2981	1.2893
						1.2988
Std 5	20.0	2.0073	0.0634	3.06	2.1463	2.0318
						2.0419
Std 6	25.0	2.4774	0.1467	5.92	2.4569	2.3421
						2.6333

Calibration eqn Abs = 0.11633*Conc -0.40125
 Correlation Coefficient 0.98859
 Calibration time 4/11/2023 2:05:33 PM

Results Flags Legend: U = Uncalibrated O = Overrange
 N = Not used in calibration R = Repeat reading

L.8 Perhitungan Uji Aktivitas SLS

$$\% \text{ degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

Keterangan:

C_0 = konsentrasi awal sebelum didegradasi (ppm)

C_t = konsentrasi akhir sesudah didegradasi (ppm)

- **Perhitungan Uji Aktivitas Variasi Waktu Lama Penyinaran**

- 60 Menit

Diketahui:

$$y = 0,1144x - 0,3817$$

$$A_0 = 2,4322$$

$$A_t = 1,9093$$

Ditanya: %Degradasi = ?

Jawab:

$$\begin{aligned} C_0 \rightarrow y &= 0,1144x - 0,3817 \\ 2,4322 &= 0,1144x - 0,3817 \\ 2,4322 + 0,3817 &= 0,1144x \\ 2,8139 &= 0,1144x \\ 24,5871 &= x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_t \rightarrow y &= 0,1144x - 0,3817 \\ 1,9181 &= 0,1144x - 0,3817 \\ 1,9181 + 0,3817 &= 0,1144x \\ 2,2911 &= 0,1144x \\ 20,0271 &= x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{24,5971 - 20,0271}{24,5971} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\% \text{Degradasi} = 18,58\%$$

- 90 Menit

Diketahui:

$$y = 0,1144x - 0,3817$$

$$A_0 = 2,3779$$

$$A_t = 1,5640$$

Ditanya: %Degradasi = ?

Jawab:

$$\begin{aligned} C_0 \rightarrow y &= 0,1144x - 0,3817 \\ 2,3779 &= 0,1144x - 0,3817 \\ 2,3779 + 0,3817 &= 0,1144x \\ 2,7596 &= 0,1144x \\ 24,1223 &= x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_t \rightarrow y &= 0,1144x - 0,3817 \\ 1,5649 &= 0,1144x - 0,3817 \end{aligned}$$

$$1,5640 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$1,9764 = 0,1144x$$

$$17,2762 = x$$

$$\begin{aligned} \% \text{Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{24,1223 - 17,2762}{24,1223} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\% \text{Degradasi} = 28,38\%$$

- 120 Menit

Diketahui:

$$y = 0,1144x - 0,3817$$

$$A_0 = 2,4067$$

$$A_t = 1,1856$$

Ditanya: %Degradasi = ?

Jawab:

$$C_0 \rightarrow y = 0,1144x - 0,3817$$

$$2,4067 = 0,1144x - 0,3817$$

$$2,4067 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$2,7884 = 0,1144x$$

$$24,3741 = x$$

$$C_t \rightarrow y = 0,1144x - 0,3817$$

$$1,5672 = 0,1144x - 0,3817$$

$$1,5672 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$1,9489 = 0,1144x$$

$$13,6743 = x$$

$$\begin{aligned} \% \text{Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{24,3741 - 13,6743}{24,3741} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\% \text{Degradasi} = 56,18\%$$

- 150 Menit

Diketahui:

$$y = 0,1144x - 0,3817$$

$$A_0 = 2,3567$$

$$A_t = 0,2846$$

Ditanya: %Degradasi = ?

Jawab:

$$C_0 \rightarrow y = 0,1144x - 0,3817$$

$$2,3567 = 0,1144x - 0,3817$$

$$2,3567 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$2,7384 = 0,1144x$$

$$23,9371 = x$$

$$C_t \rightarrow y = 0,1144x - 0,3817$$

$$0,3991 = 0,1144x - 0,3817$$

$$0,3991 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$\begin{aligned} 0,7808 &= 0,1144x \\ 6,8254 &= x \\ \% \text{Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{23,9371 - 6,8254}{23,9371} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\% \text{Degradasi} = 71,48\%$$

- 180 Menit

Diketahui:

$$y = 0,1144x - 0,3817$$

$$A_0 = 2,3684$$

$$A_t = 0,5326$$

Ditanya: %Degradasi = ?

Jawab:

$$\begin{aligned} C_0 \rightarrow y &= 0,1144x - 0,3817 \\ 2,3684 &= 0,1144x - 0,3817 \\ 2,3684 + 0,3817 &= 0,1144x \\ 2,3684 &= 0,1144x \\ 24,0393 &= x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_t \rightarrow y &= 0,1144x - 0,3817 \\ 0,5326 &= 0,1144x - 0,3817 \\ 0,5326 + 0,3817 &= 0,1144x \\ 0,9195 &= 0,1144x \\ 8,0375 &= x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{24,0393 - 8,0375}{24,0393} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\% \text{Degradasi} = 66,56\%$$

Waktu (Menit)	A ₀	C ₀ (ppm)	A _t	C _t (ppm)	Abs rata-rata akhir (A _t)	%Degradasi
60 Menit	2,4322	24,5971	1,9181 1,9097 1,9003	20,0268	1,9093	18,58%
90 Menit	2,3779	24,1223	1,5640 1,6111 1,6091	17,2762	1,5947	28,38%
120 Menit	2,4067	24,3741	1,1231 1,2126 1,2211	13,6743	1,1856	56,18%
150 Menit	2,3566	23,9371	0,3998 0,3987 0,3989	6,8254	0,3991	71,48%
180 Menit	2,3684	24,0393	0,5326 0,5346 0,5463	8,0375	0,5378	66,56%

- **Perhitungan Uji Aktivitas Variasi Waktu Konsentrasi SLS**

- 5 ppm

Diketahui:

$$y = 0,1144x - 0,3817$$

$$A_0 = 2,3302$$

$$A_t = 0,1353$$

Ditanya: %Degradasi = ?

Jawab:

$$C_0 \rightarrow y = 0,1144x - 0,3817$$

$$2,3302 = 0,1144x - 0,3817$$

$$2,3302 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$2,7119 = 0,1144x$$

$$23,7054 = x$$

$$C_t \rightarrow y = 0,1144x - 0,3817$$

$$0,1353 = 0,1144x - 0,3817$$

$$0,1353 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$0,5170 = 0,1144x$$

$$4,5139 = x$$

$$\begin{aligned} \% \text{Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{23,7054 - 4,5139}{23,7054} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\% \text{Degradasi} = 80,81\%$$

- 10 ppm

Diketahui:

$$y = 0,1144x - 0,3817$$

$$A_0 = 2,4369$$

$$A_t = 0,0458$$

Ditanya: %Degradasi = ?

Jawab:

$$C_0 \rightarrow y = 0,1144x - 0,3817$$

$$2,4369 = 0,1144x - 0,3817$$

$$2,4369 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$2,8186 = 0,1144x$$

$$24,6381 = x$$

$$C_t \rightarrow y = 0,1144x - 0,3817$$

$$0,0458 = 0,1144x - 0,3817$$

$$0,0458 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$0,4275 = 0,1144x$$

$$3,4694 = x$$

$$\begin{aligned} \% \text{Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{24,6381 - 3,4694}{24,6381} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\% \text{Degradasi} = 85,91\%$$

- 15 ppm

Diketahui:

$$y = 0,1144x - 0,3817$$

$$A_0 = 2,4111$$

$$A_t = 0,2318$$

Ditanya: %Degradasi = ?

Jawab:

$$C_0 \rightarrow y = 0,1144x - 0,3817$$

$$2,4111 = 0,1144x - 0,3817$$

$$2,4111 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$2,7928 = 0,1144x$$

$$24,4126 = x$$

$$C_t \rightarrow y = 0,1144x - 0,3817$$

$$0,2318 = 0,1144x - 0,3817$$

$$0,2318 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$0,6135 = 0,1144x$$

$$5,3627 = x$$

$$\begin{aligned} \% \text{Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{24,4126 - 5,3627}{24,4126} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\% \text{Degradasi} = 78,03\%$$

- 20 ppm

Diketahui:

$$y = 0,1144x - 0,3817$$

$$A_0 = 2,3459$$

$$A_t = 0,2846$$

Ditanya: %Degradasi = ?

Jawab:

$$C_0 \rightarrow y = 0,1144x - 0,3817$$

$$2,3459 = 0,1144x - 0,3817$$

$$2,3459 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$2,7276 = 0,1144x$$

$$23,8426 = x$$

$$C_t \rightarrow y = 0,1144x - 0,3817$$

$$0,2846 = 0,1144x - 0,3817$$

$$0,2846 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$0,6663 = 0,1144x$$

$$5,8284 = x$$

$$\begin{aligned} \% \text{Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{23,8426 - 5,8284}{23,8426} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\% \text{Degradasi} = 75,56\%$$

- 25 ppm

Diketahui:

$$y = 0,1144x - 0,3817$$

$$A_0 = 2,3111$$

$$A_t = 0,3722$$

Ditanya: %Degradasi = ?

Jawab:

$$C_0 \rightarrow y = 0,1144x - 0,3817$$

$$2,3111 = 0,1144x - 0,3817$$

$$2,3111 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$2,6928 = 0,1144x$$

$$23,5384 = x$$

$$C_t \rightarrow y = 0,1144x - 0,3817$$

$$0,3722 = 0,1144x - 0,3817$$

$$0,3722 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$0,7539 = 0,1144x$$

$$6,5903 = x$$

$$\begin{aligned} \% \text{Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{23,5384 - 6,5903}{23,5384} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\% \text{Degradasi} = 72,01\%$$

Konsentrasi (ppm)	A ₀	C ₀ (ppm)	A _t	C _t (ppm)	Abs rata-rata akhir (A _t)	%Degradasi
5 ppm	2,3302	23,7054	0,1352 0,1325 0,1378	4,5139	0,1353	80,81%
10 ppm	2,4369	24,6381	0,0162 0,0152 0,0144	3,4694	0,0458	85,91%
15 ppm	2,4111	24,4126	0,2365 0,2335 0,2256	5,3627	0,2318	78,03%
20 ppm	2,3456	23,8426	0,2883 0,2861 0,2796	5,8248	0,2846	75,56%
25 ppm	2,3112	23,5384	0,3665 0,3845 0,3657	6,5903	0,3817	72,01%

- **Perhitungan Uji Efektivitas Fotodegradasi**

- Tanpa katalis

Diketahui:

$$y = 0,1144x - 0,3817$$

$$A_0 = 2,4245$$

$$A_t = 1,5789$$

Ditanya: %Degradasi = ?

Jawab:

$$C_0 \rightarrow y = 0,1144x - 0,3817$$

$$2,4245 = 0,1144x - 0,3817$$

$$2,4245 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$2,8062 = 0,1144x$$

$$24,5297 = x$$

$$C_t \rightarrow y = 0,1144x - 0,3817$$

$$1,8861 = 0,1144x - 0,3817$$

$$1,8861 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$2,2678 = 0,1144x$$

$$19,8234 = x$$

$$\begin{aligned} \% \text{Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{23,5297 - 19,8234}{24,5297} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\% \text{Degradasi} = 19,18\%$$

- TiO₂

Diketahui:

$$y = 0,1144x - 0,3817$$

$$A_0 = 2,4136$$

$$A_t = 1,1367$$

Ditanya: %Degradasi = ?

Jawab:

$$C_0 \rightarrow y = 0,1144x - 0,3817$$

$$2,4136 = 0,1144x - 0,3817$$

$$2,4136 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$2,7953 = 0,1144x$$

$$24,4344 = x$$

$$C_t \rightarrow y = 0,1144x - 0,3817$$

$$1,1367 = 0,1144x - 0,3817$$

$$1,1367 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$1,5184 = 0,1144x$$

$$13,2733 = x$$

$$\begin{aligned} \% \text{Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{24,4344 - 13,2733}{24,4344} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\% \text{Degradasi} = 45,68\%$$

- TiO₂-Fe

Diketahui:

$$y = 0,1144x - 0,3817$$

$$A_0 = 2,4233$$

$$A_t = 0,0022$$

Ditanya: %Degradasi = ?

Jawab:

$$C_0 \rightarrow y = 0,1144x - 0,3817$$

$$2,4233 = 0,1144x - 0,3817$$

$$2,4233 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$2,8050 = 0,1144x$$

$$24,5192 = x$$

$$C_t \rightarrow y = 0,1144x - 0,3817$$

$$0,0022 = 0,1144x - 0,3817$$

$$0,0022 + 0,3817 = 0,1144x$$

$$0,3839 = 0,1144x$$

$$3,3563 = x$$

$$\begin{aligned} \% \text{Degradasi} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{24,5192 - 3,3563}{24,5192} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\% \text{Degradasi} = 86,31\%$$

Efektivitas	A ₀	C ₀ (ppm)	A _t	C _t (ppm)	Abs rata-rata akhir (A _t)	%Degradasi
Tanpa Katalis	2,4245	24,5297	1,8856 1,8746 1,8978	19,8234	1,5789	19%
TiO ₂	2,4136	24,4344	1,1423 1,1322 1,1358	13,2733	1,1367	45%
TiO ₂ -Fe	2,4233	24,5192	0,0012 0,0032 0,0024	3,3563	0,0022	86,31%