

**PENGARUH KOMPOSISI DOPAN DAN MASSA FOTOKATALIS
TERHADAP AKTIVITAS DEGRADASI NATRIUM LAURIL SULFAT
(NaLS) MENGGUNAKAN FOTOKATALIS TiO₂-Fe**

SKRIPSI

**Oleh :
HINDUN NUSANTARI
NIM. 19630041**



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

**PENGARUH KOMPOSISI DOPAN DAN MASSA FOTOKATALIS
TERHADAP AKTIVITAS DEGRADASI NATRIUM LAURIL SULFAT
(NaLS) MENGGUNAKAN FOTOKATALIS TiO₂-Fe**

SKRIPSI

**Oleh :
HINDUN NUSANTARI
NIM. 19630041**

**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**

**PENGARUH KOMPOSISI DOPAN DAN MASSA FOTOKATALIS
TERHADAP AKTIVITAS DEGRADASI NATRIUM LAURIL SULFAT
(NaLS) MENGGUNAKAN FOTOKATALIS TiO_2 -Fe**

SKRIPSI

Oleh :
HINDUN NUSANTARI
NIM. 19630041

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal : 24 November 2023

Pembimbing I



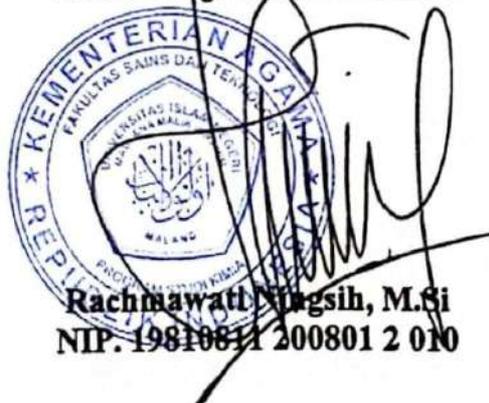
Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc
NIP. 19900906 202321 2 033

Pembimbing II



Susi Nurul Khalifah, M.Si
NIP. 19851020 201903 2 012

Mengetahui,
Ketua Program Studi Kimia



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

**PENGARUH KOMPOSISI DOPAN DAN MASSA FOTOKATALIS
TERHADAP AKTIVITAS DEGRADASI NATRIUM LAURIL SULFAT
(NaLS) MENGGUNAKAN FOTOKATALIS TiO₂-Fe**

SKRIPSI

**Oleh:
HINDUN NUSANTARI
NIM. 19630041**

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 24 November 2023**

**Penguji Utama : Himmatul Barroroh, M.Si
NIP. 19750730 200312 2 001**


(.....)

**Ketua Penguji : Rif'atul Mahmudah, M.Si
NIP. 19830125 202321 2 020**


(.....)

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


(.....)

**Anggota Penguji : Susi Nurul Khalifah, M.Si
NIP. 19851020 201903 2 012**


(.....)

**Mengetahui,
Ketua Program Studi Kimia**


**Rachmawati Ningsih, M.Si
NIP. 19840811 200801 2 010**

PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Hindun Nusantari
NIM : 19630041
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : “Pengaruh Komposisi Dopan dan Massa Fotokatalis terhadap Aktivitas Degradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS) Menggunakan Fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ ”

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, November 2023
Yang membuat pernyataan,



Hindun Nusantari
NIM. 19630041

MOTTO

"Apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirmu, dan apa yang ditakdirkan untukmu tidak akan pernah melewatkanmu."

(Ummar bin Khattab)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbil'alamin, segala puji bagi Allah Swt. atas segala limpahan rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah skripsi ini dengan sebaik mungkin. Dengan ini penulis persembahkan karya tulis ini untuk kedua orang tua tercinta, Bapak Kusdi dan Ibu Lilis Supriyanti. Terima kasih untuk do'a yang senantiasa dipanjatkan demi keselamatan diri dan kelancaran urusan penulis. Semangat dan nasehat yang tak pernah henti disuarakan untuk membuat penulis selalu yakin, percaya diri, dan berusaha yang terbaik dalam segala urusan. Terima kasih atas kasih sayang dan keringat yang selalu dicurahkan, semoga Allah memberikan keberkahan di dalamnya. Teruntuk adik-adik penulis, Yuli Setya Handayani dan Ervan Bagus Setyawan serta seluruh keluarga besar, terima kasih atas do'a dan dukungannya.

Terima kasih kepada Ibu Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc selaku pembimbing utama dan Ibu Susi Nurul Khalifah, M.Si selaku pembimbing agama yang senantiasa sabar dalam meluangkan waktunya untuk membimbing penulis, baik dalam penyusunan karya tulis maupun dalam membentuk pribadi yang lebih baik. Terima kasih kepada Ibu Himmatul Barroroh, M.Si dan Ibu Rif'atul Mahmudah, M.Si selaku penguji yang telah memberikan saran selama penyusunan naskah skripsi. Terima kasih kepada seluruh Dosen, laboran dan staf Program Studi Kimia yang telah mendukung keberhasilan penelitian ini. Tak lupa, untuk sahabat dan teman-teman terima kasih untuk doa, nasehat, semangat, canda tawa dan kebersamaan serta kenangan indah yang terus dirajut selama masa perkuliahan. Semoga hubungan persahabatan dan tali silaturahmi kita terus terhubung tidak terbatas jarak dan waktu.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamin, puji syukur kepada Allah Swt., yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul **“Pengaruh Komposisi Dopan dan Massa Fotokatalis terhadap Aktivitas Degradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS) Menggunakan Fotokatalis TiO₂-Fe”**. Selawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad saw. yang telah membawa petunjuk bagi seluruh umat manusia yaitu cahaya iman dan Islam. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya bantuan dari pihak-pihak yang terkait. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. M. Zainuddin, MA, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Ibu Prof. Dr. Sri Harini, M.Si, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si, selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ibu Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, masukan, dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
5. Ibu Susi Nurul Khalifah, M.Si, selaku dosen pembimbing agama yang telah memberikan pengarahan, bimbingan, dan saran dalam penyusunan skripsi.

6. Ibu Himmatul Barroroh, M.Si selaku penguji utama dan Ibu Rif'atul Mahmudah, M.Si selaku ketua penguji dalam sidang skripsi yang selalu memberikan saran terhadap isi naskah skripsi, sehingga penyusunan naskah skripsi dapat terselesaikan dengan baik.
7. Bapak A. Ghanaim Fasya, M.Si selaku Dosen Wali yang telah memberikan nasehat dan motivasi untuk kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
8. Semua pihak yang memberikan informasi, bantuan, dan nasihat kepada penulis.

Semoga semua pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan naskah skripsi ini di ridhoi oleh Allah Swt. dan dicatat sebagai amal *sholeh*. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, segala kritik dan saran akan penulis terima dengan lapang hati dan mohon maaf kepada semua pihak apabila terdapat kesalahan selama penyusunan. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan dapat menjadi informasi yang berguna dalam ilmu pengetahuan, *Amin ya Rabbal Alamin*.

Malang, 13 September 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN.....	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR PERSAMAAN.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
ملخص البحث	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan.....	6
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Manfaat.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Natrium Lauril Sulfat (NaLS)	8
2.2 Material Fotokatalis Semikonduktor TiO ₂	9
2.3 Pengaruh Dopan Besi (III) pada Material Fotokatalis TiO ₂	12
2.4 Metode MBAS (<i>Methylene Blue Active Substances</i>)	14
2.4.1 Spektrofotometer UV-Vis.....	17
2.5 Sintesis Material TiO ₂ -Fe Metode Sonikasi	18
2.5.1 Karakterisasi Material TiO ₂ -Fe dengan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	20
2.5.2 Karakterisasi Material TiO ₂ -Fe dengan <i>UV-Vis/Diffuse Reflectance Spectroscopy</i>	21
2.6 Fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS).....	23
2.6.1 Pengaruh Variasi Komposisi Dopan.....	23
2.6.2 Pengaruh Massa Fotokatalis	24
2.7 Perspektif Islam Terhadap Pencemaran Lingkungan akibat limbah surfaktan dan Usaha Penanggulangannya	26
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	29
3.2 Alat dan Bahan	29
3.2.1 Alat	29
3.2.2 Bahan	29
3.3 Rancangan Penelitian	30

3.4 Tahapan Penelitian	30
3.5 Pelaksanaan Penelitian	31
3.5.1 Sintesis Material TiO ₂ -Fe dengan Metode Sonikasi	31
3.5.2 Analisis Struktur Fotokatalis TiO ₂ -Fe Menggunakan X-Ray <i>Diffraction (XRD)</i>	32
3.5.3 Analisis Daerah Serapan dan Energi Celah Pita dengan Spektroskopi UV-Vis/ <i>Diffuse Reflectance Spectroscopy</i>	32
3.5.4 Pengukuran Konsentrasi Fotodegradasi NaLS Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis	33
3.5.4.1 Prosedur <i>Methylene Blue Active Substance (MBAS)</i>	33
3.5.4.1.1 Pembuatan Larutan H ₂ SO ₄ 6N	33
3.5.4.1.2 Pembuatan Larutan Metilen Biru	33
3.5.4.1.3 Pembuatan Larutan Pencuci	34
3.5.4.1.4 Pembuatan Larutan Induk NaLS 1000 ppm	34
3.5.4.1.5 Pembuatan Larutan Baku NaLS 100 ppm	34
3.5.4.1.6 Pembuatan Larutan NaLS 25 ppm	34
3.5.4.1.7 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum NaLS .	34
3.5.4.1.8 Pembuatan Kurva Standar NaLS.....	35
3.5.4.2 Uji Efektivitas Fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS)	36
3.5.4.2.1 Pengaruh Komposisi Dopan Fe terhadap Fotodegradasi NaLS	36
3.5.4.2.2 Pengaruh Massa Fotokatalis TiO ₂ -Fe terhadap Fotodegradasi NaLS	37
3.5.4.2.3 Uji Efektivitas Fotodegradasi NaLS Menggunakan TiO ₂ -Fe	37
3.5.5 Analisis Data.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Hasil Sintesis Material Fotokatalis TiO ₂ -Fe dengan Metode Sonikasi	40
4.1.1 Hasil Analisis Struktur Fotokatalis TiO ₂ -Fe Menggunakan XRD	41
4.1.2 Hasil Analisis Daerah Serapan dan Energi Celah Pita Menggunakan UV-Vis DRS	45
4.2 Pengukuran Konsentrasi Fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS) Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis.....	49
4.2.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Natrium Lauril Sulfat (NaLS).....	49
4.2.2 Pembuatan Kurva Standar Natrium Lauril Sulfat (NaLS).....	50
4.2.3 Pengaruh Komposisi Dopan Fe terhadap Fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS).....	51
4.2.4 Pengaruh Massa Katalis TiO ₂ -Fe terhadap Fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS).....	52
4.2.5 Uji Efektivitas Fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS).....	54
4.3 Fotokatalis untuk Pengolahan Limbah dalam Perspektif Islam	56

BAB V PENUTUP	60
5.1 Kesimpulan.....	60
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur kimia Natrium Lauril Sulfat (NaLS)	8
Gambar 2.2 Struktur kristal TiO ₂ rutil, anatas, dan brookit	10
Gambar 2.3 Reaksi surfaktan (NaLS) dengan metilen biru	16
Gambar 2.4 Pola XRD Nanopartikel TiO ₂ -Fe x%	21
Gambar 2.5 Energi Celah Pita dari nanopartikel TiO ₂ -Fe.	22
Gambar 2.6 Pengaruh konsentrasi dopan Fe terhadap %degradasi	23
Gambar 2.7 Grafik hubungan massa fotokatalis TiO ₂ dengan %degradasi	25
Gambar 4.1 (a)TiO ₂ anatas, (b)TiO ₂ -Fe 0,75%; (c) TiO ₂ -Fe 1%; (d) TiO ₂ -Fe 1,25%	41
Gambar 4.2 Difraktogram hasil XRD JCPDS TiO ₂ anatas No. 21-1272, TiO ₂ anatas sampel, dan TiO ₂ -Fe (0,75%; 1,0%; 1,25%)	42
Gambar 4.3 Perbesaran difraktogram XRD sampel TiO ₂ anatas, dan TiO ₂ -Fe (0,75%; 1,0%; 1,25%).....	43
Gambar 4.4 Struktur kristal TiO ₂ (a), TiO ₂ dengan kekosongan oksigen (b) dan TiO ₂ terfoping Fe (c).....	44
Gambar 4.5 Grafik hubungan nilai %reflrktansi dengan panjang gelombang.....	46
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara f(R) dengan panjang gelombang	46
Gambar 4.7 Grafik energi celah pita TiO ₂ dan TiO ₂ -Fe (0,75%; 1,0%; 1,25%) ..	47
Gambar 4.8 Grafik panjang gelombang maksimum NaLS.....	50
Gambar 4.9 Kurva standar NaLS	50
Gambar 4.10 Grafik hasil degradasi NaLS dengan variasi komposisi dopan.....	52
Gambar 4.11 Grafik hasil degradasi NaLS dengan variasi massa katalis.....	53
Gambar 4.12 Grafik hasil uji efektivitas fotokatalis	54

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Massa TiO_2 dan Fe^{3+} yang digunakan untuk sintesis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$	32
Tabel 4.1 Jarak antar kisi dan ukuran kristal TiO_2 anatas dan $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ (0,75%; 1,0%; dan 1,25%)	44
Tabel 4.2 Energi celah pita TiO_2 anatas dan $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ (0,75%; 1,0%; dan 1,25%)	48

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 Persamaan Lambert Beer	18
Persamaan 2.2 Persamaan Lambert Beer	18
Persamaan 3.1 Persamaan Debye-Scherrer	38
Persamaan 3.2 Persamaan Kubelka-Munk.....	38
Persamaan 3.3 Penentuan nilai panjang gelombang	38
Persamaan 3.4 Penentuan nilai %degradasi	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir.....	69
Lampiran 2. Perhitungan.....	73
Lampiran 3. Dokumentasi.....	77
Lampiran 4. Hasil Karakterisasi XRD	78
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi UV-Vis/DRS	82
Lampiran 6. Uji Aktivitas Fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS)	85

ABSTRAK

Nusantari, H. 2023. Pengaruh Komposisi Dopan dan Massa Fotokatalis terhadap Aktivitas Degradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS) Menggunakan Fotokatalis TiO₂-Fe. Skripsi. Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc; Pembimbing II: Susi Nurul Khalifah, M.Si.

Kata Kunci: Fotodegradasi, TiO₂-Fe, sonikasi, Natrium Lauril Sulfat (NaLS).

Natrium Lauril Sulfat (NaLS) merupakan jenis surfaktan yang mendominasi bahan deterjen di pasaran. Keberadaan NaLS pada lingkungan perairan dalam konsentrasi tinggi dapat mengganggu ekosistem dan dapat mengganggu perkembangbiakan organisme perairan. Metode fotodegradasi adalah metode penanganan limbah dengan bantuan cahaya menggunakan material fotokatalis sehingga dihasilkan senyawa yang lebih sederhana. Material fotokatalis yang digunakan adalah TiO₂, karena memiliki stabilitas kimiawi yang baik dan aktivitas fotokatalis yang tinggi. Akan tetapi, TiO₂ memiliki energi celah pita yang cukup besar, sehingga menurunkan efektivitasnya sebagai fotokatalis. Salah satu upaya untuk menurunkan energi celah pita dengan menambahkan dopan logam besi.

Sintesis TiO₂-Fe dilakukan dengan komposisi dopan 0,75; 1,0 dan 1,25% menggunakan prekursor TiO₂ anatas dan Fe(NO₃)₃.9H₂O dengan metode sonikasi. Selanjutnya material hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *UV-Vis/Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis/DRS). Uji efektivitas fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS) dilakukan dengan variasi komposisi dopan besi (III) dan massa katalis TiO₂-Fe dengan penyinaran pada sinar tampak selama 180 menit.

Hasil karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) pada material TiO₂-Fe dengan komposisi dopan 0,75; 1 dan 1,25% menunjukkan bahwa TiO₂-Fe memiliki struktur anatas. Hasil karakterisasi *UV-Vis/Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis/DRS) menunjukkan bahwa TiO₂-Fe dengan komposisi dopan 0,75; 1 dan 1,25% berturut-turut memiliki energi celah pita sebesar 3,17; 3,13 dan 3,08 eV. Komposisi dopan optimum yang diperoleh pada fotokatalis adalah TiO₂-Fe 1,25% dengan nilai %degradasi sebesar 76,58%, sedangkan massa optimum fotokatalis TiO₂-Fe adalah 375 mg dengan nilai %degradasi sebesar 88,73%.

ABSTRACT

Nusantari, H. 2023. Effect of Dopant Composition and Photocatalyst Mass on Degradation Activity of Sodium Lauryl Sulfate (NaLS) Using TiO₂-Fe Photocatalyst. *Thesis*. Department of Chemistry Faculty of Science and Technology Maulana Malik Ibrahim Islamic State Islamic University. Supervisor I: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc; Supervisor II: Susi Nurul Khalifah, M.Si.

Keywords: Photodegradation, TiO₂-Fe, sonication, Sodium Lauryl Sulfate (SLS).

Sodium Lauryl Sulphate (SLS) is a type of surfactant that dominates detergent ingredients on the market. The presence of SLS in the aquatic environment in high concentrations can disrupt the ecosystem and can interfere with the reproduction of aquatic organisms. The photodegradation method is a method of treating waste with the help of light using photocatalyst material so that simpler compounds are produced. The photocatalyst material used is TiO₂ because it has good chemical stability and high photocatalytic activity. However, TiO₂ has a large band gap, thereby reducing its effectiveness as a photocatalyst. One of the efforts to reduce the band gap is by adding iron metal dopants.

The synthesis of TiO₂-Fe was carried out with a dopant composition of 0,75; 1,0 and 1,25% using anatase TiO₂ and Fe(NO₃)₃.9H₂O precursors using the sonication method. The synthesized material was characterized using X-Ray Diffraction (XRD) and UV-Vis/Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis/DRS). The photodegradation effectiveness test of Sodium Lauryl Sulphate (SLS) was carried out by varying the composition of the iron (III) dopant composition and TiO₂-Fe catalyst mass by irradiating with visible light for 180 minutes.

The characterization results used X-Ray Diffraction (XRD) on TiO₂-Fe material with a dopant composition of 0,75; 1,0 and 1,25% indicate that TiO₂-Fe has an anatase structure. The results of the characterization of UV-Vis/Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis/DRS) showed that TiO₂-Fe with a dopant composition of 0,75; 1,0 and 1,25% respectively have a bandgap energy of 3,17; 3,13 and 3,08 eV. The optimum dopant composition obtained on the photocatalyst was 1,25% TiO₂-Fe with a %degradation value of 76,58%, while the optimum mass of TiO₂-Fe photocatalyst was 375 mg with a %degradation value of 88,73%.

ملخص البحث

نوسنتزي، هـ. ٢٠٢٣. تأثير تكوين المنشطات وكتلة المحفز الضوئي على نشاط تحلل كبريتات لوريل الصوديوم (NaLS) باستخدام المحفز الضوئي (TiO₂-Fe). البحث العلمي. قسم الكيمياء، كلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: لولوة الحميدة عليا، الماجستير. المشرف الثاني: سوسي نور الخليفة، الماجستير

الكلمات الرئيسية: التحلل الضوئي، TiO₂-Fe، صوتنة، كبريتات لوريل الصوديوم.

كبريتات لوريل الصوديوم (NaLS) هي نوع من المواد الخافضة للتوتر السطحي التي تهيمن على مكونات المنظفات في السوق. إن وجود كبريتات لوريل الصوديوم (NaLS) بتركيزات عالية في البيئة المائية يمكن أن يعطل النظام البيئي ويمكن أن يتداخل مع تكاثر الكائنات المائية. طريقة التحلل الضوئي هي طريقة لمعالجة النفايات بمساعدة الضوء باستخدام مادة محفزة ضوئية بحيث يتم إنتاج مركبات أبسط. مادة المحفز الضوئي المستخدمة هي TiO₂، لأنها تتمتع بثبات كيميائي جيد ونشاط تحفيز ضوئي عالي. ومع ذلك، فإن TiO₂ لديه فجوة نطاق كبيرة، مما يقلل من فعاليته كمحفز ضوئي. أحد الجهود المبذولة لتقليل فجوة النطاق هو إضافة مواد معدنية حديدية.

تم إجراء تخليق TiO₂-Fe بتركيبية منشطة قدرها ٠،٧٥؛ ١،٠؛ و ١،٢٥ % باستخدام السلائف TiO₂ anatas و Fe(NO₃)₃.9H₂O باستخدام طريقة الصوتنة. بعد ذلك، تم تشخيص المادة المصنعة باستخدام حيود الأشعة السينية (XRD) ومطياف الانعكاس المنتشر للأشعة فوق البنفسجية / المطيافية الانعكاس المنتشر (UV-Vis/DRS). تم إجراء اختبار فعالية التحلل الضوئي لكبريتات لوريل الصوديوم (NaLS) عن طريق تغيير تركيبة منشط الحديد (III) وكتلة المحفز TiO₂-Fe مع التعرض للضوء المرئي لمدة ١٨٠ دقائق.

نتائج التوصيف باستخدام حيود الأشعة السينية (XRD) على مادة TiO₂-Fe بتركيبية منشطة قدرها ٠،٧٥؛ ١،٠؛ و ١،٢٥ % تشير إلى أن TiO₂-Fe له بنية anatas. تظهر نتائج توصيف التحليل الطيفي للأشعة المرئية فوق البنفسجية / المطيافية الانعكاس المنتشر (UV-Vis/DRS) أن TiO₂-Fe بتركيبية منشطة تبلغ ٠،٧٥؛ ١،٠؛ و ١،٢٥ % على التوالي لديهم طاقة فجوة نطاق تبلغ ٣،١٧؛ ٣،١٣؛ و ٣،٠٨ فولت. كانت التركيبة المثالية للمحفز الضوئي التي تم الحصول عليها من المحفز الضوئي هي TiO₂-Fe ١،٢٥ % مع قيمة تحلل من ٧٦،٥٨ %، بينما كانت الكتلة المثالية للمحفز الضوئي TiO₂-Fe هي ٣٧٥ ملغ مع قيمة تحلل من ٨٨،٧٣ %.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, perkembangan usaha *laundry* di Indonesia terus mengalami peningkatan, bukan hanya di kota besar namun di pelosok daerah pun banyak usaha rumahan yang membuka usaha *laundry*. Di satu sisi peningkatan usaha *laundry ini* dapat memberikan dampak positif seperti terbukanya lapangan pekerjaan serta memberikan keringanan dalam hal tenaga dan waktu untuk mencuci dan menyetrika pakaian. Namun di sisi lain aktivitas *laundry* juga dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan karena limbah cair yang dihasilkan biasanya langsung dibuang ke lingkungan seperti sungai ataupun tanah tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu (Setiawan, 2018).

Limbah yang dihasilkan dari aktivitas *laundry* ini berupa air deterjen yang termasuk zat yang mencemari lingkungan (polutan) karena banyak mengandung bahan kimia seperti surfaktan, fosfat, ammonia, dan nitrogen (Ahmad, 2008). Limbah deterjen tersebut apabila dibuang ke badan air atau lingkungan terus menerus tanpa proses pengolahan nantinya dapat menyebabkan penurunan kualitas badan air atau lingkungan dan bahkan dapat menimbulkan masalah pencemaran pada perairan (Rustanto dan Nieke, 2012). Salah satu jenis surfaktan anionik yang mendominasi bahan deterjen di pasaran adalah Natrium Lauril Sulfat (NaLS) (Widyarti, 2020). NaLS banyak digunakan karena merupakan bahan pembersih yang sangat kuat dan memiliki kemampuan menghasilkan busa yang banyak. Akan tetapi jika terakumulasi ke lingkungan dalam jumlah yang banyak maka dapat menyebabkan rusaknya biota dalam perairan (Pristantho, 2011).

Membuang limbah berbahaya seperti limbah deterjen ke lingkungan perairan merupakan perbuatan tidak terpuji yang dapat merusak ekosistem perairan serta menyebabkan pencemaran. Lingkungan alam yang rusak akan berdampak terhadap kehidupan manusia dan akan menimbulkan bencana untuk saat ini dan untuk masa-masa yang akan datang. Hal ini telah disebutkan dalam Al-Qur'an surat Ar-Rum (30) ayat 41.

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya : *“Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).”* (QS. ar-Rum: 41)

Pada ayat di atas terdapat penegasan Allah bahwa berbagai kerusakan yang terjadi di muka bumi baik di daratan dan di lautan adalah akibat perbuatan manusia yang terlalu menuruti hawa nafsunya sendiri dan Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari akibat perbuatan buruk mereka agar mereka kembali ke jalan yang benar (Tafsir Kemenag, 2017). Dalam bukunya Membumikan Al-Qur'an, Shihab (1992) menjelaskan kata (ظهر) berarti tampak terang dan bisa dilihat dan diketahui dengan jelas. Kata (الفساد) kebalikan dari (الصالح). Berkaitan dengan kata (الفساد) dalam ayat ini, al Ashfahani menjelaskannya sebagai keluarnya sesuatu dari keseimbangan, baik sedikit maupun banyak (Shihab, 2009). Didalam surat ini tersirat secara jelas akan pentingnya kesadaran manusia untuk menjaga keseimbangan alam. Semakin banyak perusakan terhadap lingkungan, semakin besar pula dampak buruknya terhadap manusia. Salah satu penyebab kerusakan lingkungan adalah limbah deterjen yang tidak diolah dengan baik sehingga mencemari lingkungan perairan.

Sehingga untuk mengurangi dampak pencemaran lingkungan perlu dikembangkan metode pengolahan limbah deterjen untuk menjaga dan melestarikan ekosistem serta makhluk hidup yang tinggal di perairan.

Beberapa metode pengolahan limbah deterjen yang telah dilakukan untuk menghilangkan atau mengurangi surfaktan deterjen di antaranya koagulasi, adsorpsi, biodegradasi dan fotodegradasi. Pengolahan surfaktan dengan metode adsorpsi dan koagulasi dinilai kurang efektif karena selalu menghasilkan limbah padat berbahaya karena kontaminan tidak didetoksifikasi melainkan hanya dipindahkan dari air ke koagulan dan adsorben. Sedangkan metode biodegradasi dinilai hanya baik untuk surfaktan tingkat rendah, karena konsentrasi surfaktan yang tinggi berbahaya bagi bakteri (Wahyuni, 2016). Metode alternatif untuk penanganan limbah deterjen yang saat ini banyak dikembangkan yaitu metode fotodegradasi menggunakan bahan fotokatalis, yang merupakan gabungan antara proses fotokimia dan katalis. Metode ini dinilai lebih efektif karena prosesnya mudah, tidak membutuhkan waktu lama, bahan yang dipakai relatif murah dan mudah didapat, serta tidak menghasilkan *secondary waste* (Putro, dkk., 2019). Metode fotodegradasi merupakan proses peruraian suatu senyawa (biasanya senyawa organik) dengan bantuan energi foton. Proses fotodegradasi memerlukan suatu fotokatalis yang umumnya merupakan bahan semikonduktor seperti TiO_2 , ZnO , Fe_2O_3 , dan sebagainya (Fatimah dan Karna, 2005). Proses fotodegradasi dapat terjadi ketika katalis semikonduktor yang dikenai cahaya akan menghasilkan fotoelektron (e^-) dan *fotohole* (h^+) yang menjadi awal proses oksidasi terhadap polutan organik (Putro dkk., 2019). *fotohole* (h^+) akan berinteraksi dengan air sehingga menghasilkan radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$) yang

reaktif menyerang molekul organik atau anorganik yang terdapat pada air atau pelarut (Andriko, dkk., 2012). Fotodegradasi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti luas permukaan katalis, energi celah pita, ukuran kristal, jenis dopan yang digunakan, intensitas cahaya, jumlah katalis, dan waktu radiasi (Sari, 2022). Pristantho (2011) telah melakukan fotodegradasi NaLS dengan gabungan TiO_2 dan reagen fenton dan menghasilkan nilai % degradasi sebesar 43,82%.

Material fotokatalis yang banyak digunakan dalam pengolahan limbah adalah titanium dioksida (TiO_2) karena memiliki keunggulan yaitu tidak beracun, aktivitas fotokatalis baik, konduktivitas tinggi, murah, dan mudah didapatkan (Rahman dkk., 2014). Struktur kristal TiO_2 yang sering digunakan ialah anatase 3,0-3,2 eV (Linsebigler et al., 1995). Aktivitas fotokatalitik dari TiO_2 dapat ditingkatkan dengan penambahan suatu dopan. Dopan yang dapat digunakan untuk menurunkan energi celah pita dari TiO_2 , di antaranya seperti Cr, Fe, Co, Mo, N dan C (Wibowo, 2015). Logam Fe^{3+} dapat digunakan sebagai dopan karena memiliki jari-jari ion sebesar 0,064 nm yang hampir sama dengan jari-jari Ti^{4+} yaitu sebesar 0,068 nm sehingga Fe^{3+} akan lebih mudah mensubstitusi ion Ti^{4+} di dalam struktur TiO_2 dan mampu memperkecil energi celah pita, serta aktivitasnya dapat bergeser ke daerah sinar tampak (Atkins et al., 2010). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Pratiwi (2020), fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ memiliki aktivitas fotodegradasi paling tinggi dibandingkan dengan fotokatalis TiO_2 , fotolisis dan adsorpsi. $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ memberikan nilai %degradasi sebesar 25,605%. Sedangkan Fotokatalis TiO_2 , fotolisis dan adsorpsi memberikan nilai %degradasi sebesar 16,005%; 7,372 % dan 8,876 %.

Sintesis TiO₂ terdoping Fe³⁺ dapat dilakukan dengan beberapa metode di antaranya metode fasa padat, sol-gel, hidrotermal dan sonikasi. Dalam penelitian ini akan dilakukan sintesis TiO₂ terdoping Fe³⁺ dengan metode sonikasi. Kelebihan metode sonikasi di antaranya yaitu waktu yang diperlukan relatif cepat, alat yang relatif sederhana, suhu yang digunakan rendah, dan menghasilkan ukuran partikel yang kecil untuk meningkatkan luas permukaan partikel (Inggarwati, dkk., 2020; Rusdiana, dkk., 2018). Zunic (2014) telah melakukan sintesis nanopartikel Pt-TiO₂ dengan metode yang berbeda yaitu sol-presipitasi, sonikasi, dan hidrotermal. Sintesis nanopartikel Pt-TiO₂ dengan metode sonikasi menghasilkan ukuran partikel paling kecil dibandingkan dengan metode sol-presipitasi dan metode hidrotermal serta luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan metode sol-presipitasi dan metode hidrotermal.

Berdasarkan uraian di atas, pada percobaan ini akan dilakukan sintesis fotokatalis TiO₂-Fe menggunakan metode sonikasi. 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 komposisi dopan dan massa fotokatalis untuk melihat pengaruhnya terhadap efektivitas degradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS).

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada percobaan ini yaitu:

1. Bagaimana hasil karakterisasi sintesis TiO₂-Fe dengan variasi dopan Fe³⁺ 0,75%; 1,0%; dan 1,25% dengan instrumentasi XRD dan UV-Vis DRS?

2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi dopan Fe^{3+} pada fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ terhadap fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS)?
3. Bagaimana pengaruh variasi massa fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ terhadap fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS)?
4. Bagaimana efektivitas fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ terhadap fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS)?

1.3 Tujuan

Tujuan dari percobaan ini adalah:

1. Untuk mengetahui hasil karakterisasi sintesis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ dengan variasi dopan Fe^{3+} 0,75%; 1,0%; dan 1,25% dengan instrumentasi XRD dan UV-Vis DRS.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi dopan Fe^{3+} pada fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ terhadap fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS).
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi massa fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ terhadap fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS).
4. Untuk mengetahui efektivitas fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ terhadap fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS).

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada percobaan ini adalah:

1. Fotokatalis yang digunakan adalah $\text{TiO}_2\text{-Fe}$,
2. Variasi komposisi fotokatalis yang digunakan yaitu 0,75%; 1,0%; dan 1,25%,
3. Sintesis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ menggunakan metode sonikasi *vibracell* dengan gelombang ultrasonik 20 KHz,
4. Karakterisasi $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ dilakukan dengan instrumen XRD dan UV-Vis DRS,

5. Sumber cahaya yang digunakan adalah lampu halogen 20-watt dengan waktu penyinaran selama 180 menit,
6. Variasi massa fotokatalis yang digunakan adalah 275; 325; 375; 425; dan 475 mg,
7. Surfaktan pada limbah laundry yang digunakan adalah Natrium Lauril Sulfat (NaLS) dengan konsentrasi 25 ppm,
8. Pengukuran konsentrasi fotodegradasi NaLS menggunakan metode MBAS dengan Spektrofotometer UV-Vis.

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai karakteristik dan aktivitas fotokatalis dari material $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ sehingga dapat digunakan sebagai dasar pengembangan dan pemanfaatan fotokatalis TiO_2 terdoping besi (III) dalam mendegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS).

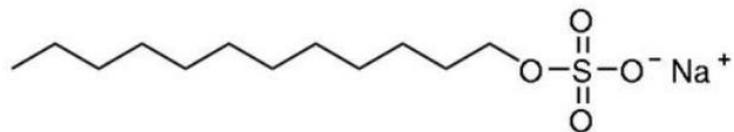
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Natrium Lauril Sulfat (NaLS)

Surfaktan merupakan molekul amfifilik yang terdiri dari ekor berupa gugus nonpolar atau hidrofobik dan kepala berupa gugus polar atau hidrofilik. Surfaktan adalah bahan aktif permukaan. Aktivitas surfaktan disebabkan karena sifat ganda dari molekulnya, di mana bagian polar akan mudah bersenyawa dengan air dan bagian non-polar mudah bersenyawa dengan minyak/lemak. Berdasarkan karakteristik muatannya, surfaktan dapat berupa anionik, kationik, zwitterionik (amfolitik) atau non ionik (Widyarti, 2020).

Natrium Lauril Sulfat (NaLS) merupakan salah satu surfaktan anionik yang banyak terkandung dalam deterjen, sabun, sampo, dan bahan pembersih lainnya. NaLS banyak digunakan karena merupakan salah satu bahan pembersih yang sangat kuat dan memiliki kemampuan menghasilkan busa yang banyak. Natrium lauril sulfat memiliki nama lain *Sodium Lauryl Sulfate (SLS)*, *Dodecyl sodium sulfate*, atau *Sodium monolauril sulfat*. Natrium Lauril Sulfat (NaLS) memiliki rumus molekul $C_{12}H_{25}NaO_4S$, dengan bentuk serbuk putih atau kuning pucat, rasa pahit, memiliki berat molekul 288,38 g/mol dan memiliki range pH 6-8 (Widyarti, 2020).



Gambar 2.1 Struktur kimia Natrium Lauril Sulfat (NaLS) (Maretta dan Qomarudin, 2015).

Natrium Lauril Sulfat (NaLS) memiliki panjang rantai 12 atom karbon yang mempunyai tingkat degradasi sangat rendah, sehingga sulit untuk terurai

dalam air. Keberadaan NaLS pada lingkungan perairan dalam konsentrasi tinggi dapat mengganggu ekosistem karena busa yang ditimbulkan dapat menurunkan konsentrasi oksigen terlarut, dapat terakumulasi pada tubuh organisme perairan dan dapat mengganggu perkembangbiakan organisme perairan. Oleh karena itu diperlukan penanganan serius untuk mengatasi masalah banyaknya akumulasi NaLS dalam perairan, salah satunya dengan fotokatalis (Maretta dan Qomarudin, 2015). Pada penelitian Maretta dan Qomarudin (2015) degradasi NaLS menggunakan nanopartikel ZnO dan sinar UV menghasilkan %degradasi sebesar 57,03%. Kemudian pada penelitian Pristantho (2011) menggunakan gabungan TiO₂ dan reagen fenton menghasilkan % degradasi NaLS sebesar 68,82%.

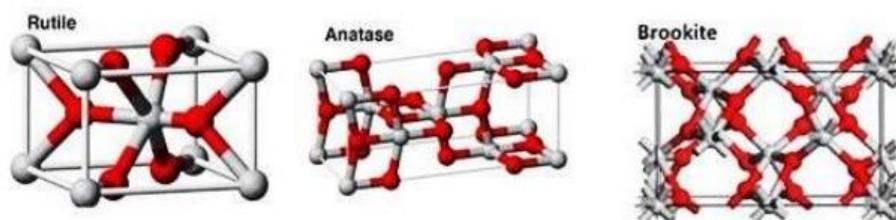
2.2 Material Fotokatalis Semikonduktor TiO₂

Semikonduktor adalah bahan yang memiliki nilai hambatan jenis sebesar 10^{-6} sampai $10^4 \Omega\text{m}$ (Garland et al., 2003). Semikonduktor memiliki pita valensi yang terisi penuh dan pita konduksi yang kosong, dimana kedua pita tersebut dipisahkan oleh celah yang disebut energi celah pita. Pada semikonduktor nilai energi celah pita tidak terlalu besar (0,5 - 3,0 eV) yang memungkinkan elektron dari pita valensi berpindah ke pita konduksi dengan adanya energi luar yang memenuhi (Kittel, 1979). Ketika semikonduktor dikenai cahaya dengan energi yang sama atau lebih besar dari energi celah pitannya, maka sebagian elektron pada pita valensi akan tereksitasi menuju ke pita konduksi dan menyebabkan pita konduksi yang semula kosong menjadi terisi oleh beberapa elektron dari pita valensi. Sedangkan pada pita valensi akan terbentuk *hole* akibat kekosongan yang ditinggalkan oleh elektron yang telah tereksitasi ke pita konduksi. Terbentuknya *hole* yang bermuatan positif pada pita valensi serta elektron yang bermuatan

negatif pada pita konduksi akan menghasilkan pasangan elektron-*hole* yang dapat berdifusi menuju permukaan dari material semikonduktor (Khaki, 2017).

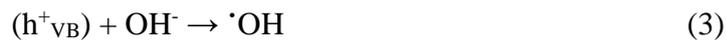
Fotokatalis merupakan kombinasi dari proses fotokimia dan katalisis. fotokatalis dapat diartikan sebagai bahan yang mengubah laju reaksi kimia pada paparan cahaya. Semua fotokatalis pada dasarnya adalah semikonduktor dengan energi celah pita berkisar 1,5 -3,0 (Ameta, et al., 2018). Semikonduktor yang biasa digunakan adalah bahan semikonduktor tipe chalgonide (oksida : TiO₂, ZnO, ZrO, CeO₂, WO₃ atau sulfida : ZnS, CdS) (Afrozi, 2010). Semikonduktor TiO₂ sering digunakan untuk proses fotokatalis karena mempunyai keunggulan yaitu stabilitas kimia dalam jangka waktu yang panjang, stabilitas terhadap foton yang baik, tidak beracun, harganya terjangkau, melimpah di alam, dan aktivitas fotokatalis yang tinggi (Andari dan Wardhani 2014).

TiO₂ merupakan senyawa anionik yang tersusun atas ion-ion Ti⁴⁺ dan O²⁻. Aktivitas fotokatalis material TiO₂ dipengaruhi oleh struktur kristalinitasnya (Chen, et al., 2003; Tjahjanto, 2001). Struktur semikonduktor TiO₂ memiliki tiga fase kristal, yaitu anatas (tetragonal), brookit (ortorombik), dan rutil (tetragonal) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Struktur anatas merupakan bentuk paling sering digunakan karena memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dan luas permukaan yang lebih besar sehingga dalam proses fotokatalitik dapat berinteraksi dengan senyawa target secara optimal (Rzajj dan Abass, 2020).

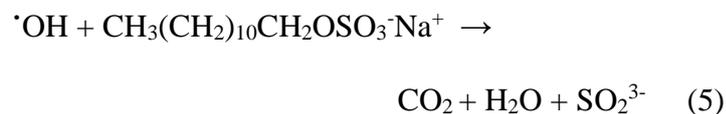


Gambar 2.2 Struktur kristal TiO₂ rutil, anatas, dan brookit (Woodley dan Catlow, 2009).

TiO₂ ketika dikenai cahaya dengan energi yang lebih besar dari energi celah pitanya (3,2 eV), maka elektron pada pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi sehingga menghasilkan *hole* (h^+) pada pita valensi. *Hole* yang terdapat pada fotokatalis dapat bereaksi baik dengan H₂O yang teradsorpsi secara fisik sehingga mampu menguraikan molekul H₂O dan O₂ menjadi radikal hidroksil (\cdot OH) serta ion superoksida (O₂⁻) yang mampu mendegradasi senyawa organik (Sirimahachai, et al., 2009). Mekanisme reaksi fotodegradasi yang terjadi adalah sebagai berikut (Saquib dan Muneer, 2003).



Elektron di pita konduksi juga dapat menghasilkan radikal hidroksil yang menjadi penyebab utama mineralisasi zat organik (Ameta, et al., 2000).



Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Daulay (2014), TiO₂ anatas dapat digunakan sebagai fotokatalis dalam mendegradasi surfaktan pada limbah laundry dengan konsentrasi 20 mg/L. Penelitian dilakukan dengan variasi berat katalis TiO₂. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum yang diperoleh yaitu berat katalis TiO₂ sebesar 1,2 gram dengan nilai %degradasi sebesar 81,56%. Meskipun TiO₂ merupakan fotokatalis yang relatif baik dalam mendegradasi limbah surfaktan, namun energi celah pita dari TiO₂ masih cukup lebar yaitu sebesar 3,2 eV sehingga perlu ditambahkan material pendukung seperti

dopan untuk meningkatkan aktivitas fotokatalis TiO_2 dalam mendegradasi polutan. Salah satu material pendukung yang dapat digunakan adalah Fe.

2.3 Pengaruh Dopan Besi (III) pada Material Fotokatalis TiO_2

Semikonduktor titanium dioksida memiliki energi celah pita yang cukup besar (3,2 eV untuk anatas dan 3,0 eV untuk rutil). Besarnya nilai energi celah pita tersebut berhubungan dengan serapan panjang gelombang yang berkisar antara 350-400 nm dimana merupakan spektra UV. Hal ini menjadi masalah dalam aplikasinya dari sudut pandang efisiensi pemanfaatan sinar matahari karena sinar UV yang sampai ke bumi hanya sekitar 5%, dan sekitar 39% merupakan sinar tampak (PERDOSKI, 2020). Akibatnya, penggunaan TiO_2 kurang efektif dan kurang ekonomis jika diaplikasikan di lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan metode untuk meningkatkan serapan TiO_2 di daerah sinar tampak agar dapat diaplikasikan secara efektif (Garcia, et al., 2003).

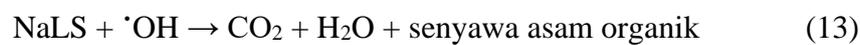
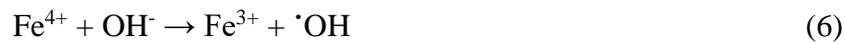
Salah satu upaya untuk memperkecil energi celah pita dan menggeser daerah serapan semikonduktor TiO_2 adalah dengan cara doping dari ion logam dan non logam pada struktur kisi TiO_2 (Wardhani, dkk., 2016). Doping merupakan penambahan dopan pada suatu material dengan tujuan untuk memodifikasi karakteristik elektroniknya (Mustofa, dkk., 2015). Penggunaan ion dopan dari unsur logam transisi banyak digunakan 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 perangkat potensial untuk elektron yang mengalami fotoregenerasi sehingga akan menghambat laju rekombinasi. Selain itu, banyak dari logam transisi yang 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 (Khan dan Berk, 2013).

Logam besi (Fe) memiliki energi celah pita sebesar 2,6 eV, yang dapat menurunkan energi celah pita TiO_2 dari 3,2 eV menjadi lebih kecil, sehingga dapat meningkatkan efisiensi fotokatalis dengan menggeser panjang gelombang ke daerah sinar tampak (Nasralla, et al., 2013). Doping logam besi dalam kisi TiO_2 tidak mengubah struktur katalis. Hal tersebut dikarenakan doping logam besi dalam konsentrasi rendah dan perbedaan jari-jari ionik antara Ti^{4+} dan Fe^{3+} yang rendah (Safari, et al., 2013). Logam Fe^{3+} memiliki jari-jari ion sebesar 0,064 nm yang hampir sama dengan nilai jari-jari Ti^{4+} yaitu sebesar 0,068 nm sehingga Fe^{3+} akan lebih mudah mensubstitusi beberapa ion Ti^{4+} di dalam struktur TiO_2 (Pratiwi, dkk., 2020).

Jari-jari ion Fe^{3+} yang hampir sama dengan jari-jari ion Ti^{4+} menunjukkan bahwa doping TiO_2 anatas dengan logam besi (III) terjadi reaksi padatan substitusi (Rohman, 2015). Sood, et al (2015) juga melaporkan TiO_2 yang didoping besi (III) mempertahankan struktur anatas, yang mengindikasikan bahwa dopan besi (III) secara substitusional digabungkan ke dalam kerangka TiO_2 , menggantikan kation Ti^{4+} . Reaksi yang terjadi pada dopan besi (III) dengan adanya sinar matahari yaitu sebagai berikut (Lonicha, 2021; Ameta, et al., 2000):





Ketika cahaya mengenai permukaan fotokatalis TiO_2 yang didoping dengan besi (III) maka akan menghasilkan e^-/h^+ (1). Besi (III) yang di doping pada TiO_2 akan bertindak sebagai perangkap e^-/h^+ (2-3), menghasilkan ion Fe^{2+} dan Fe^{4+} yang kurang stabil dibandingkan ion Fe^{3+} (karena konfigurasi d5 stabil yang terisi setengah). Sehingga, muatan yang terperangkap dapat dengan mudah dilepaskan kembali untuk membentuk ion Fe^{3+} yang stabil. Selanjutnya terjadi pembentukan radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$) dan anion O_2^- (4-6). Namun, ketika konsentrasi besi (III) tinggi, besi (III) dapat bertindak sebagai pusat rekombinasi untuk muatan pembawa sehingga mengurangi aktivitas fotokatalitik 7-8. Melalui reaksi redoks sejumlah spesies bermuatan dan radikal dengan potensial redoks tinggi dihasilkan (9-12). Radikal dengan potensial redoks tinggi akan mengoksidasi NaLS membentuk produk akhir (13) (Sood, et al., 2015).

2.4 Metode MBAS (*Methylene Blue Active Substances*)

Metode MBAS (*Methylene Blue Active Substances*) merupakan salah satu metode standar yang biasa digunakan untuk penentuan kadar deterjen atau

surfaktan. Metode MBAS adalah metode pewarnaan dengan menambahkan zat warna metilen biru, yang pada umumnya digunakan untuk pewarnaan surfaktan yang merupakan zat aktif tidak berwarna. Pada prosesnya surfaktan anionik akan berikatan dengan metilen biru membentuk senyawa berwarna biru yang larut dalam fase kloroform. Hal ini terjadi melalui susunan pasangan ion, yaitu anion MBAS dan kation metilen biru. 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. Intensitas dari warna biru yang dihasilkan dalam fase organik merupakan jumlah MBAS yang terukur (Aji, 2020).

Pengujian dengan metode MBAS dilakukan untuk mengetahui kadar surfaktan anion dalam limbah. Prinsip dasar dari metode MBAS ini adalah pemindahan metilen biru dari larutan ke dalam pelarut organik yang tidak saling bercampur, kemudian membentuk ikatan antara metilen biru dengan surfaktan anionik (Koga et al., 1999). Surfaktan anionik bereaksi dengan metilen biru membentuk pasangan ion berwarna biru yang larut dalam pelarut organik. Intensitas warna biru yang terbentuk diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 652 nm. Serapan yang terukur setara dengan kadar surfaktan anionik. Hal ini terjadi melalui formasi (ikatan) pasangan ion antara anion dari surfaktan dan kation dari metilen biru. Metilen biru yang berikatan dengan surfaktan adalah di bagian cincin yang mengandung S bermuatan positif, untuk dapat berikatan dengan metilen biru, gugus sulfonil dari surfaktan harus melepaskan ion Na terlebih dahulu sehingga O awalnya berikatan dengan Na^+ akan menjadi O bermuatan negatif (Aji, 2020).

2.4.1 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri Uv-Vis dikenal sebagai metode analisis spektroskopis yang memakai sumber reaksi elektromagnetik *ultraviolet* (190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm). Spektrofotometri merupakan metode analisis yang didasarkan pada pengukuran serapan sinar monokromatis oleh suatu lajur larutan berwarna pada panjang gelombang khusus dengan memakai prisma ataupun kisi difraksi dengan detektor *fototube*. Fungsi dari spektrofotometer adalah sebagai alat pengukur mengukur transmitan atau absorban suatu sampel dari panjang gelombang. Prinsip kerja dari Spektrofotometer Uv-Vis yaitu sumber cahaya yang datang merupakan sinar polikromatik yang dilewatkan melalui monokromator sehingga menjadi sinar monokromatik yang kemudian diteruskan melalui sel yang berisi sampel. Sebagian sinar akan diserap oleh sel dan sebagian lagi akan diteruskan ke fotosel yang berfungsi untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Energi listrik akan memberikan sinyal pada detektor yang kemudian akan diubah menjadi nilai serapan (absorbansi) dari zat yang dianalisis (Miarti dan Leni, 2022).

Spektrofotometri UV-Vis merupakan salah satu metode analisis instrumental yang frekuensi penggunaannya paling banyak dalam laboratorium analisis. Aplikasi spektrofotometri UV-Vis dalam pengukuran kuantitatif dilaksanakan dengan cara komparatif menggunakan kurva kalibrasi dari hubungan konsentrasi deret larutan alat untuk analisis suatu unsur yang berkadar rendah baik secara kuantitatif maupun secara kualitatif. Pada penentuan secara kualitatif berdasarkan puncak-puncak yang dihasilkan spektrum dari suatu unsur tertentu pada panjang gelombang tertentu, sedangkan penentuan secara kuantitatif

berdasarkan nilai absorbansi yang dihasilkan dari spektrum dengan adanya senyawa pengompleks sesuai unsur yang dianalisisnya. Adapun yang melandasi pengukuran spektrofotometer ini dalam penggunaannya adalah hukum Lambert-Beer yaitu bila suatu cahaya monokromatis dilewatkan melalui suatu media yang transparan, maka intensitas cahaya yang ditransmisikan sebanding dengan tebal dan kepekaan media larutan yang digunakan berdasarkan persamaan Lambert Beer berikut (Yanlinastuti dan Syamsul, 2016):

$$A = \log I/I_0 \text{ atau } A = a \cdot b \cdot c \quad (2.1)$$

dimana A merupakan absorbansi, a = koefisien serapan molar, b = tebal media cuplikan yang dilewati sinar, c = konsentrasi unsur dalam larutan cuplikan, I_0 = intensitas sinar mula-mula I = intensitas sinar yang diteruskan.

$$Y = ax - b \quad (2.2)$$

dimana Y = absorbansi a = konstanta x = konsentrasi b = kemiringan/slope.

2.5 Sintesis Material TiO₂-Fe Metode Sonikasi

TiO₂-Fe telah banyak disintesis untuk memaksimalkan fungsi kerja dari TiO₂ sebagai fotokatalis dalam mendegradasi limbah yang sulit terurai. Metode sonikasi merupakan metode yang sering digunakan untuk sintesis fotokatalis titanium dioksida. Metode sonikasi atau yang biasa dikenal dengan sonokimia merupakan suatu metode yang memanfaatkan gelombang ultrasonik dengan frekuensi antara 20 kHz–2 MHz sebagai sumber energi yang dapat menginisiasi atau mengaktivasi suatu reaksi kimia (Ingenieur, 2011).

Metode sintesis sonikasi telah banyak digunakan dalam sintesis material nanopartikel, amorf logam, karbida, sulfida, dan oksida serta pembuatan semikonduktor monokomponen dan kompositnya termasuk TiO₂. Sonikasi

menjadi metode sintesis yang berpotensi untuk diaplikasikan karena prosesnya yang efisien, sederhana, serta ramah lingkungan. Selain itu, adanya efek kavitasi akustik yang dihasilkan oleh pancaran gelombang ultrasonik dapat menghasilkan suhu dan tekanan lokal yang tinggi dalam larutan, sehingga membuat reaksi kimia dapat berlangsung dengan cepat pada suhu sintesis yang relatif rendah. Selain itu, dengan adanya efek kavitasi akustik tersebut mampu menghasilkan ukuran partikel material fotokatalis yang kecil dan seragam, serta mempunyai kemurnian yang tinggi (Cota, 2016).

Prinsip metode sonikasi adalah memanfaatkan gelombang ultrasonik dengan frekuensi sangat tinggi yang diradiasikan ke dalam larutan. Ketika suatu medium cair diiradiasi dengan gelombang ultrasonik, maka akan terjadi tumbukan antar partikel penyusun dalam medium tersebut yang bertekanan tinggi dan timbul gelembung ultrasonik. Selama proses kavitasi, akan terjadi pecahnya gelembung kecil akibat ketidakstabilan gelembung karena suara yang dihasilkan oleh gelombang ultrasonik. Hal ini mengakibatkan terjadinya pemanasan lokal yang melibatkan energi yang sangat tinggi yaitu sebesar 5000 K dengan tekanan sekitar 1000 atm, dan laju pemanasan dan pendinginannya yang bisa sangat cepat mencapai 1010 K/s. Energi kinetik yang besar ini bisa menyebabkan material terpecah menjadi berukuran kecil/nano (Suslick dan Price, 1999).

Penggunaan metode sonikasi mampu menghasilkan material fotokatalis dengan ukuran partikel yang kecil dan seragam, sehingga menghasilkan luas permukaan yang tinggi. Zunic (2014) melakukan sintesis nanopartikel Pt-TiO₂ menggunakan tiga metode sintesis yang berbeda yaitu, sol-presipitasi, sonikasi, dan hidrotermal dengan prekursor dan media yang sama. Hasil analisis BET

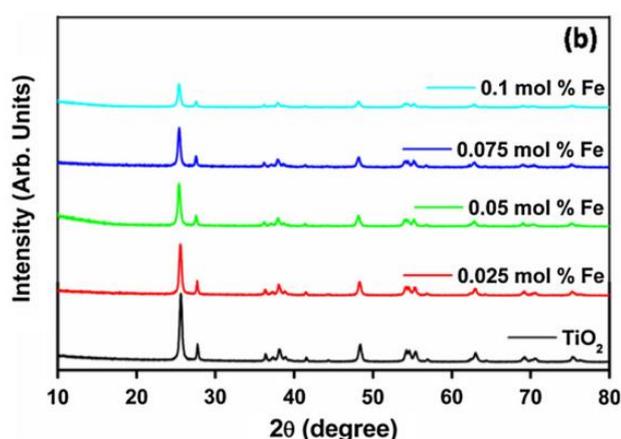
menunjukkan bahwa material Pt-TiO₂ yang disintesis menggunakan metode sonikasi menghasilkan ukuran partikel yang paling kecil (7 nm) dibandingkan dengan metode sol-presipitasi (14 nm) dan metode hidrotermal (16 nm). Selain itu, Astuti (2013) melakukan sintesis nanopartikel magnetik dari batuan besi menggunakan metode kopresipitasi dengan perlakuan sonikasi dan tanpa sonikasi. Hasil analisis menunjukkan sampel tanpa perlakuan sonikasi memiliki ukuran partikel yang lebih besar (57,8 nm) dibandingkan dengan sampel yang disonikasi (41,6 nm).

2.5.1 Karakterisasi Material TiO₂-Fe dengan *X-Ray Diffraction* (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan teknik non destruktif untuk karakterisasi suatu kristal. XRD memberikan informasi mengenai struktur, fase, orientasi kristal (tekstur), dan parameter lainnya, seperti ukuran butir rata-rata, kristalinitas, regangan dan cacat kristal (*Methods for Assessing Surface Cleanliness*, 2019). Kristalinitas nanopartikel TiO₂-Fe yang disintesis dengan metode sonikasi mengarah pada peningkatan pembentukan partikel kristal dengan fase anatas, serta adanya doping Fe dapat menurunkan ukuran kristal yang terbentuk (Shirsath, *et al.*, 2013). Lamanya waktu radiasi ultrasonik juga menentukan fragmentasi partikel dan pembentukan aglomerat atau partikel berukuran lebih besar. Ambati and Parag (2018) telah melakukan sintesis TiO₂-Fe dengan metode konvensional dan ultrasonik. Hasil penelitian menunjukkan TiO₂-Fe yang disintesis dengan metode konvensional menghasilkan ukuran kristal yang lebih besar (31.15 nm) dibandingkan dengan metode ultrasonik (25.43 nm).

Sood, *et al.*, (2015) melakukan sintesis TiO₂ terdoping besi (III) dengan metode hidrotermal dengan dibantu radiasi ultrasonik, dan didapatkan puncak

untuk TiO₂ murni dan terdoping tampak serupa, tetapi pada sampel TiO₂ terdoping Fe³⁺ terdapat beberapa pengurangan nyata dalam intensitas puncak yang menunjukkan bahwa Fe³⁺ dapat berperan sebagai dopan pada kristal TiO₂ tanpa mengubah fasa anatas TiO₂. Difraktogram dari semua sampel tidak menunjukkan adanya puncak difraksi senyawa besi, yang menunjukkan adanya dispersi ion logam pada kisi TiO₂ atau penggantian ion Ti⁴⁺ oleh ion Fe³⁺. Konsentrasi dopan Fe³⁺ yang rendah tidak membentuk fasa Fe₂O₃, serta menghasilkan kristal berukuran 25 nm.



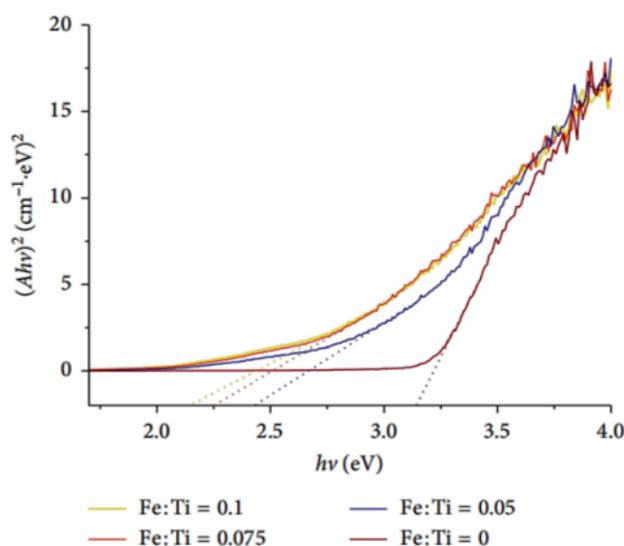
Gambar 2.4 Pola XRD nanopartikel TiO₂-Fe x% (Sood, et al., 2015).

2.5.2 Karakterisasi Material TiO₂-Fe dengan UV-Vis/*Diffuse Reflectance Spectroscopy*

Salah satu sifat material semikonduktor yaitu adanya energi celah pita yang menunjukkan jarak antara pita konduksi dan pita valensi. Energi celah pita adalah besar energi yang diperlukan suatu elektron untuk 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 (Hindryawati, 2020). Lebar energi celah pita semikonduktor mempengaruhi sifat fisis semikonduktor seperti mobilitas

pembawa muatan dalam semikonduktor, kerapatan pembawa muatan, spektrum absorpsi, dan spektrum luminisensi (Abdullah dan Kahirurrijal, 2009). Instrumen yang umum digunakan untuk mengukur energi celah pita adalah UV-Vis/*Diffuse Reflectance Spectroscopy*.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sood, et al., (2015) hasil karakterisasi material TiO₂-Fe menggunakan UV-Vis/DRS menunjukkan bahwa penyerapan meningkat secara signifikan dengan meningkatnya kandungan dopan Fe³⁺. Adanya Doping ion Fe³⁺ ke dalam matriks TiO₂, menyebabkan peningkatan penyerapan cahaya, memperluas respon spektral fotokatalis menjadi 426 nm. Dengan meningkatnya kandungan Fe³⁺, energi celah pita mengalami penurunan. Energi celah pita fotokatalis TiO₂-Fe 0,1% lebih rendah (2,9 eV) dibandingkan fotokatalis TiO₂ (3,2 eV). Solano, et al., (2019) juga melaporkan dengan penambahan 0,1% Fe³⁺, energi celah pita mengalami penurunan sebesar 1 eV tanpa mengubah posisi tepi pita valensi TiO₂ dengan menambah tingkat energi baru (Fe³⁺/Fe⁴⁺) dari transisi ion Fe³⁺ ke dalam celah pita TiO₂.

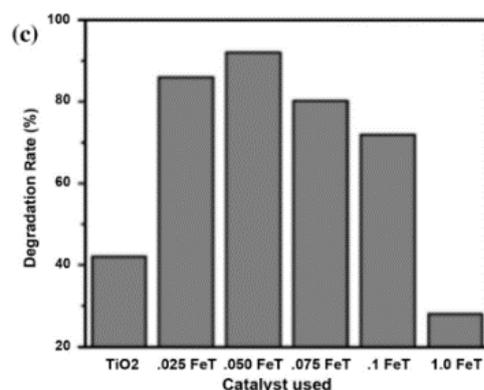


Gambar 2.5 Energi celah pita dari nanopartikel TiO₂-Fe (Solano, et al., 2019).

2.6 Fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS)

2.6.1 Pengaruh Variasi Komposisi Dopan

Penggunaan semikonduktor TiO_2 sebagai fotokatalis telah banyak dikembangkan guna meningkatkan aktivitas fotokatalis dan efisiensi katalitiknya, misalnya dilakukan dengan cara pendopongan pada TiO_2 . Penambahan dopan akan memberikan karakteristik baru pada sintesis suatu material. Penambahan dopan dapat mempengaruhi ukuran partikel dan energi celah pita dari suatu material, yang akan berpengaruh pada aktivitas fotokatalitik pada proses fotodegradasi. Komposisi dopan yang sesuai dapat memberikan nilai optimal aktivitas fotokatalitik. Namun, pemberian yang berlebih atau kurang dapat membuat kinerja material fotokatalitik menurun.



Gambar 2.6 Pengaruh konsentrasi dopan Fe terhadap %degradasi (Sood et al., 2015).

Sood, et al (2015) telah melakukan sintesis TiO_2 -Fe dengan variasi konsentrasi dopan Fe sebesar 0,025%; 0,050%; 0,075%; 0,1% dan 1,0 %. Hasil penelitian menunjukkan bahwa degradasi maksimum terjadi pada pemberian dopan Fe pada TiO_2 sebanyak 0,05 %, karena dapat menyebabkan pemisahan maksimum pembawa muatan fotogenerasi, sehingga *hole* menghasilkan aktivitas fotokatalitik yang sangat baik. Jika konsentrasi dopan Fe semakin meningkat akan menyebabkan penurunan aktivitas fotokatalitik. Hal ini dibuktikan dengan

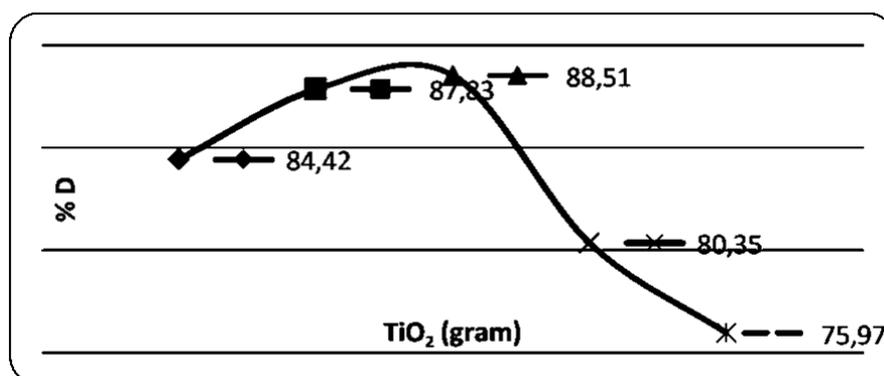
pemberian dopan sebanyak 1 mol% di mana konsentrasi Fe yang tinggi dalam TiO₂ dapat secara drastis mempengaruhi aktivitas fotokatalitik, aktivitas degradasi fotokatalitik menurun menjadi 28%. Hal ini karena pada jumlah yang sangat tinggi ion Fe bertindak sebagai pusat rekombinasi untuk foto elektron dan *hole* (Sood et al., 2015).

Khan & Berk (2013) juga melaporkan ketika konsentrasi dopan telah melebihi nilai optimum maka dapat berperan sebagai pusat rekombinasi untuk pasangan e^- dan h^+ yang terfotoeksitasi. Selain itu, kelebihan ion dopan menempati permukaan dan batas butir, sehingga sisi reaksi permukaan aktif dapat diblokir karena deposisi dopan. Akibatnya penonaktifan katalis mulai terjadi, ini semua menunjukkan adanya beberapa efek yang disebut poisoning effect. Efek negatif penambahan dopan yang berlebihan juga dapat membuat material memiliki ukuran yang besar, di mana dapat berperan bukan sebagai sensitizer, tetapi sebagai resistor dalam proses fotodegradasi (Jang et al., 2005)

2.6.2 Pengaruh Massa Fotokatalis

Massa fotokatalis yang digunakan akan berpengaruh terhadap aktivitas degradasi. Penggunaan fotokatalis dengan takaran yang kurang atau berlebih akan menyebabkan menurunnya efektivitas material dalam proses fotokatalitik. Pristantho (2011) menyatakan semakin banyak massa fotokatalis TiO₂ yang digunakan maka %degradasi terhadap larutan NaLS akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin banyak jumlah TiO₂ akan mempengaruhi jumlah radikal $\cdot\text{OH}$ yang dihasilkan. Semakin banyak radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$) dan superoksida (O_2^-) yang terbentuk seiring bertambahnya jumlah fotokatalis, akan menyebabkan jumlah molekul NaLS yang terdegradasi semakin meningkat.

Sebaliknya, semakin sedikit TiO_2 yang ditambahkan maka radikal $\cdot\text{OH}$ yang dihasilkan pun akan semakin sedikit, hal ini disebabkan karena hanya sedikit elektron pada pita valensi TiO_2 yang tereksitasi ke pita konduksi yang kosong dan meninggalkan lubang positif.



Gambar 2.7 Grafik hubungan massa fotokatalis TiO_2 dengan %degradasi (Hendra, dkk., 2016).

Berdasarkan penelitian Hendra, dkk., (2016) dengan penambahan TiO_2 0,5 gram sampai pada penambahan 1,5 gram pada proses iradiasi senyawa LAS menunjukkan penambahan %degradasi berbanding lurus dengan penambahan jumlah TiO_2 . Akan tetapi pada penambahan katalis TiO_2 2 gram dan 2,5 gram terjadi penurunan %degradasi. Hal ini disebabkan karena penyerapan sinar UV terhalang oleh TiO_2 yang telah berlebih dari jumlah TiO_2 optimum yang bisa menghasilkan radikal hidroksil di dalam larutan. Rizky et al., (2020) juga melaporkan pemberian katalis yang berlebihan menyebabkan penurunan efisiensi yang cukup signifikan untuk menghilangkan LAS. Karena serbuk TiO_2 secara praktis tidak larut dalam air, kandungan TiO_2 yang tinggi dalam air akan membuat partikel yang tersuspensi di dalamnya kemudian menghalangi sinar UV untuk menembus larutan.

2.7 Perspektif Islam Terhadap Pencemaran Lingkungan akibat limbah surfaktan dan Usaha Penanggulangannya

Lingkungan hidup merupakan kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup, termasuk di dalamnya manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi kelangsungan perikehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lainnya (Ilyas, 2008). Manusia hidup tidak lepas dari lingkungan dimana mereka berada. Lingkungan harus mendukung kehidupan manusia agar hidup nyaman, aman, dan tentram. Lingkungan yang rusak membuat manusia tidak nyaman hidup. Agama Islam telah melarang segala bentuk perusakan alam sekitar, baik langsung maupun tidak langsung. Allah dengan tegas melarang manusia untuk berbuat kerusakan di muka bumi, hal ini dijelaskan dalam QS. al-A'raf ayat 56

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.” (QS. al-A'raf:56)

Dalam ayat ini terdapat larangan Allah agar manusia tidak membuat kerusakan di muka bumi. Bumi yang kita tempati sudah diciptakan Allah dengan segala kelengkapannya, seperti gunung, lembah, sungai, lautan, hutan, dan lain-lain, yang semuanya ditujukan untuk keperluan manusia agar dapat diolah dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya untuk kesejahteraan manusia. Oleh karena itu, manusia dilarang membuat kerusakan di muka bumi. Karena jika segala perkara telah ditata, lalu dirusak maka akan sangat membahayakan. Al-Qurtubi dalam buku Al-Jami' li ahkam al-Qur'an menyebutkan, tafsir kata *وَلَا تُفْسِدُوا* ialah larangan merusak lingkungan yang membahayakan kehidupan. Menurut Abdullah

(2004) dalam tafsir Ibnu Katsir, Allah SWT melarang perbuatan yang menimbulkan kerusakan di muka bumi dan hal-hal yang membahayakan kelestariannya sesudah diperbaiki. Karena sesungguhnya apabila segala sesuatunya berjalan sesuai dengan kelestariannya, kemudian terjadilah pengrusakan padanya, hal tersebut akan membahayakan semua hamba Allah.

Salah satu yang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan adalah air limbah *laundry* yang dibuang ke lingkungan perairan secara langsung tanpa dilakukan pengolahan. Air limbah *laundry* mengandung senyawa dengan konsentrasi tinggi seperti fosfat, surfaktan, serta kekeruhan yang tinggi. Tingginya nilai parameter pada air limbah laundry akan menyebabkan pencemaran lingkungan. Limbah laundry yang mengandung surfaktan merupakan salah satu pencemar yang bisa membahayakan kehidupan organisme di perairan karena menyebabkan suplai oksigen dari udara sangat lambat akibat busanya yang menutupi permukaan air. Salah satu bentuk ikhtiar dalam menanggulangi kerusakan lingkungan ini adalah dengan mengurangi bahaya dari pencemaran lingkungan yang dapat diakibatkan oleh limbah deterjen.

Dalam upaya mengurangi bahaya pencemaran lingkungan salah satunya dengan melakukan pengolahan limbah dengan metode fotodegradasi. Metode fotodegradasi mampu mengubah limbah cair organik yang berbahaya bagi kesehatan manusia serta organisme yang ada di perairan menjadi senyawa yang tidak berbahaya. Pemanfaatan metode fotodegradasi limbah dapat dilakukan menggunakan material fotokatalis TiO_2 terdoping logam besi (III) dengan bantuan cahaya. Cahaya merupakan anugerah yang dilimpahkan Allah Swt. pada alam semesta serta memegang peranan penting dalam kehidupan manusia. Tanpa

cahaya manusia tidak dapat melihat benda disekitarnya (Mulyono, 2007). Allah berfirman dalam Surah Yunus ayat 5 berikut.

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسَ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْأَجْسَابِ ۗ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ ﴿٥﴾

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. “ (QS. Yunus:5)

Matahari merupakan makhluk ciptaan Allah Swt. yang berperan penting dalam kehidupan di bumi. Dalam ayat diatas dijelaskan bahwa Allah menjadikan matahari sebagai dhiya, artinya cahaya yang memancar dari matahari sangat menyilaukan mata. Matahari dengan sinarnya merupakan sumber kehidupan, sumber panas dan sumber energi yang dapat menggerakkan makhluk Allah SWT yang diciptakan-Nya (Departemen Agama RI, 2010). Pada proses fotodegradasi, diperlukan energi dari cahaya, di mana cahaya dapat menghasilkan energi (foton) yang dapat mengaktifkan permukaan katalis semikonduktor, sehingga akan dihasilkan radikal $\cdot\text{OH}$ yang selanjutnya akan mendegradasi polutan organik (Wijaya dkk., 2006). Usaha penanggulangan limbah deterjen dengan fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ dengan bantuan cahaya diharapkan dapat bermanfaat bagi lingkungan karena menjaga lingkungan merupakan kewajiban bagi seluruh umat manusia. Dengan demikian dapat menjadikan kita sebagai umat yang dicintai oleh Rasulullah SAW dan hamba yang dirahmati oleh Allah Swt.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret-Juli 2023 di Laboratorium Kimia Anorganik dan Laboratorium Instrumentasi Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat gelas, botol semprot, spatula, gelas arloji, neraca analitik, mortar *agate*, *magnetic stirrer*, *hot plate*, alat sentrifugasi, kertas saring, cawan penguap, spektrofotometer UV-Vis Varian tipe Cary 50, spektrofotometer Benchtop Powder XRD Rigaku, spektrofotometer UV-Vis/DRS Evolution 220, oven (Thermo Scientific), seperangkat alat fotodegradasi dengan lampu halogen 20 watt (Halopika), dan *ultrasonic vibracell* Q-Sonica.

3.2.2 Bahan

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah aquades, NaOH (Merck), etanol p.a (Merck 99,9%), titanium (IV) dioksida (TiO₂) anatas (Sigma Aldrich), besi (III) nitrat (Fe(NO₃)₃·9H₂O (Merck), Metilen Biru, Natrium Lauril Sulfat (NaLS) teknis, asam sulfat p.a (Merck), kloroform (Smartlab), isopropanol (Merck, 99,5%), natrium dihidrogen fosfat monohidrat (NaH₂PO₄·H₂O) (Merck).

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan adalah sintesis TiO_2 terdoping besi dengan variasi konsentrasi besi 0,75%; 1%; dan 1,25% menggunakan metode sonikasi dengan prekursor titanium (IV) dioksida (TiO_2) anatas dan besi (III) nitrat sebagai sumber besi. Material hasil sintesis akan dikarakterisasi struktur dan ukuran kristalnya menggunakan XRD, dan analisis daerah serapan serta energi celah pita material hasil sintesis menggunakan UV-Vis/DRS. Pengaruh efektivitas fotodegradasi oleh variasi dopan diuji melalui uji efektivitas fotodegradasi yang dilakukan pada fotokatalis dengan komposisi dopan Fe^{3+} 0,75%; 1,0% dan 1,25% untuk mendegradasi NaLS dengan waktu penyinaran selama 180 menit. Kemudian hasil fotodegradasi dengan efektifitas yang optimum akan digunakan untuk mempelajari pengaruh massa fotokatalis terhadap efektivitas fotodegradasi melalui uji efektivitas fotodegradasi dengan variasi massa katalis TiO_2 -Fe yaitu 275, 325, 375, 425, 475 mg untuk mendegradasi NaLS dengan waktu penyinaran selama 180 menit. Semua pengukuran dilakukan secara triplo.

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan dari penelitian ini antara lain:

1. Sintesis material TiO_2 terdoping besi (III) menggunakan metode sonikasi,
2. Karakterisasi struktur kristal, ukuran kristal, analisis daerah serapan, dan energi celah pita material fotokatalis TiO_2 -Fe,
3. Penentuan panjang gelombang maksimum degradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS),
4. Penentuan kurva standar degradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS),
5. Uji efektivitas fotodegradasi TiO_2 -Fe,

- a. Pengaruh variasi dopan pada degradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS) menggunakan material sintesis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ sonikasi,
 - b. Pengaruh variasi massa fotokatalis terhadap degradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS) menggunakan material sintesis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ sonikasi,
6. Analisis data.

3.5 Pelaksanaan Penelitian

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

Sintesis TiO_2 terdoping besi (III) dilakukan dengan variasi konsentrasi dopan 0,75%; 1,0%; dan 1,25% dengan merujuk pada metode Shirsath, et al (2013). TiO_2 anatas SA ditimbang dengan berat seperti ditunjukkan Tabel 3.1 kemudian ditambahkan 50 mL isopropanol. Campuran kemudian disonikasi menggunakan *ultrasonic vibracell* selama 5 menit dengan frekuensi rendah 20 KHz. Selanjutnya $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ditimbang dengan berat seperti ditunjukkan Tabel 3.1 dan dicampurkan ke dalam 20 mL akuades. Larutan TiO_2 yang telah disonikasi kemudian 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 20 KHz. Hasil sonikasi didiamkan selama 2 hari. Endapan yang terbentuk kemudian disentrifugasi selama 15 menit pada 5300 rpm, lalu disaring, kemudian dicuci dengan akuades dan etanol, dan kemudian dikeringkan pada suhu 80°C selama 12 jam. Setelah kering, padatan digerus dengan mortar *agate* untuk membentuk serbuk dan dikalsinasi pada suhu 450°C selama 3 jam.

Tabel 3.1 Massa TiO₂ dan Fe³⁺ yang digunakan untuk sintesis TiO₂-Fe.

Variasi Dopan	Massa TiO ₂ (gram)	Massa Fe ³⁺ (gram)
0,75%	2,4798	0,0948
1,0%	2,4729	0,1263
1,25%	2,4660	0,1579

3.5.2 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 ($\lambda = 1,5418$ Å). 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 JCPDS-TiO₂ anatas untuk mengetahui karakteristik dari TiO₂ setelah didoping dengan besi. Berdasarkan difraktogram yang diperoleh dari hasil difraksi sinar-X, maka ukuran kristal rata-rata TiO₂ hasil sintesis dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Debye-Scherrer.

3.5.3 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.

Data DRS yang diperoleh 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

3.5.4 Pengukuran Konsentrasi Fotodegradasi NaLS Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis

3.5.4.1 Prosedur *Methylene Blue Active Substance* (MBAS)

3.5.4.1.1 Pembuatan Larutan H₂SO₄ 6N

Sebanyak 20 mL H₂SO₄ pekat dimasukkan ke dalam gelas beker 200 mL dilarutkan dengan 120 mL akuades kemudian dihomogenkan.

3.5.4.1.2 Pembuatan Larutan Metilen Biru

Sebanyak 100 mg metilen biru dilarutkan dengan 100 mL akuades kemudian dihomogenkan. Sebanyak 30 mL larutan tersebut dan masukkan ke dalam labu ukur 1000 mL, ditambahkan 500 mL akuades, 41 mL H₂SO₄ 6N dan 50 g natrium fosfat monohidrat (NaH₂PO₄.H₂O), dikocok hingga larut sempurna dan ditambahkan akuades hingga tepat tanda batas kemudian dihomogenkan.

3.5.4.1.3 Pembuatan Larutan Pencuci

Sebanyak 41 mL H_2SO_4 6N dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL dilarutkan dengan 500 mL akuades ditambahkan 50gram natrium dihidrogen fosfat monohidrat ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) dikocok hingga larut sempurna kemudian tambahkan akuades hingga tepat tanda tera kemudian dihomogenkan.

3.5.4.1.4 Pembuatan Larutan Induk NaLS 1000 ppm

Sebanyak 1 g NaLS 100% aktif dilarutkan dengan 100 mL akuades dalam labu ukur 1000 mL kemudian ditambahkan akuades hingga tepat tanda batas kemudian dihomogenkan.

3.5.4.1.5 Pembuatan Larutan Baku NaLS 100 ppm

Sebanyak 10 mL larutan induk NaLS 1000 ppm dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan akuades hingga tepat tanda batas kemudian dihomogenkan.

3.5.4.1.6 Pembuatan Larutan NaLS 25 ppm

Sebanyak 12,5 mL larutan baku NaLS 100 ppm dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL, ditambahkan akuades sampai tepat pada tanda batas sehingga dan dihomogenkan.

3.5.4.1.7 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum NaLS

Larutan standar NaLS 25 ppm sebanyak 25 mL dimasukkan ke dalam corong pisah, ditambahkan larutan metilen biru sebanyak 6,25 mL, tambahkan masing-masing 2,5 mL kloroform, dikocok selama 30 detik sambil sekali-kali buka tutup corong untuk mengeluarkan gas, biarkan hingga

terjadi pemisahan fasa, digoyangkan corong pemisah perlahan-lahan (jika terbentuk emulsi tambahkan sedikit isopropil alkohol 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. Fasa kloroform yang diperoleh dikumpulkan dan ditambahkan 12,5 mL larutan pencuci dan dikocok selama 30 detik, biarkan terjadi pemisahan fasa, kemudian goyangkan perlahan-lahan, dikeluarkan lapisan bawah (kloroform) dan ditampung ke dalam labu ukur. Tambahkan 2,5 mL kloroform ke dalam fasa air hasil pengerjaan kemudian kocok kuat-kuat selama 30 detik, biarkan terjadi pemisahan fasa, goyangkan perlahan-lahan. Keluarkan lapisan bawah (kloroform) dan ditampung ke dalam labu ukur. Ekstraksi kembali fasa air dalam corong pisah dan satukan semua fasa kloroform dalam labu ukur, kemudian ditandabatkan dengan kloroform. Selanjutnya diukur absorbansi pada panjang gelombang 400 sampai 800 nm.

3.5.4.1.8 Pembuatan Kurva Standar NaLS

Larutan NaLS dengan konsentrasi 5, 10, 15, 20, dan 25 ppm dipipet sebanyak 25 mL kemudian masing-masing dimasukkan ke dalam corong pemisah 50 mL, ditambahkan larutan metilen biru sebanyak 6,25 mL, dan ditambahkan 2,5 mL kloroform kemudian dikocok kuat-kuat selama 30 detik sambil sekali-kali buka tutup corong untuk mengeluarkan gas, biarkan hingga terjadi pemisahan fasa, digoyangkan corong pemisah perlahan-lahan (jika terbentuk emulsi tambahkan sedikit isopropil alkohol sampai emulsinya hilang). Pisahkan lapisan bawah (fasa kloroform) dan tampung dalam beaker

glass, lalu ekstraksi kembali fasa air dalam corong pisah sebanyak 2 kali dan satukan semua fasa kloroform. Fasa kloroform yang diperoleh dikumpulkan dan ditambahkan 12,5 mL larutan pencuci ke dalam fasa kloroform kemudian kocok kuat-kuat selama 30 detik, biarkan terjadi pemisahan fasa, kemudian goyangkan perlahan-lahan, dikeluarkan lapisan bawah (kloroform) dan ditampung ke dalam labu ukur. Tambahkan 2,5 mL kloroform ke dalam fasa air hasil pengerjaan kemudian kocok kuat-kuat selama 30 detik, biarkan terjadi pemisahan fasa, goyangkan perlahan-lahan. Keluarkan lapisan bawah (kloroform) dan ditampung ke dalam labu ukur. Ekstraksi kembali fasa air dalam corong pisah dan satukan semua fasa kloroform dalam labu ukur, kemudian ditandabatkan dengan kloroform dan ukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum yang diperoleh.

3.5.4.2 Uji Efektivitas Fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS)

3.5.4.2.1 Pengaruh Komposisi Dopan Fe terhadap Fotodegradasi NaLS

NaLS 25 ppm sebanyak 25 mL dimasukkan dalam gelas kimia dan ditambahkan 275 mg $\text{TiO}_2\text{-Fe}$, kemudian dilakukan penyinaran di bawah sinar tampak (lampu halogen) selama 180 menit sambil distirer. Variasi konsentrasi dopan Fe^{3+} yang digunakan yaitu 0,75%; 1,0% dan 1,25% Larutan hasil degradasi kemudian disentrifugasi untuk memisahkan antara padatan fotokatalis dan supernatan, lalu dilakukan prosedur seperti pada poin 3.4.4.1.8. Kemudian dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis. penelitian dilakukan secara 3 kali pengulangan (triplo).

3.5.4.2.2 Pengaruh Massa Fotokatalis TiO₂-Fe terhadap Fotodegradasi NaLS

NaLS 25 ppm sebanyak 25 mL dimasukkan dalam gelas kimia dan ditambahkan TiO₂-Fe dengan komposisi dopan optimum pada pengujian sebelumnya dengan penambahan variasi massa 275; 325; 375; 425; dan 475 mg. Kemudian dilakukan penyinaran di bawah sinar tampak (lampu halogen) selama 180 menit sambil distirer. Larutan hasil degradasi kemudian disentrifugasi untuk memisahkan antara padatan fotokatalis dan supernatan, lalu dilakukan prosedur seperti pada poin 3.4.4.1.8. Kemudian dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis. penelitian dilakukan secara 3 kali pengulangan (triplo).

3.5.4.2.3 Uji Efektivitas Fotodegradasi NaLS Menggunakan TiO₂-Fe

NaLS 25 ppm sebanyak 25 mL masing-masing dimasukkan dalam 3 gelas kimia, lalu ditambahkan 375 mg TiO₂, 375 mg TiO₂-Fe 1,25% dan tanpa penambahan katalis. dilakukan penyinaran di bawah sinar tampak (lampu halogen) selama 180 menit sambil distirer. Larutan hasil degradasi kemudian disentrifugasi untuk memisahkan antara padatan fotokatalis dan supernatan, lalu dilakukan prosedur seperti pada poin 3.4.4.1.8. Kemudian dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis. penelitian dilakukan secara 3 kali pengulangan (triplo).

3.5.5 Analisis Data

1. Difraktogram yang diperoleh dari karakterisasi XRD dibandingkan dengan standar JCPDS-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 $(F(R) \cdot h\nu)^{1/2}$ (sebagai sumbu y). Energi foton dihitung dari data panjang gelombang yang terukur, dapat dihitung menggunakan persamaan:

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

dimana 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

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

dimana C_0 = konsentrasi awal (NaLS sebelum degradasi) dan C_1 = konsentrasi setelah degradasi.

BAB IV

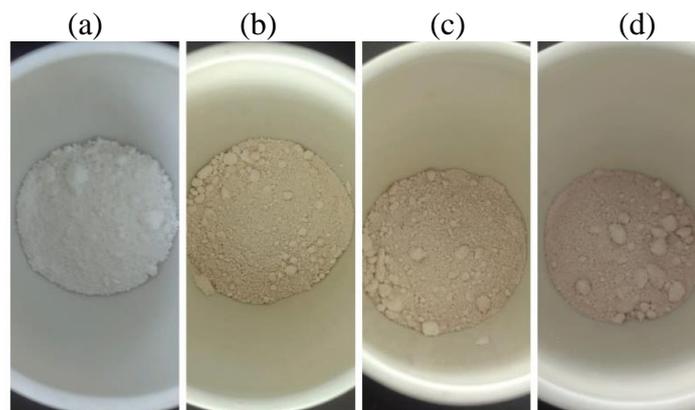
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Sintesis Material Fotokatalis TiO₂-Fe dengan Metode Sonikasi

Sintesis material fotokatalis TiO₂-Fe dilakukan dengan metode sonikasi menggunakan *ultrasonic vibracell* pada frekuensi 20 KHz. Pada penelitian ini dilakukan sintesis TiO₂-Fe dengan komposisi besi yang berbeda yaitu 0,75%; 1,0%; dan 1,25%. Reaktan yang digunakan adalah TiO₂ anatas dan besi (III) nitrat (Fe(NO₃)₃). TiO₂ anatas ditambahkan isopropanol yang berfungsi sebagai medium cair untuk perambatan gelombang dalam proses sonikasi. Isopropanol digunakan sebagai medium cair karena sifatnya yang tidak melarutkan kristal yang terbentuk. Selain itu, isopropanol dapat bercampur secara heterogen dalam campuran reaksi dan membentuk kristal berukuran nanopartikel (Ambati dan Parag, 2018). Selanjutnya campuran disonikasi untuk memaksimalkan pencampuran antara TiO₂ dan isopropanol. Kemudian campuran ditambahkan larutan Fe(NO₃)₃ dan NaOH secara bertahap sambil distirer untuk memaksimalkan pencampuran dan untuk mencegah pembentukan aglomerasi (Xie and Li., 2006). Penambahan Fe(NO₃)₃ adalah sebagai doping logam besi (III) ke dalam struktur TiO₂, dan penambahan NaOH berfungsi untuk mengontrol laju kristalisasi dan untuk menghidrolisis (Gupta dan Manoj, 2012). Campuran kemudian disonikasi, dan hasil sonikasi didiamkan untuk memaksimalkan proses kristalisasi.

Setelah didiamkan, selanjutnya campuran disentrifugasi untuk memaksimalkan pemisahan kristal yang terbentuk dengan pelarut. Kemudian padatan dicuci dengan akuades dan etanol untuk melarutkan pengotor dan dikeringkan dengan oven untuk menguapkan pelarut yang masih tersisa. Padatan

yang telah kering digerus dengan mortar *agate* untuk meningkatkan luas permukaan partikel sehingga kontak atau reaksi antar partikel akan semakin cepat dan meminimalisir kontak partikel dengan wadah krusibel (Ismunandar, 2006). Kemudian padatan dikalsinasi pada suhu 450°C untuk membentuk kristal anatas (Naeem dan Feng, 2009). Sampel yang telah dikalsinasi kemudian digerus kembali dengan mortar *agate*. Gambar 4.1 menunjukkan perubahan warna pada TiO_2 anatas yang didoping besi (III). Berdasarkan Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa TiO_2 anatas yang semula berwarna putih setelah ditambahkan dopan besi (III) berubah warna menjadi kekuningan, di mana semakin komposisi banyak besi (III) menghasilkan warna kuning yang semakin pekat.

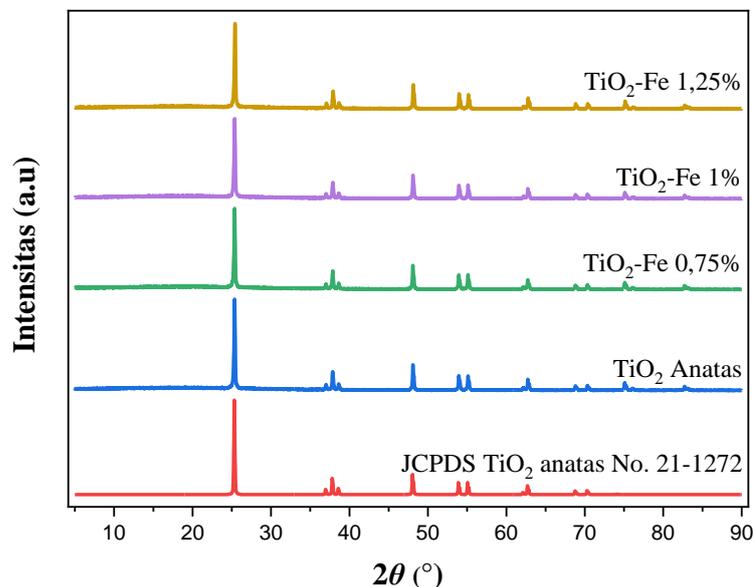


Gambar 4.1 (a) TiO_2 anatas; (b) $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ 0,75%; (c) $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ 1,0%; (d) $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ 1,25%.

4.1.1 Hasil Analisis Struktur Fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ Menggunakan XRD

Karakterisasi menggunakan instrumentasi XRD digunakan untuk mengetahui komposisi fasa kristal dan ukuran kristal dari material hasil sintesis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$, dengan cara membandingkan dengan standar TiO_2 anatas dari *Joint Commite on Powder Diffraction Standards* (JCPDS) no. 21-1272. Pada proses analisis dengan XRD, digunakan radiasi monokromator sinar-X Cu ($1,54060$) Å dengan scanning dilakukan pada sudut $2\theta(^{\circ}) = 5\text{-}90$. Gambar 4.2 menunjukkan

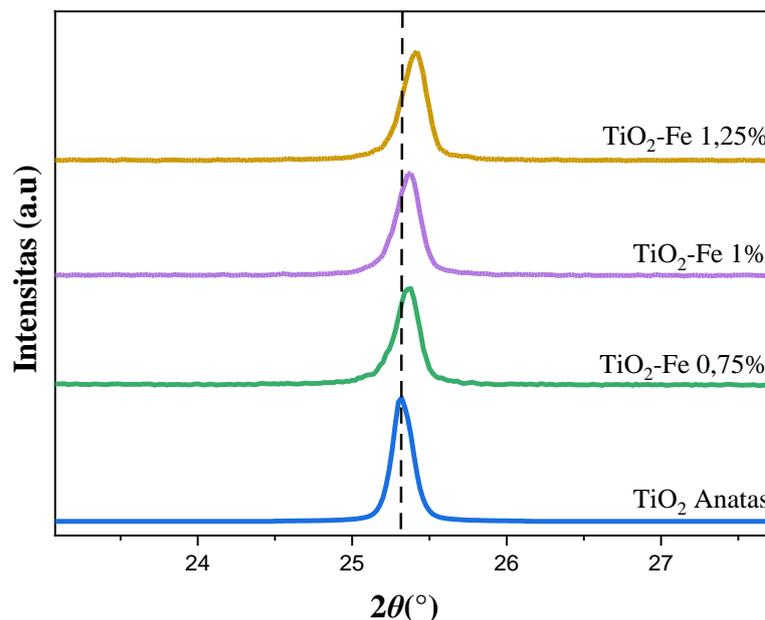
pola hasil difraksi sinar-X dari sampel TiO_2 anatase, $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ variasi komposisi 0,75%; 1,0%; dan 1,25%.



Gambar 4.2 Difraktogram hasil XRD JCPDS TiO_2 anatase No. 21-1272, TiO_2 anatase sampel, dan $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ (0,75%; 1,0%; 1,25%).

Hasil karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan bahwa material hasil sintesis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ memiliki karakteristik puncak khas $2\theta(^{\circ}) = 25, 37, 38, 48, 53, 55, 62, 68, \text{ dan } 70$. Puncak khas dengan nilai intensitas tertinggi yaitu pada posisi $2\theta(^{\circ}) = 25,35$ untuk $\text{TiO}_2\text{-Fe } 0,75\%$, $2\theta(^{\circ}) = 25,37$ untuk $\text{TiO}_2\text{-Fe } 1,0\%$, dan $2\theta(^{\circ}) = 25,40$ untuk $\text{TiO}_2\text{-Fe } 1,25\%$, di mana nilai tersebut sesuai dengan puncak khas dari standar JCPDS TiO_2 anatase no. 21-1272 yaitu pada $2\theta(^{\circ}) = 25,271$. Hasil tersebut juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Pratiwi, dkk. (2020) bahwa TiO_2 anatase memiliki puncak khas dengan nilai intensitas tertinggi pada $2\theta(^{\circ}) = 25,22$ dan $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ pada $2\theta(^{\circ}) = 25,30$. Puncak-puncak khas yang tampak pada difraktogram sampel menunjukkan bahwa penambahan dopan Fe (III) tidak mengubah fasa kristal pada TiO_2 anatase. Selain itu pada difraktogram tidak terbentuk puncak lain selain puncak khas TiO_2 akibat adanya penambahan besi

(III) pada TiO_2 , hal ini diduga karena konsentrasi besi (III) yang digunakan terlalu kecil (Pratiwi, dkk., 2020).



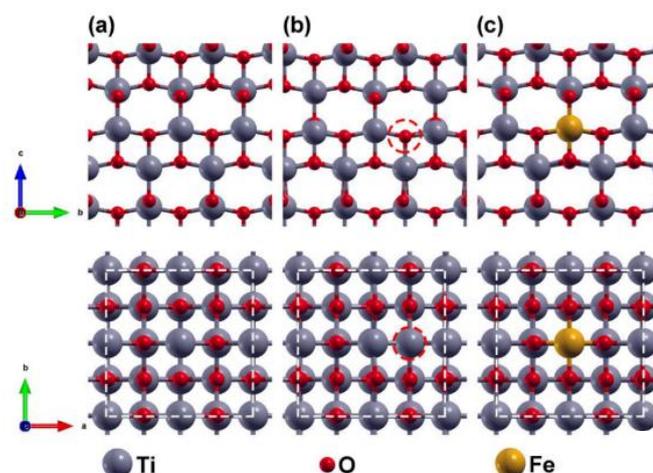
Gambar 4.3 Perbesaran difraktogram XRD sampel TiO_2 anatas, dan TiO_2 -Fe (0,75%; 1,0%; 1,25%).

Berdasarkan perbesaran puncak difraktogram pada Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa penambahan besi (III) pada TiO_2 memberikan pengaruh terhadap pergeseran pada posisi $2\theta(^{\circ}) = 25$. Adanya pergeseran dikarenakan adanya distorsi struktural akibat substitusi ion Ti^{4+} oleh ion Fe^{3+} yang memiliki jari-jari atom berbeda (Moalej, dkk., 2019). Penambahan dopan besi (III) menyebabkan pergeseran puncak difraksi ke arah 2θ yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena adanya indikasi perubahan jarak antar kisi kristal (Pratiwi, dkk., 2020). Data jarak antar kisi (d) dan ukuran kristal (D) yang dihitung menggunakan persamaan Debye-Scherrer dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Jarak antar kisi dan ukuran kristal TiO₂ anatas dan TiO₂-Fe (0,75%; 1,0%; 1,25%).

Fotokatalis	Jarak antar kisi (nm)	Ukuran kristal (nm)
TiO ₂ anatas	0,3512	67,0090
TiO ₂ -Fe 0,75%	0,3509	52,2648
TiO ₂ -Fe 1,0%	0,3507	48,8320
TiO ₂ -Fe 1,25%	0,3502	48,9454

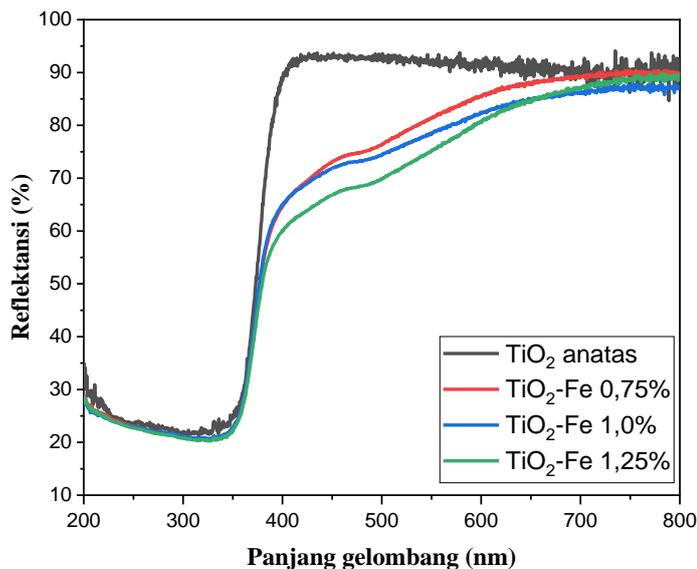
Berdasarkan tabel 4.1 dapat diketahui ukuran kristal dari masing-masing sampel, dimana TiO₂ anatas memiliki ukuran kristal yang paling besar dan dengan adanya penambahan besi (III) yang semakin banyak maka ukuran kristal semakin kecil. Terjadinya penurunan ukuran kristal disebabkan karena menurunnya keteraturan dari kisi kristal. Hal ini dikarenakan ketika ion Fe³⁺ masuk ke dalam struktur kristal TiO₂ menghasilkan beberapa derajat deformasi kisi akibat perbedaan jari-jari ion Fe³⁺ dengan Ti⁴⁺. Adanya deformasi kisi menyebabkan pertumbuhan butiran menjadi terhambat, sehingga terjadi penurunan ukuran kristal secara keseluruhan (Othman, dkk., 2011). Perbandingan struktur kristal TiO₂ anatas dan TiO₂ terdoping Fe menurut Yang *et al* (2021) ditunjukkan pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 Struktur kristal TiO₂ (a), TiO₂ dengan kekosongan oksigen (b), dan TiO₂ terdoping Fe (Yang *et al.*, 2021)

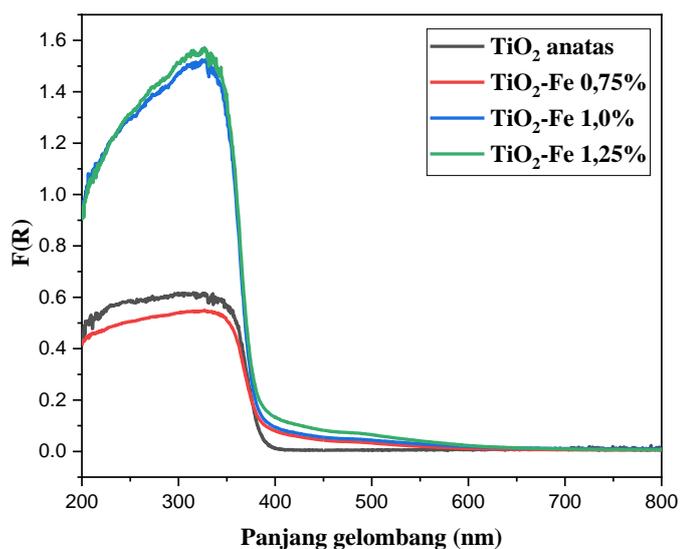
4.1.2 Hasil Analisis Daerah Serapan dan Energi Celah Pita Menggunakan UV-Vis DRS

Karakterisasi menggunakan UV-Vis/DRS bertujuan untuk mengidentifikasi daerah serapan sinar dan energi celah pita material hasil sintesis TiO₂-Fe. Karakterisasi juga dilakukan pada TiO₂ anatas sebagai pembanding dari material TiO₂-Fe yang telah disintesis. Dari hasil karakterisasi menggunakan UV-Vis/DRS didapatkan 3 plot grafik. Grafik pertama merupakan grafik hubungan antara nilai %reflektansi dengan panjang gelombang yang ditunjukkan oleh Gambar 4.5. Dapat diamati pada panjang gelombang 200-400 nm sampel TiO₂-Fe 0,75%; 1,0%; 1,25% dan TiO₂ anatas memiliki % reflektansi yang sama. Kemudian terdapat perubahan yang signifikan pada daerah sinar tampak (400-800 nm) dimana TiO₂ anatas memiliki nilai reflektansi lebih tinggi dibandingkan TiO₂-Fe. Sampel yang memiliki nilai %reflektansi paling tinggi ke rendah berturut-turut adalah TiO₂ anatas, TiO₂-Fe 0,75%; TiO₂-Fe 1,0%; dan TiO₂-Fe 1,25%. Nilai reflektansi berbanding terbalik dengan nilai absorbansi, sehingga mengindikasikan bahwa TiO₂-Fe 1,25% memiliki kemampuan absorbansi paling tinggi pada rentang panjang gelombang 400-800 nm dibandingkan dengan TiO₂-Fe 1,0%; TiO₂-Fe 0,75%; dan TiO₂ anatas. Perubahan nilai reflektansi tersebut mengindikasikan adanya doping Fe dapat meningkatkan kemampuan absorpsi dari TiO₂ ke daerah panjang gelombang yang lebih besar, karena penambahan konsentrasi Fe³⁺ mengakibatkan jumlah foton sinar tampak yang diserap semakin banyak (Pratiwi dkk., 2020)



Gambar 4.5 Grafik hubungan nilai %reflektansi dengan panjang gelombang.

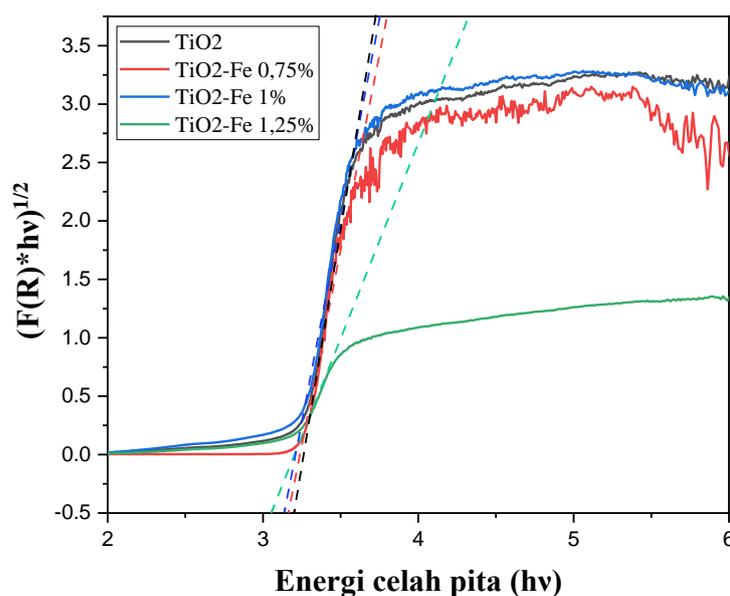
Grafik kedua yaitu mengenai hubungan faktor kubelka-munk ($f(R)$) dengan panjang gelombang yang disajikan pada Gambar 4.6. Faktor kubelka-munk sebanding dengan koefisien absorpsi per *scattering* (k/s) di mana nilai $F(R)$ diperoleh dari persamaan matematis $F(R) = (1-R)^2/2R$. Analisis hubungan faktor kubelka-munk ($f(R)$) dengan panjang gelombang bertujuan untuk mempelajari sifat serapan sampel padatan.



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara $F(R)$ dengan panjang gelombang.

Berdasarkan Gambar 4.6 dapat diamati bahwa pada daerah rentang panjang gelombang 200-400 nm TiO₂-Fe 1,25% memiliki nilai F(R) yang paling tinggi dan hampir sama dengan TiO₂-Fe 1,0% kemudian diikuti TiO₂-Fe 0,75% dan TiO₂ anatas. Begitu juga pada daerah rentang panjang gelombang 400-800, TiO₂-Fe 1,25% memiliki nilai F(R) yang paling tinggi dibandingkan dengan TiO₂-Fe 1,0%; TiO₂-Fe 0,75%; dan TiO₂ anatas. Hal ini mengindikasikan bahwa TiO₂-Fe 1,25% memiliki aktivitas fotokatalitik yang optimum untuk menaikkan tingkat absorpsi pada daerah sinar tampak sehingga material fotokatalis dapat diaplikasikan secara efektif dengan memanfaatkan sinar matahari.

Grafik selanjutnya yaitu grafik hubungan antara $(F(R)*hv)^{1/2}$ dengan energi celah pita (hv) yang ditunjukkan pada Gambar 4.7. Grafik tersebut digunakan untuk mengetahui energi celah pita dari material hasil sintesis. Nilai energi celah pita dapat diperoleh dengan memplotkan garis lurus yang memotong sumbu x pada grafik hubungan antara $(F(R)*hv)^{1/2}$ dengan energi celah pita (hv). Hasil penentuan energi celah pita dapat dilihat pada tabel 4.2.



Gambar 4.7 Grafik energi celah pita TiO₂ dan TiO₂-Fe (0,75%; 1,0%; 1,25%).

Tabel 4.2 Energi celah pita TiO₂ dan TiO₂-Fe (0,75%; 1,0%; 1,25%)

Sampel	Energi celah pita (eV)	Panjang Gelombang (nm)
TiO ₂ anatas	3,20	387,76
TiO ₂ -Fe 0,75%	3,17	391,43
TiO ₂ -Fe 1,0%	3,13	396,43
TiO ₂ -Fe 1,25%	3,08	402,86

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa sampel TiO₂ anatas memiliki energi celah pita sebesar 3,20 eV, sedangkan material hasil sintesis TiO₂-Fe mengalami penurunan energi celah pita, di mana TiO₂-Fe 0,75% memiliki nilai energi celah pita 3,17 eV, TiO₂-Fe 1,0% memiliki nilai energi celah pita 3,13 eV dan TiO₂-Fe 1,25% memiliki energi celah pita sebesar 3,08 eV. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak komposisi besi (III) yang ditambahkan maka energi celah pita akan semakin kecil. Hasil yang diperoleh pada penelitian sesuai dengan Linsebigler, et al. (1995) bahwa material TiO₂ memiliki energi celah pita sebesar 3,0-3,3 eV. Pada penelitian lainnya yang dilakukan oleh Lonicha (2021) menyebutkan bahwa penambahan dopan besi (III) pada TiO₂ sebanyak 1,2% dapat menurunkan energi celah pita yang semula 3,17 eV menjadi 2,95 eV.

Nilai energi celah pita menurun seiring dengan bertambahnya komposisi besi (III) yang terkandung dalam TiO₂. Hal ini disebabkan karena semakin banyak ion Fe³⁺ yang mensubstitusi Ti⁴⁺ dalam struktur TiO₂ (Pratiwi, dkk., 2020). Menurut Li, et al., (2008) adanya penambahan dopan besi (III) ke dalam matriks TiO₂ dapat meningkatkan absorbansi sinar ke daerah sinar tampak. TiO₂-Fe 1,25% memiliki energi celah pita lebih kecil dibandingkan TiO₂-Fe 0,75% dan 1,0%. Semakin kecil energi celah pita dapat meningkatkan efektivitas fotokatalis dalam

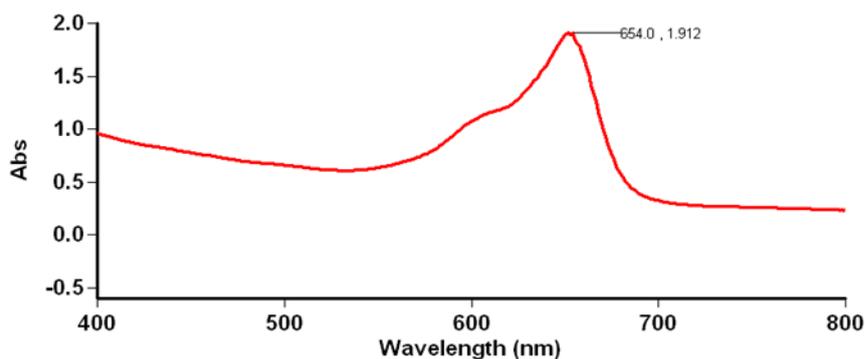
mendegradasi molekul organik karena energi yang dibutuhkan oleh elektron untuk eksitasi dari pita valensi ke pita konduksi menjadi lebih kecil. Ketika terjadi eksitasi elektron ke pita konduksi akan terbentuk *hole* pada pita valensi yang akan membentuk radikal $\cdot\text{OH}$ ketika bereaksi dengan air. Reaksi pelepasan elektron berjalan relatif cepat ketika energi celah pita kecil, akibatnya radikal $\cdot\text{OH}$ yang dihasilkan relatif lebih banyak sehingga aktivitas fotodegradasinya pun meningkat (Anggraini dan Pujilestari, 2017).

4.2 Pengukuran Konsentrasi Fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS)

Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis

4.2.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Natrium Lauril Sulfat (NaLS)

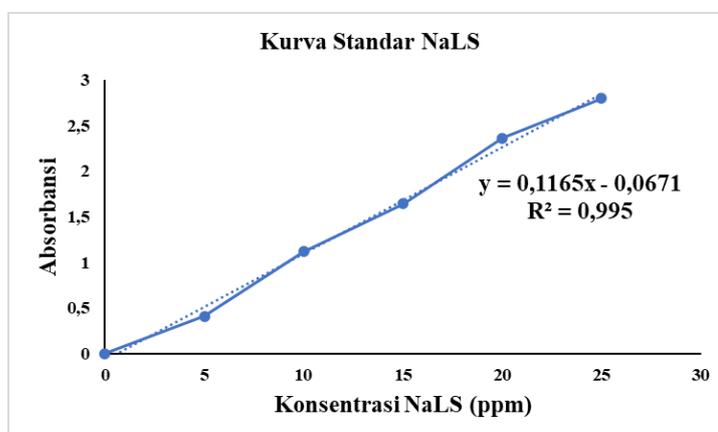
Panjang gelombang maksimum merupakan panjang gelombang di mana senyawa memberikan penyerapan paling tinggi. Penentuan panjang gelombang maksimum Natrium Lauril Sulfat (NaLS) dilakukan untuk mendapatkan nilai absorbtivitas yang memberikan sensitivitas pengukuran tertinggi sehingga meminimalkan kesalahan pembacaan. Penentuan panjang gelombang maksimum NaLS dilakukan dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada rentang panjang gelombang 200-600 nm. Penentuan panjang gelombang NaLS dilakukan dengan metode MBAS dan hasil akhir dari metode MBAS memiliki warna biru. Konsentrasi NaLS yang digunakan adalah 25 ppm dengan pelarut kloroform. Berdasarkan Gambar 4.8 dapat diketahui bahwa NaLS memiliki panjang gelombang optimum sebesar 654 nm. Hal ini cukup sesuai dengan penelitian Pristantho (2011), dimana panjang gelombang maksimum NaLS yang direaksikan dengan metilen biru yaitu sebesar 652 nm.



Gambar 4.8 Grafik panjang gelombang maksimum NaLS.

4.2.2 Pembuatan Kurva Standar Natrium Lauril Sulfat (NaLS)

Pembuatan kurva standar Natrium Lauril Sulfat (NaLS) dilakukan dengan mengukur absorbansi NaLS dengan variasi konsentrasi 5, 10, 15, 20, dan 25 ppm pada panjang gelombang maksimum 654 nm. Penentuan konsentrasi NaLS juga dilakukan dengan metode MBAS, dan blanko yang digunakan berupa kloroform. Penentuan kurva standar dilakukan untuk menentukan hubungan linearitas antara konsentrasi suatu zat dengan absorbansi. Hasil absorbansi yang telah diperoleh kemudian dibuat grafik sehingga didapatkan persamaan regresi ($y = ax + b$) di mana y merupakan absorbansi dan x merupakan konsentrasi NaLS. Persamaan yang didapatkan kemudian digunakan untuk mengetahui konsentrasi terukur dari NaLS. Hasil pengukuran kurva standar NaLS ditunjukkan pada Gambar 4.9.

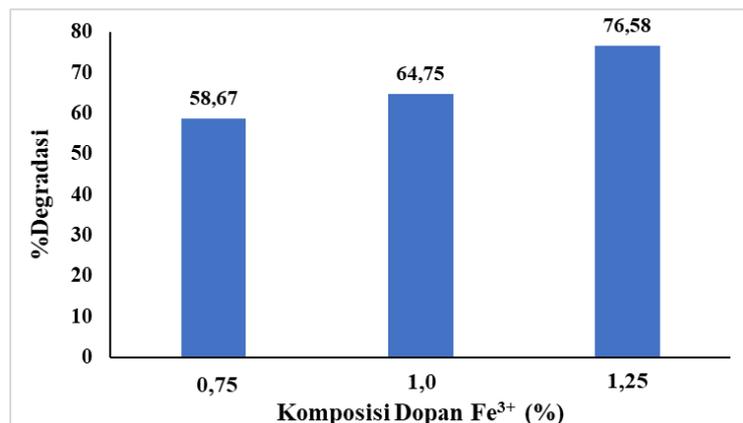


Gambar 4.9 Kurva standar NaLS.

Berdasarkan Gambar 4.9 dapat diketahui bahwa nilai absorbansi meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi larutan NaLS. Hal ini sesuai dengan hukum Lambert-Beer yaitu radiasi cahaya yang diserap atau ditransmisikan oleh larutan akan sebanding dengan konsentrasi larutan tersebut. Dari kurva standar, didapatkan nilai regresi linear yaitu $y = 0,1165x - 0,0671$ dengan nilai $R^2 = 0,995$, di mana y adalah absorbansi dan x adalah konsentrasi NaLS. Nilai koefisien regresi R^2 yang mendekati 1 menunjukkan hubungan antara konsentrasi dan absorbansi sangat linier sehingga dapat dijadikan acuan dalam menentukan konsentrasi NaLS saat uji fotodegradasi.

4.2.3 Pengaruh Komposisi Dopan Fe terhadap Fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS)

Pada penelitian ini digunakan variasi komposisi dopan Fe^{3+} pada fotokatalis TiO_2 untuk mengetahui pengaruh dari penambahan dopan Fe dalam mendegradasi NaLS yang dapat menghasilkan persentase degradasi tertinggi. Variasi komposisi dopan Fe^{3+} yang digunakan yaitu konsentrasi besi 0,75%; 1,0%; dan 1,25%. Fotodegradasi dilakukan dengan bantuan sinar tampak dari lampu halogen 20 watt. Konsentrasi awal larutan NaLS adalah 25 ppm sebanyak 25 mL dan massa katalis 275 mg dengan lama waktu penyinaran 180 menit. Selama proses degradasi dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* agar semua bagian fotokatalis dapat terkena oleh sinar dan memaksimalkan interaksi antara fotokatalis dengan senyawa target. Pengukuran konsentrasi NaLS dilakukan dengan metode MBAS dan didapatkan hasil %degradasi pada Gambar 4.10 berikut.



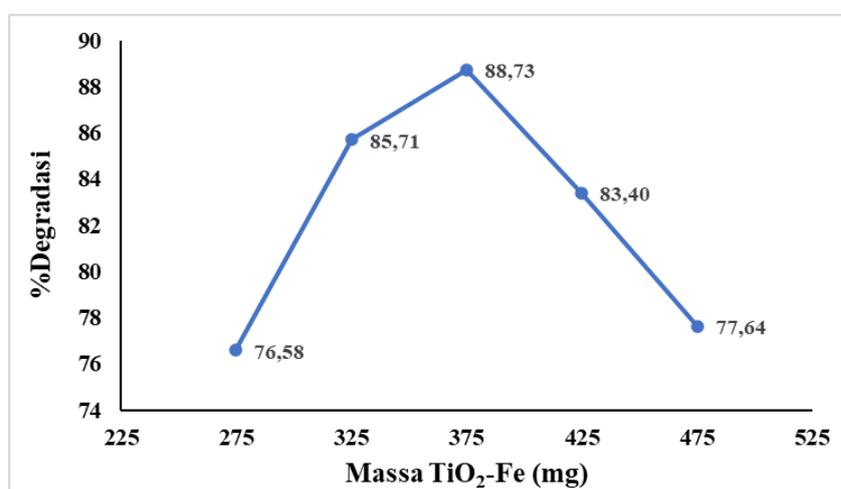
Gambar 4.10 Grafik hasil degradasi NaLS dengan variasi komposisi dopan.

Berdasarkan Gambar 4.10 dapat diketahui pengaruh komposisi dopan besi terhadap %degradasi NaLS, dimana %degradasi terus meningkat seiring dengan meningkatnya komposisi dopan Fe. Pada komposisi dopan 0,75%; 1,0%; dan 1,25% nilai % degradasi NaLS berturut-turut adalah 58,67%; 64,75%; dan 76,58%. Peningkatan nilai %degradasi terjadi karena adanya penambahan dopan Fe ke dalam matriks TiO₂ akan meningkatkan absorpsi sinar ke daerah panjang gelombang yang lebih besar (daerah sinar tampak). Selain itu, tingginya %degradasi pada TiO₂-Fe 1,25% disebabkan karena pada konsentrasi 1,25 % memiliki nilai energi celah pita yang lebih kecil daripada TiO₂-Fe 0,75% dan TiO₂-Fe 1,0% sehingga energi yang dibutuhkan untuk eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi lebih kecil. Akibatnya, proses degradasi NaLS lebih mudah terjadi (Pratiwi, dkk., 2020).

4.2.4 Pengaruh Massa Katalis TiO₂-Fe terhadap Fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS)

Pada penelitian ini dilakukan variasi massa fotokatalis TiO₂-Fe untuk mengetahui pengaruh dari massa katalis dalam mendegradasi NaLS. Variasi massa katalis yang digunakan adalah 275, 325, 375, 425, dan 475 mg dan

dilakukan dengan menggunakan komposisi dopan Fe optimum, yaitu $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ 1,25%. Sumber sinar yang digunakan berupa lampu halogen 20 watt. Konsentrasi awal larutan NaLS adalah 25 ppm sebanyak 25 ml dengan lama waktu penyinaran 180 menit. Selama proses degradasi juga dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* agar semua bagian fotokatalis dapat terkena oleh sinar dan memaksimalkan interaksi antara fotokatalis dengan senyawa target. Pengukuran konsentrasi NaLS dilakukan dengan metode MBAS dan didapatkan hasil %degradasi pada Gambar 4.11 berikut.



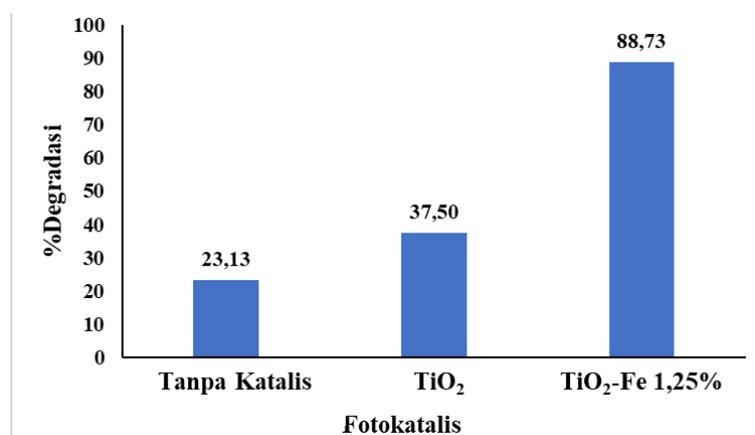
Gambar 4.11 Grafik hasil degradasi NaLS dengan variasi massa katalis.

Berdasarkan Gambar 4.11 dapat diketahui nilai %degradasi NaLS dengan variasi massa katalis 275, 325, 375, 425, dan 475 mg berturut-turut adalah 76,58%; 85,71%; 88,73%; 83,40%; dan 77,64%. Hasil uji menunjukkan semakin besar massa fotokatalis maka nilai % degradasi semakin meningkat. Akan tetapi pada penambahan massa katalis sebesar 425 dan 475 mg, % degradasi mengalami penurunan. Pada penambahan massa katalis sebesar 275, 325, 375 mg %degradasi mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan penambahan katalis akan meningkatkan kemungkinan terbentuknya pasangan *electron/hole* untuk

mendegradasi surfaktan (Shirsath, et al., 2013). Pristantho menyebutkan penambahan katalis sebanding dengan $\cdot\text{OH}$ yang dihasilkan. Semakin banyak katalis yang ditambahkan maka $\cdot\text{OH}$ yang terbentuk akan semakin banyak akibat banyaknya elektron yang tereksitasi ke pita konduksi, sehingga surfaktan lebih mudah terdegradasi. Namun ketika penambahan fotokatalis melebihi jumlah optimum akan menurunkan tingkat degradasi surfaktan. Menurut Astuti (2018) penambahan fotokatalis yang berlebih menyebabkan kekeruhan sehingga sinar atau energi foton yang akan masuk ke sisi aktif pada permukaan fotokatalis saat melakukan fotodegradasi akan terhalangi. Hal inilah yang mengakibatkan penurunan %degradasi NaLS jika ditambahkan massa katalis melebihi kondisi optimumnya.

4.2.5 Uji Efektivitas Fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS)

Uji efektivitas fotokatalis dilakukan untuk mengetahui efektivitas dari beberapa variasi kondisi saat mendegradasi NaLS. Komposisi dan massa yang digunakan yaitu pada kondisi optimum 1,25% dan 375 mg dengan lama waktu penyinaran 180 menit. Pengukuran konsentrasi NaLS dilakukan dengan metode MBAS dan didapatkan hasil %degradasi pada Gambar 4.12 berikut.



Gambar 4.12 Grafik hasil uji efektivitas fotokatalis.

Berdasarkan Gambar 4.12 dapat diketahui bahwa aktivitas fotokatalis dan %degradasi tertinggi diperoleh pada kondisi fotodegradasi menggunakan $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ 1,25% yang menghasilkan persen degradasi sebesar 88,73%. Fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mendegradasi NaLS karena adanya penambahan dopan Fe ke dalam matriks TiO_2 akan meningkatkan absorpsi sinar ke daerah panjang gelombang yang lebih besar (daerah sinar tampak). Hal tersebut membuat $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ memiliki nilai energi celah pita yang lebih kecil. Apabila nilai energi celah pita kecil maka energi yang dibutuhkan elektron untuk tereksitasi ke pita konduksi lebih kecil sehingga pembentukan $\cdot\text{OH}$ akan semakin mudah dan efektivitas fotokatalis dalam mendegradasi surfaktan akan semakin meningkat. Hal ini sesuai dengan penelitian Pratiwi, dkk. (2020) di mana penambahan dopan Fe pada TiO_2 menghasilkan aktivitas fotokatalis yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan TiO_2 yang tidak didoping.

Hasil fotodegradasi menggunakan katalis TiO_2 tanpa dopan menunjukkan aktivitas degradasi sebesar 37,50% di mana nilai yang didapatkan lebih rendah dibandingkan dengan $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ 1,25%. Hal tersebut dikarenakan $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ 1,25% memiliki nilai energi celah pita yang lebih kecil daripada TiO_2 , sehingga energi yang dibutuhkan untuk eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi lebih kecil. Ketika TiO_2 dikenai sinar, elektron akan tereksitasi ke pita konduksi dan akan meninggalkan *hole* pada pita valensi yang akan terikat pada permukaan TiO_2 dan membentuk radikal $\cdot\text{OH}$ ketika bereaksi dengan air. Reaksi pembentukan radikal $\cdot\text{OH}$ dan pelepasan elektron ini berjalan relatif cepat sehingga jumlah radikal $\cdot\text{OH}$ dan elektron yang dihasilkan relatif lebih banyak jika dibandingkan tanpa menggunakan katalis. Hal inilah yang menjelaskan peningkatan aktivitas

photodegradation of NaLS with the presence of TiO_2 is larger than without catalyst (Anggraini and Pujilestari, 2017).

Furthermore, in the photodegradation of NaLS without catalyst, the activity of degradation is 23.13%. This occurs due to the breakdown of water molecules when irradiated by photons, resulting in hydroxyl radicals and hydrogen that can degrade organic molecules. However, in the reaction of photolysis of water, the formation of hydroxyl radicals is relatively difficult, so the hydroxyl radicals produced are a little (Anggraini and Pujilestari, 2017). This causes the degradation process of NaLS to be slow and the percentage of degradation is low, namely 23.13%. This value is smaller if compared with photodegradation using catalyst TiO_2 or $\text{TiO}_2\text{-Fe}$. This proves that the addition of catalyst $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ 1.25% is more effective for degrading NaLS solution compared with TiO_2 or without catalyst.

4.3 Photocatalysis for Waste Treatment in Islamic Perspective

Waste detergent containing surfactant Sodium Lauril Sulfate (NaLS) in large quantities if thrown into the environment directly and continuously without treatment will have a bad impact on humans and the environment. One of the ways to reduce the danger of surfactant waste is by degrading waste using photocatalysis with the help of light. In this research, the use of photocatalysis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ is proven to be able to degrade surfactant NaLS. It is known that iron can increase the activity of photocatalysis TiO_2 in degrading surfactant waste by lowering the band gap energy. In fact, when the band gap energy is low, the degradation process will be more effective. Iron is a strong and useful metal for humans. Allah Almighty in Surah al-Hadid (63) verse 25 says:

لَقَدْ أَرْسَلْنَا رُسُلَنَا بِالْبَيِّنَاتِ وَأَنْزَلْنَا مَعَهُمُ الْكِتَابَ وَالْمِيزَانَ لِيُقُومَ النَّاسُ بِالْقِسْطِ وَأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَافِعُ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ اللَّهُ مَن يَنْصُرُهُ وَرُسُلَهُ بِالْغَيْبِ إِنَّ اللَّهَ قَوِيٌّ عَزِيزٌ ﴿٢٥﴾

Artinya: “Sungguh, Kami telah mengutus rasul-rasul Kami dengan bukti-bukti yang nyata dan kami turunkan bersama mereka kitab dan neraca (keadilan) agar manusia dapat berlaku adil. Dan Kami menciptakan besi yang mempunyai kekuatan, hebat dan banyak manfaat bagi manusia, dan agar Allah mengetahui siapa yang menolong (agama)-Nya dan rasul-rasul-Nya walaupun (Allah) tidak dilihatnya. Sesungguhnya Allah Maha Kuat, Maha Perkasa.” (QS. al-Hadid: 25)

Ayat di atas menerangkan bahwa Allah menganugerahkan besi kepada manusia sebagai sesuatu yang tidak terhingga nilai dan manfaatnya. Besi merupakan salah satu unsur yang paling mudah ditemukan di bumi. Pada umumnya besi terdapat dalam komponen unsur kimia lain seperti dalam oksida, sulfida, zat arang, dan silikon. Kebanyakan besi ditemukan dalam bentuk oksida besi seperti bahan galian hematit, magnetit, dan takonit. Abdullah (2004), dalam tafsir Ibnu Katsir menjelaskan bahwa besi mempunyai kekuatan yang hebat dan banyak bermanfaat bagi kehidupan manusia, seperti (bahan membuat) mata bajak, kampak, gergaji dan alat-alat untuk bertenun, berladang, memasak, dan apa pun yang manusia tidak akan dapat beraktifitas kecuali dengan menggunakan alat tersebut. Pada penelitian ini, besi dimanfaatkan sebagai dopan dalam material fotokatalis TiO_2 untuk menurunkan energi celah pita sehingga material TiO_2 -Fe lebih efektif dalam mendegradasi limbah surfaktan NaLS.

Pada penelitian ini material fotokatalis TiO_2 -Fe disintesis dengan tiga variasi komposisi yaitu 0,75%; 1,0%, dan 1,25%. Nilai %degradasi yang dihasilkan berturut-turut adalah sebesar 58,67; 64,75; dan 76,58%. Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin banyak komposisi dopan Fe^{3+} yang ditambahkan akan meningkatkan aktivitas degradasi surfaktan NaLS, dan komposisi dopan Fe^{3+} yang optimum adalah 1,25%. Selain itu juga dilakukan uji

aktivitas degradasi dengan variasi massa fotokatalis, di mana variasi massa yang digunakan adalah 2,75; 3,25; 3,75; 4,25; dan 4,75 mg. Pada penambahan fotokatalis sebanyak 2,75; 3,25; 3,75 mg nilai %degradasi mengalami peningkatan, namun pada penambahan fotokatalis sebanyak 4,25 dan 4,75 mg terjadi penurunan nilai %degradasi. Oleh sebab itu perlu ditentukan kadar atau ukuran yang tepat dari fotokatalis agar proses fotodegradasi terjadi lebih optimal. Sebagaimana firman Allah dalam surah al-A'la (87) ayat 2-3:

الَّذِي خَلَقَ فَسَوَّىٰ ﴿٢﴾ وَالَّذِي قَدَّرَ فَهَدَىٰ ﴿٣﴾

Artinya: “Yang menciptakan, dan menyempurnakan (penciptaan-Nya), Dan yang menentukan kadar (masing-masing) dan memberi petunjuk.” (QS. al-A'la: 2-3)

Ayat di atas menjelaskan bahwa Allah menciptakan semua makhluk dan menyempurnakan setiap makhluk-Nya dalam bentuk yang paling baik. Allah pula yang menentukan segala sesuatu menurut bentuk dan ukuran yang tepat dan seimbang. Shihab (2002) dalam tafsir al-Misbah menjelaskan bahwa Allah yang Maha Tinggi, yang menciptakan semua makhluk dan menyempurnakan ciptaan-Nya. Dia juga yang menentukan kadar masing-masing serta memberi petunjuk, sehingga masing-masing akan dapat melaksanakan fungsi dan peranan yang dituntut darinya dalam rangka tujuan penciptaannya. Kata qaddara (قَدَّرَ) berasal dari kata qadara (قَدَرَ) yang berarti mengukur, memberi kadar atau ukuran. Setiap hal yang diciptakan Allah diberi kadar, ukuran serta batas-batas tertentu, sifat, dan kemampuan maksimalnya. Kita sebagai manusia berada di bawah hukum-hukum Allah sehingga segala yang kita lakukan pun tidak terlepas dari hukum-hukum yang telah mempunyai kadar dan ukuran tertentu.

Kenikmatan dunia merupakan bukti kekuasaan Allah yang seharusnya kita jaga. Manusia dengan kemampuan akal yang dimilikinya mampu menguasai ilmu pengetahuan dan memiliki kewajiban untuk menjaga, melestarikan alam semesta, dan memanfaatkan segala sesuatu yang telah diciptakan oleh Allah dengan baik sehingga dapat terhindar dari kerusakan alam, terutama pada lingkungan perairan.

Allah berfirman dalam surah Shad (38) ayat 29:

كِتَابٌ أَنْزَلْنَاهُ إِلَيْكَ مُبَارَكٌ لِيَدَّبَّرُوا آيَاتِهِ وَلِيَتَذَكَّرَ أُولُو الْأَلْبَابِ ﴿٢٩﴾

Artinya: “(Al-Qur’an ini adalah) kitab yang Kami turunkan kepadamu (Nabi Muhammad) yang penuh berkah supaya mereka menghayati ayat-ayatnya dan orang-orang yang berakal sehat mendapat pelajaran.” (QS. Shad: 29)

Allah menjelaskan bahwa Dia telah menurunkan Al-Qur'an kepada Rasulullah saw dan para pengikutnya. Al-Qur'an adalah kitab yang sempurna, mengandung bimbingan yang sangat bermanfaat kepada umat manusia untuk menuntun manusia agar hidup sejahtera di dunia dan berbahagia di akhirat. Al-Qur'an diturunkan dengan maksud agar direnungkan kandungan isinya, kemudian dipahami dengan pengertian yang benar, lalu diamalkan sebagaimana mestinya. Pengertian yang benar diperoleh dengan jalan mengikuti petunjuk-petunjuk rasul, dengan dibantu ilmu pengetahuan yang dimiliki, baik yang berhubungan dengan bahasa ataupun perkembangan masyarakat (Tafsir Kemenag, 2017). Dengan demikian, melalui penelitian ini yang memanfaatkan ciptaan Allah yang penggunaannya disesuaikan kadarnya yaitu TiO₂-Fe untuk mendegradasi limbah surfaktan bertujuan untuk menjaga dan memperbaiki ciptaan-Nya sehingga tercapai kehidupan yang lebih baik, aman, dan nyaman.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Hasil karakterisasi $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ menggunakan XRD menunjukkan tidak ada perbedaan struktur kristal pada TiO_2 anatas dan $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ serta tidak terdapat puncak baru setelah penambahan dopan besi (III), dan hasil UV/Vis DRS menunjukkan semakin tinggi konsentrasi besi (III) yang ditambahkan, nilai energi celah pita semakin kecil.
2. Semakin tinggi komposisi dopan besi (III), maka aktivitas fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS) akan semakin meningkat. Pada penelitian ini komposisi dopan optimum dalam fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS) yaitu sebesar 1,25% dengan nilai %degradasi sebesar 76,58%.
3. Semakin besar massa fotokatalis, maka aktivitas fotodegradasi akan semakin meningkat, akan tetapi penambahan fotokatalis yang berlebih akan menurunkan efektivitas fotodegradasi. Massa fotokatalis optimum pada komposisi dopan optimum ($\text{TiO}_2\text{-Fe}$ 1,25%) dalam fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS) adalah 375 mg dengan nilai %degradasi sebesar 88,73%.
4. Penambahan fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ meningkatkan efektivitas fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS). Penambahan fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ menghasilkan nilai %degradasi sebesar 88,73% sedangkan tanpa penambahan fotokatalis menghasilkan nilai %degradasi sebesar 23,13%.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengetahui ukuran partikel fotokatalis TiO₂-Fe, di mana ukuran partikel juga mempengaruhi aktivitas fotodegradasi.
2. Perlu dilakukan penambahan variasi pada komposisi dopan besi (III) karena pada konsentrasi dopan 1,25% masih terjadi peningkatan aktivitas degradasi.
3. Perlu dilakukan uji BET untuk menentukan luas permukaan fotokatalis di mana luas permukaan fotokatalis juga mempengaruhi efektivitas fotodegradasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah bin Muhammad. 2004. Tafsir Ibnu Katsir. Bogor: Pustaka Imam Asy Syafii.
- Abdullah, M., Khairurrijal, K. and Khairurrijal, K., 2009. Karakterisasi Nanomaterial. *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*, 2(1): 1-9.
- Afrozi, A.S. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Katalis Non Komposit Berbasis Titania Untuk Produksi Hidrogen Dari Gliserol dan Air. *Skripsi*. Jakarta : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Ahmad, Jamil. 2008. Design of A Modified Low Cost Treatment System for The Recycling and Reuse of Laundry Waste Water. *ELSEVIER Resources, Conservation, and Recycling*, 52(7): 973-978.
- Aji, A. W. 2020. Analisis Surfaktan Anionik dengan Metode Spektrofotometri Menggunakan Metilen Biru Pada Sampel Limbah Inlet dan Outlet Di Laboratorium Kesehatan Daerah DKI Jakarta. *Laporan Tugas Akhir*. Fakultas MIPA, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Al Qurtubi, Abi Abdillah Muhammad Bin Ahmad Anshori. 1967. *Al-Jami' li ahkam al-Quran*. Mesir: Dar al-Kutub
- Ambati, R. and Parag R. G. 2018. Ultrasound Assisted Synthesis of Iron Doped TiO₂ Catalyst. *Ultrasonics Sonochemistry*, 40: 91-100.
- Ameta, R., M. S. Solanki, S. Benjamin, and S. C. Ameta. 2018. *Photocatalysis. In Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment. Emerging Green Chemical Technology*. London: Academic Press.
- Ameta, S. C., Pinki B. P., Pratibha R., and Bhawana S. 2000. Use of Titanium Dioxide as Photocatalyst for Photodegradation of Sodium Lauryl Sulfate. *J. Indian Chem. Soc.*, 77: 157-160
- Andari, N. D., & Wardhani, S. 2014. Fotokatalis TiO₂-Zeolit untuk Degradasi Metilen Biru. *Chemistry Progress*, 7(1): 9–14.
- Andriko, Nopri, Hardeli, dan Hary S. 2012. Penentuan Kondisi Optimum Jumlah Pelapisan dan Lama Penyinaran Proses Degradasi Zat Warna Methylene Blue Pada Reaktor Fotokatalitik TiO₂ dengan Penambahan SiO₂. *Chemistry Journal of State University of Padang*, 1(1): 42-47.
- Anggraini, D. I. dan Pujilestari I. 2017. Efektivitas Fotodegradasi Amoksilinyang Dikatalisis dengan TiO₂ dengan keberadaan Ion Ag(I). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 20(3): 105-109.
- Astuti, B. D. 2013. Pengaruh Sonikasi Terhadap Struktur dan Morfologi Nanopartikel Magnetik yang Disintesis dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Fisika Unand*, 2(3): 186-189.

- Astuti, F. 2018. Efek Fotodegradasi pada Pengolahan Surfaktan Anionik dari Limbah Laundry. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM*, 2(1): 19-24.
- Atkins, P. W., T. L Overton, J. P. Rourke, M. T. Weller, and F. A. Armstrong. 2010. *Shriver and Atkins' Inorganic Chemistry Fifth Edition*. Britain: Oxford University Press.
- Chen, Y.F., Lee, C.Y., Yeng, M.Y., dan Chiu, H. 2003. The Effect of Calcination Temperature on The Crystallinity of TiO₂ Nanopowders. *Journal of Crystal Growth*, 247 (3-4): 363-370.
- Cota, L. F., Licon, K. P. M., Lunz, J. D. N., Ribeiro, A. A., Morejon, L., Oliveira, M. V. D., dan Pereira, L. C. 2016. Hydroxyapatite Nanoparticles: Synthesis by Sonochemical Method and Assessment of Processing Parameters via Experimental Design. *Materials Science Forum*, 869: 896-901.
- Daulay, M. 2014. Degradasi Surfaktan Pada Limbah Laundry Menggunakan Fotokatalis TiO₂ dengan Variasi Berat TiO₂, pH dan Kecepatan Pengadukan. *Skripsi*. Fakultas MIPA. Universitas Andalas.
- Departemen Agama RI. 2010. *Al-Qur'an Dan Tafsirnya Jilid 4*. Jakarta: Lentera Abadi.
- Fatimah, Is dan Karna W. 2005. Sintesis TiO₂/Zeolit Sebagai Fotokatalis pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka Secara Adsorpsi-Fotodegradasi. *TEKNOIN*, 10(4): 257-267.
- Garcia, J. C., and Keiko T. 2003. Photocatalytic Degradation of Imazaquin in an Aqueous Suspension of Titanium Dioxide. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 155(1): 215-222.
- Garland, C.W., Nibler W., Shoemaker, David, P. 2003. *Experiments in Physical Chemistry*. New York: McCraw-Hill Companies Inc.
- Gupta, S. M. dan Manoj T. 2012. A Review on Synthesis of TiO₂ Nanoparticles by Solution Route. *Central European Journal of Chemistry*. 10(2): 279-294.
- Hendra, Eri B., A. Razak, dan Hary S. 2016. Photodegradation of Surfactant Compounds Using UV Rays with Addition of TiO₂ Catalyst in Laundry Waste. *Sainstek : Jurnal Sains Dan Teknologi*, 7(1): 59.
- Hindryawati, Noor. 2020. Fotokatalis dalam Pengolahan Limbah Tekstil. Yogyakarta: Deepublish.
- Ilyas, M., 2008. Lingkungan Hidup dalam Pandangan Islam. *Jurnal Sosial Humaniora*, 1(2): cat154-165.
- Ingenieur. 2011. Ultrasound Supported Electrodeposition of Metals and Preparation of Metal/Ceramic Composites, Colloidal Nanoparticles and Oxide Material. *Disertasi*. Serbia: Clausthal University of Technology.

- Inggarwati, E.D., Istighfarini, V.N. and Prasetyo, A. 2020. Sintesis Komposit $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{TiO}_2$ dengan Metode Sonikasi. *Jurnal Ilmu Dasar*, 21(2):81- 86.
- Ismunandar. 2006. *Padatan Oksida Logam Struktur, Sintesis dan Sifat-sifatnya*. Bandung: ITB.
- Jang, S. J., Kim, M. S., and Kim, B. W. 2005. Photodegradation of DDT with the photodeposited ferric ion on the TiO_2 film. *Water Research*, 39(10), 2178-2188.
- Kementerian Agama Republik Indonesia. 2017. Tafsir Ringkas KEMENAG.
- Khaki, M. R. D., Shafeeyan, M. S., Raman, A. A. A., Daud, W. M. A. W. 2017. Application of Doped Photocatalysts for Organic Pollutant Degradation – A Review. *Journal of Enviromental Management*. 198: 78 – 94.
- Khan, H., & Berk, D. 2013. Sol–Gel Synthesized Vanadium Doped TiO_2 Photocatalyst: Physicochemical Properties and Visible Light Photocatalytic Studies. *Journal of sol-gel science and technology*, 68(2): 180-192.
- Kittel, Charles. 1979. *Introduction to Solid State Physics Edisi 55*. India: Wiley Eastern Limited.
- Koga, M., Yamamichi, Y., Nomoto, Y., Irie, M., Tanimura, T., & Yoshinaga, T. 1999. Rapid Determination of Anionic Surfactants by Improved Spectrophotometric Method Using Methylene Blue. *Analytical Sciences*, 15(6).
- Li, Z., Shen, W., He, W. and Zu, X. 2008. Effect of Fe-Doped TiO_2 Nanoparticle Derived from Modified Hydrothermal Process on The Photocatalytic Degradation Performance on Methylene Blue. *Journal of hazardous materials*, 155(3): 590-594.
- Linsebigler, Amy, L. Guangquan, Lu, and John, T. 1995. Photocatalysis on TiO_2 Surfaces: Principles, Mechanisms, and Selected Results. *Chemical Reviews*, 95: 735-758.
- Lonicha, D. V. T. 2021. Pengaruh Lama Penyinaran Terhadap Aktivitas Degradasi *Methyl Violet* Menggunakan Fotokatalis TiO_2 Terdoping Besi (III). *Skripsi*. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Malang.
- Mareta, A. dan Qomarudin H. 2015. Degradasi Surfaktan Sodium Lauryl Sulfat dengan Proses Fotokatalis Menggunakan Nano Partikel ZnO . *Jurnal Teknik Lingkungan*, 21(1):1-8.
- Methods for Assessing Surface Cleanliness. 2019. *Developments in Surface Contamination and Cleaning*, Volume 12, 23–105.
- Miarti, A. dan Leni L. 2022. Ketidakpastian Pengukuran Analisa Kadar Biuret, Kadar Nitrogen, Dan Kadar Oil Pada Pupuk Urea Di Laboratorium

- Kontrol Produksi Pt Pupuk Sriwidjaja Palembang. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 2(3): 861-874.
- 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): 133-141.
- Mulyono, A. 2007. *Cahaya di Atas Cahaya: Kajian Cahaya Perspektif Fisika dan Tasawuf*. Malang: UIN Maliki Press.
- Mustofa, K., Aini, N., Ningsih, R. 2015. Synthesis and Characterization Titanium Dioxide (TiO₂) Doped Vanadium (V) Using Solid State Method, *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, 4(1): 44- 49.
- Naeem, K. and Feng, O. 2009. Effect of Calcination on Photocatalytic Activity of Fe³⁺ Doped TiO₂ Nanoparticles for Degradation of Phenol Under UV Irradiation. In *2009 4th IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems* (pp. 348-352).
- Nasralla, N., Yeganeh, M., Astuti, Y., Piticharoenphun, S., Shahtahmasebi, N., Kompany, A., Karimipour, M., Mendis, B.G., Poolton, N.R.J. and Šiller, L. 2013. Structural and Spectroscopic Study of Fe-Doped TiO₂ Nanoparticles Prepared by Sol–Gel Method. *Scientia Iranica*, 20(3): 1018-1022.
- Othman. S. H., S. A. Rashid, T. I. M. Ghazi, and N. Abdullah. 2011. Fe-Doped TiO₂ Nanoparticles Produced via MOCVD: Synthesis, Characterization and Photocatalytic Activity, *Jurnal of Nanomaterials*, 2011:1-8.
- PERDOSKI (Perhimpunan Dokter Spesialis Kulit dan Kelamin Indonesia), 2020. *Pengaruh Sinar Ultra Violet terhadap Kesehatan Kajian terhadap Berjemur (Sun Exposures)*. SATGAS COVID-19 PP PERDOSKI 2017-2020.
- Pratiwi, E. dan Agung Tri S. 2019. Optimasi Metode Analisis Kadar Surfaktan Anion Menggunakan Methylen Blue Active Substances dengan Spektrofotometer Ultraviolet Visible, 9(2): 126-130.
- Pratiwi, E., Harlia, dan Anthoni B. A. 2020. Sintesis TiO₂ terdoping Fe³⁺ untuk Degradasi Rhodamin B Secara Fotokatalisis dengan Bantuan Sinar Tampak. *POSITRON*, 10(1): 57-63.
- Pristantho, J. F. 2011. Degradasi Fotokatalitik Surfaktan NaLS (Natrium Lauril Sulfat) dengan Kombinasi Reagen Fenton dan TiO₂. *Skripsi*. Universitas Airlangga.
- Putro, R. K. H., Yoga A. S., dan Tuhu Agung R. 2019. Degradasi Surfaktan (Linear Alkyl Benzene) pada Limbah Laundry dengan Metode Fotokatalisis ZnO. *Jurnal Envirotek*, 11(1): 25-30.

- Rahman, T., M.A. Fadhlulloh, Asep B. D. N, dan A.Mudzakir. 2014. Review: Sintesis Titanium Dioksida Nanopartikel. *Jurnal Integrasi Proses*, 5(1): 15-29.
- 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).
- Rohman, A., 2015. Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis Titanium Dioksida (TiO₂) Anatas Terdoping Vanadium (III) dengan Metode Reaksi Padatan-Sonikasi. *Skripsi*. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Malang.
- Rudi, L.W., Suratno, dan Pandanan, J.K. 2004. Perbandingan Penentuan Surfaktan Anionik dengan Spektrofotometer UV-ST Menggunakan Pengompleks Malasit hijau dan Metilen Biru. *J. Kimia Lingkungan*, 6(1).
- Rusdiana, I.A., Hambali, E. and Rahayuningsih, M., 2018. Pengaruh Sonikasi Terhadap Sifat Fisik Formula Herbisida yang Ditambahkan Surfaktan Dietanolamida. *AGRO RADIX: Jurnal Ilmu Pertanian*, 1(2):34-41.
- Rustanto, Denny Yan dan Nieke Karnaningroem. 2012. Pengolahan Air Limbah Laundry dengan Biofilter dan Karbon Aktif. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XVI*, 6(2).
- Rzaij, J. M., & Abass, A. M. 2020. Review on: TiO₂ Thin Film as a Metal Oxide Gas Sensor. *Journal of Chemical Reviews*, 2(2), 114–121.
- Safari, M., Nikazar, M. and Dadvar, M. 2013. Photocatalytic Degradation of Methyl Tert-Butyl Ether (MTBE) by Fe-TiO₂ Nanoparticles. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19(5): 1697-1702.
- Saquib, M. and Muneer, M., 2003. TiO₂-Mediated Photocatalytic Degradation of A Triphenylmethane Dye (Gentian Violet), In Aqueous Suspensions. *Dyes and Pigments*, 56(1): 37-49.
- Sari, D. N. 2022. Fotodegradasi Zat Warna Titan Kuning dan Fenol Merah Menggunakan Katalis Cu/ZnO dan Ag/TiO₂. Tesis. Program Studi Magister Kimia. Fakultas MIPA. Universitas Hasanuddin Makassar.
- Setiawan, Y. Adi. 2018. Fotodegradasi Linear Alkylbenzene Sulfonate pada Limbah Laundry dengan Semikonduktor ZnO Sebagai Fotokatalis. *Skripsi*. Program Studi Teknik Lingkungan. Fakultas Teknik. UPN Veteran.
- Shihab, M. Quraish. 1992. *Membumikan Al-Qur'an*. Bandung: Mizan.
- Shihab, M. Quraish. 2002. *Tafsir Al-Mishbah: Pesan, Kesan, dan Keserasian AlQur'an Vol. 14*. Jakarta: Lentera Hati
- Shihab, M. Quraish. 2009. *Tafsir Al-Misbah. (Pesan, Kesan dan Keserasian AlQur'an)*. Jakarta: Lentera Hati.

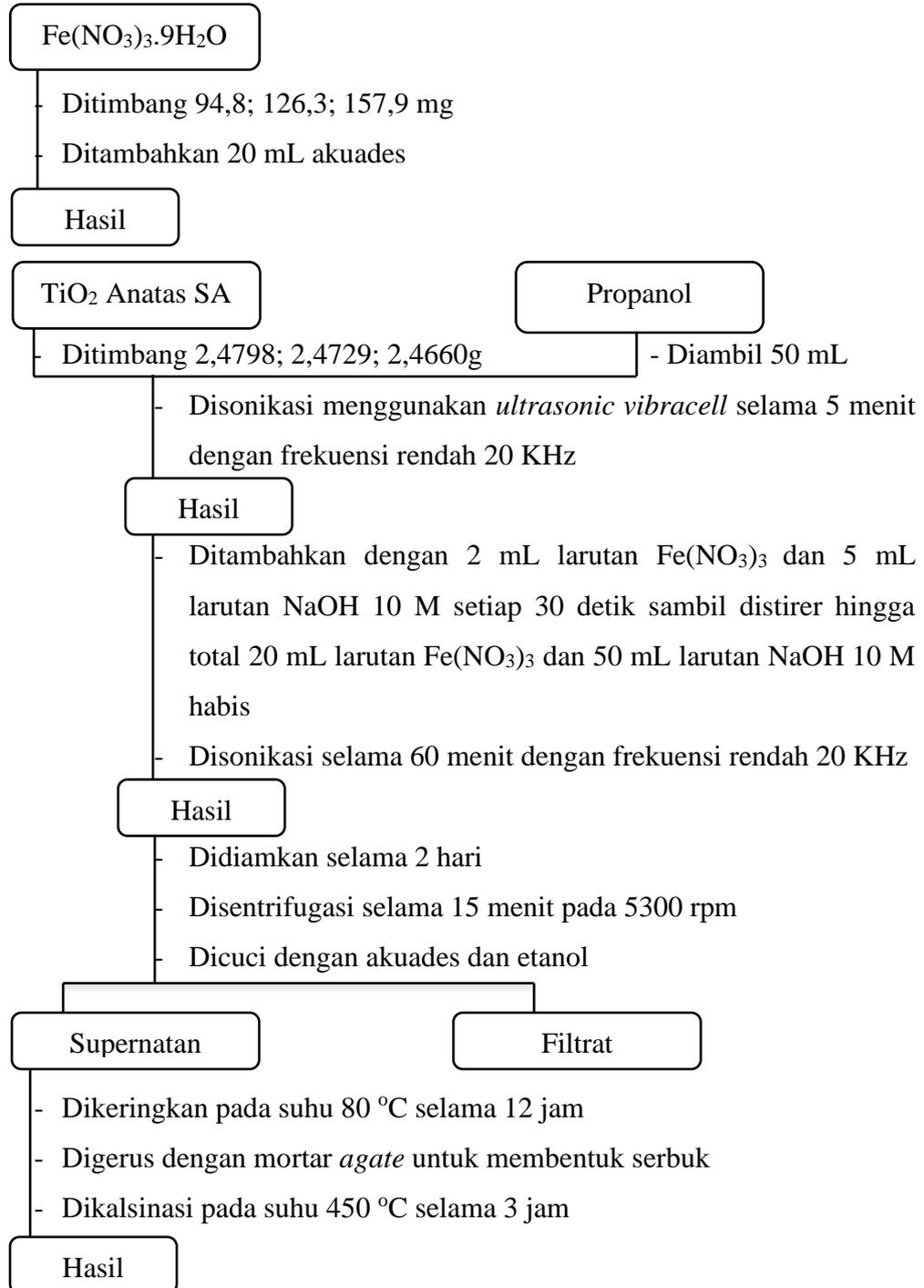
- Shirsath, S. R., D. V. Pinjari, P. R. Gogate, S. H. Sonawane, and A. B. Pandit. 2013. Ultrasound Assisted Synthesis of Doped TiO₂ Nano-Particles: Characterization And Comparison of Effectiveness For Photocatalytic Oxidation Of Dyestuff Effluent. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20: 277-286.
- Sirimahachai, U., Phongpaichit, S., dan Wongnawa, S. 2009. Evaluation of Bactericidal Activity of TiO₂ Photocatalysts : a Comparative Study of Laboratory-made and Commercial TiO₂ Samples. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 31(5): 517-525.
- 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*, 2019.
- 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: 213-223.
- Suslick, K.S., dan Price, G.J. 1999. Application of Ultrasound to Material Chemistry. *Annual Review of Materials Science*, 29: 295-326.
- Tjahjanto, R.T., dan Gunlazuardi J. 2001. Preparasi Lapisan Tipis TiO₂ Sebagai Fotokatalisis: Keterkaitan Antara Ketebalan dan Aktivitas Fotokatalisis. *Jurnal Penelitian Universitas Indonesia*, 5(2): 81-91.
- Wahyuni, Endang Tri, R. Roto, M. Sabrina, V. Anggraini, N. F. Leswana, dan A. C. Vionita. 2016. Photodegradation of Detergent Anionic Surfactant in Wastewater Using UV/TiO₂/H₂O₂ and UV/Fe²⁺/H₂O₂ Processes. *American Journal of Applied Chemistry*, 4(5): 174-180.
- Wardhani, Sri, Akhmad Bahari, dan M. Misbah Khunur. 2016. Aktivitas Fotokatalitik Beads TiO₂-N/Zeolit-Kitosan Pada Fotodegradasi Metilen Biru (Kajian Pengembangan, Sumber Sinar dan Lama Penyinaran). *Journal of Environmental Engineering & Sustainable Technology*, 3(4): 78-84.
- Wibowo, Emas Agus Prastyo. 2015. Fotokatalis TiO₂-N: Kajian tentang Sintesis Metode Sol-Gel, Karakterisasi dan Aplikasinya. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, 177-181.
- Widyarti, Firda. 2020. Perbandingan Efektifitas Metode Pembacaan Konsentrasi Kadar SLS (*Sodium Lauryl Sulfate*) Secara Spektroskopi UV-Vis dan Pencitraan Digital. *Karya Tulis Ilmiah*. Prodi D3 Analisis Farmasi dan Makanan. Politeknik Kesehatan Kemenkes Malang.
- Wijaya, K., Sugiharto, E., Fatimah, I., Tahir, I, dan Rudatiningsih. 2006. Photodegradation of Alizarin Dye using TiO₂-zeolite and UV Radiation. *Indonesian Journal Chemistry*. 6(1): 32-37.

- Woodley, S. M., & Catlow, C. R. A. 2009. Structure Prediction of Titania Phases: Implementation of Darwinian Versus Lamarckian Concepts in an Evolutionary Algorithm. *Computational Materials Science*, 45(1), 84–95.
- Xie, Y. B. and Li, X. Z. 2006. Interactive Oxidation of Photoelectrocatalysis and Electro-Fenton for Azo Dye Degradation using TiO_2 -Ti Mesh and Reticulated Vitreous Carbon Electrodes. *Materials Chemistry and Physics*, 95(1), 39–50.
- Yang, Y., Tianyu S., Fuliang M., Liang F. H. and Zhixiang Z. 2021. Superhydrophilic Fe^{3+} Doped TiO_2 Films with Long-Lasting Antifogging Performance. *American Chemical Society*, 13: 3377-3386.
- Yulinastuti dan Syamsul F. 2016. Pengaruh Konsentrasi Pelarut untuk Menentukan Kadar Zirkonium Dalam Paduan U-Zr dengan Menggunakan Metode Spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Pengelolaan Instalasi Nuklir*, 17(9): 1979-2409.
- Zunic, V., Vukomanovic, M., Skapin, S. D., Suvorov, D., dan Kovac, J. 2014. Photocatalytic Properties of TiO_2 and TiO_2/Pt : A Sol-Precipitation, Sonochemical, and Hydrothermal Approach. *Ultrasonics Sonochemistry*. 018.

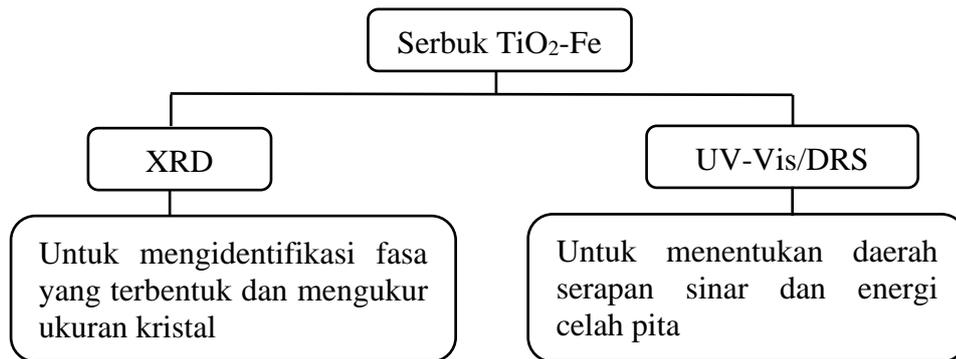
LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir

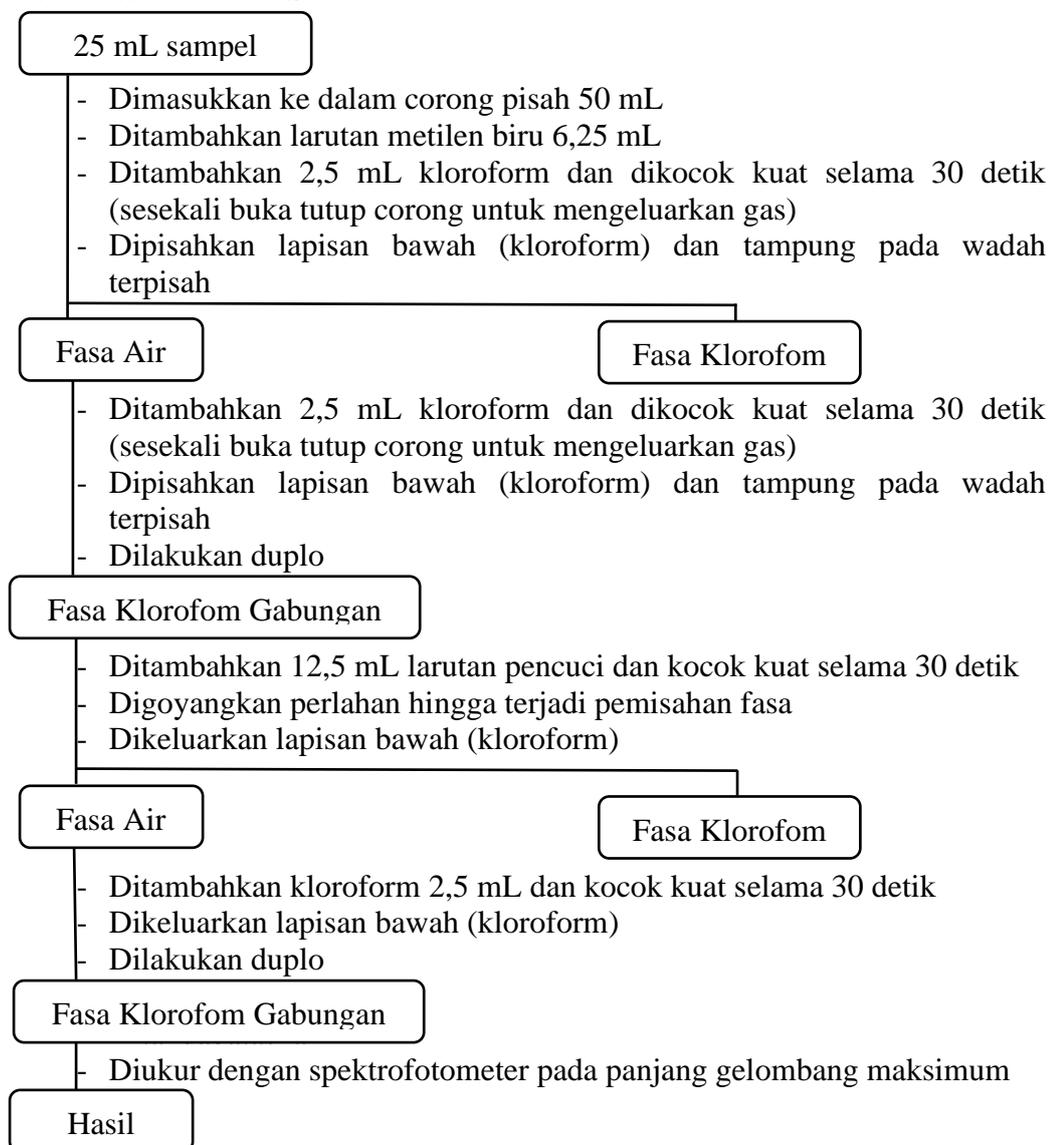
L.1.1 Sintesis Material Fotokatalis TiO₂-Fe dengan Metode Sonikasi



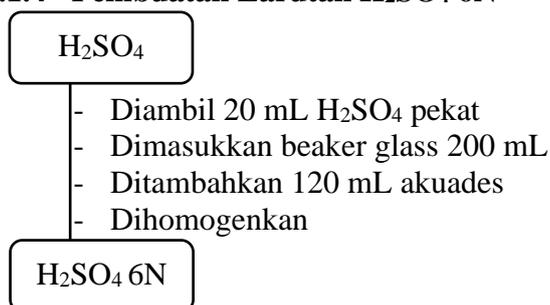
L.1.2 Karakterisasi Fotokatalis



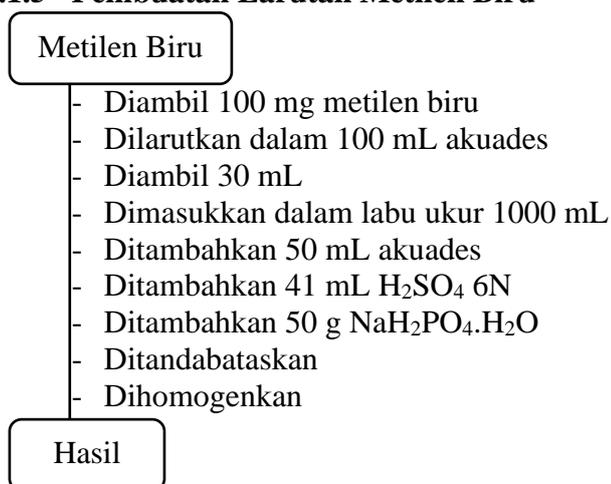
L.1.3 Prosedur MBAS



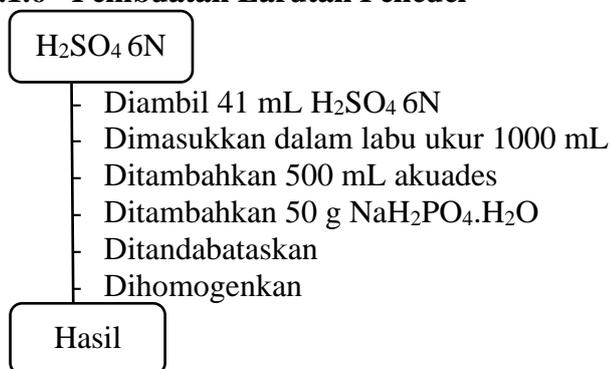
L.1.4 Pembuatan Larutan H₂SO₄ 6N



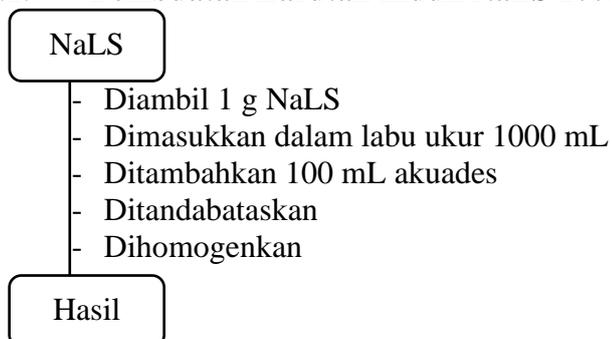
L.1.5 Pembuatan Larutan Metilen Biru

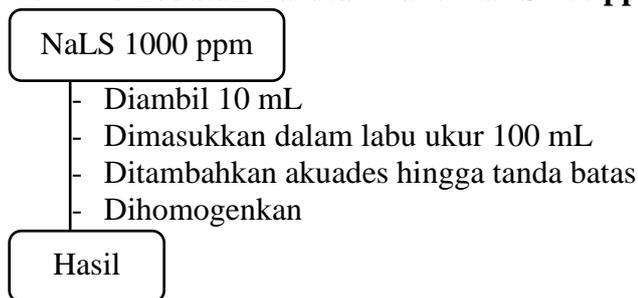
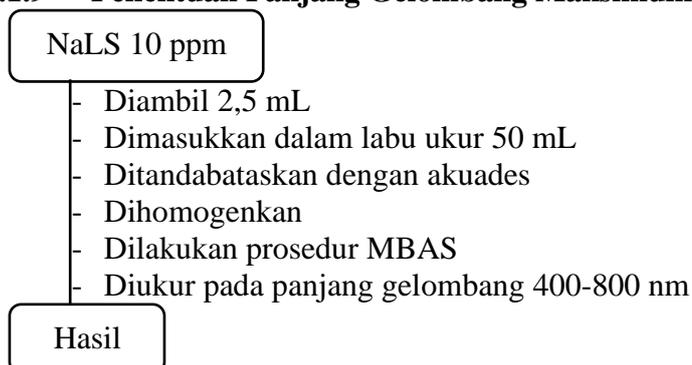
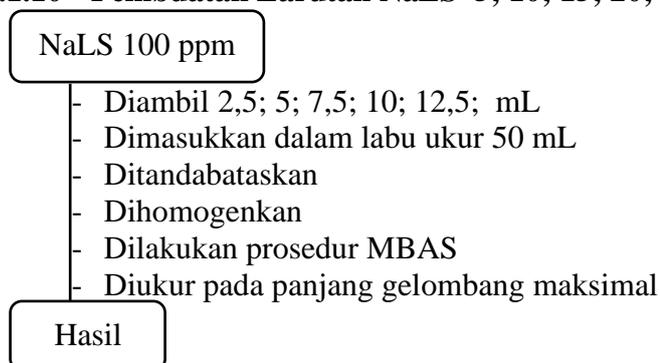
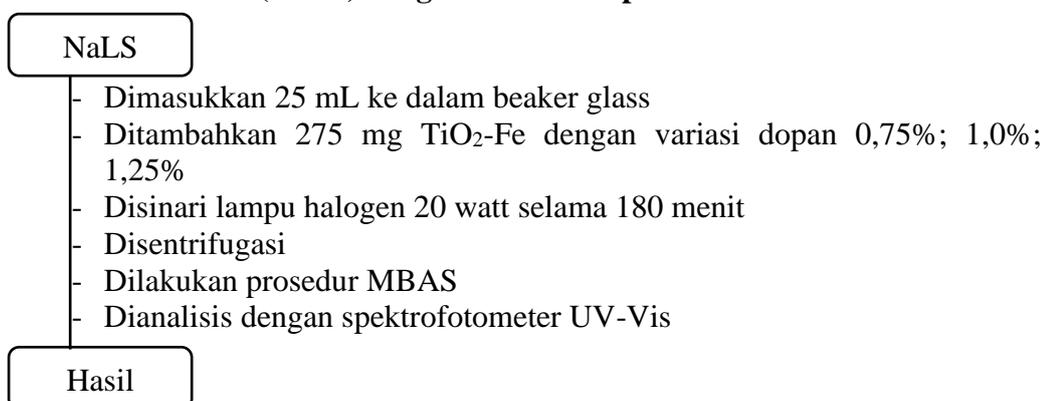


L.1.6 Pembuatan Larutan Pencuci

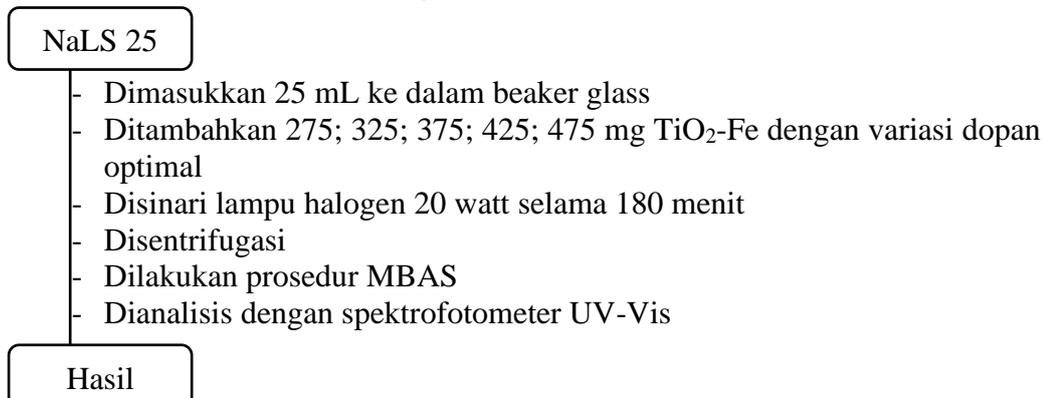


L.1.7 Pembuatan Larutan Induk NaLS 1000 ppm

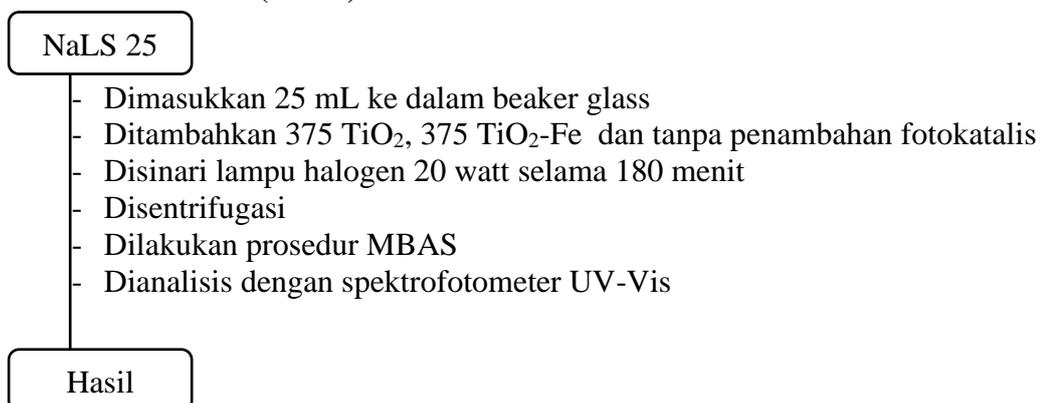


L.1.8 Pembuatan Larutan Baku NaLS 100 ppm**L.1.9 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum NaLS****L.1.10 Pembuatan Larutan NaLS 5; 10; 15; 20; 25 ppm****L.1.11 Uji Aktivitas Fotokatalis TiO₂-Fe terhadap Fotodegradasi Natrium****Lauril Sulfat (NaLS) dengan Variasi Dopan Fe**

L.1.12 Uji Aktivitas Fotokatalis TiO₂-Fe terhadap Fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS) dengan Variasi Massa Fotokatalis



L.1.13 Uji Efektivitas Fotokatalis TiO₂-Fe terhadap Fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS)



Lampiran 2. Perhitungan

L.2.1 Massa Hasil Sintesis dan Material TiO₂-Fe pada Konsentrasi Besi 0.75%; 1%; 1.25%

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 : 2,5 gram

L.2.1.1 Konsentrasi Besi (III) 0.75%

$$\begin{aligned}
 \text{Massa } TiO_2 &= \frac{0,9925 \times Ar \text{ Ti}}{MrTi_{0,9925}Fe_{0,0075}O_2} \times \frac{Mr \text{ } TiO_2}{Ar \text{ Ti}} \times 2,5 \text{ g} \\
 &= \frac{0,9925 \times 47,867}{(0,9925 \times 47,867) + (0,0075 \times 55,845) + (2 \times 16)} \times \frac{79,8788}{47,867} \times 2,5 \text{ g} \\
 &= \frac{47,5079975}{79,926835} \times 1,668765538 \times 2,5 \text{ g} = 2.479758801 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa } Fe(NO_3)_3 &= \frac{0,0075 \times Ar \text{ Ti}}{MrTi_{0,9925}Fe_{0,0075}O_2} \times \frac{Mr \text{ } Fe(NO_3)_3}{Ar \text{ Fe}} \times 2,5 \text{ g} \\
 &= \frac{0,0075 \times 55,845}{(0,9925 \times 47,867) + (0,0075 \times 55,845) + (2 \times 16)} \times \frac{403,999}{55,845} \times 2,5 \text{ g} \\
 &= \frac{0,4188375}{79,926835} \times 7,234291342 \times 2,5 \text{ g} = 0.09477394232 \text{ g}
 \end{aligned}$$

L.2.1.2 Konsentrasi Besi (III) 1%

$$\begin{aligned}
 \text{Massa } TiO_2 &= \frac{0,99 \times Ar \text{ Ti}}{MrTi_{0,99}Fe_{0,01}O_2} \times \frac{Mr \text{ } TiO_2}{Ar \text{ Ti}} \times 2,5 \text{ g} \\
 &= \frac{0,99 \times 47,867}{(0,99 \times 47,867) + (0,01 \times 55,845) + (2 \times 16)} \times \frac{79,8788}{47,867} \times 2,5 \text{ g} \\
 &= \frac{47,38833}{79,94678} \times 1,668765538 \times 2,5 \text{ g} = 2.472895469 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa } Fe(NO_3)_3 &= \frac{0,01 \times Ar \text{ Ti}}{MrTi_{0,99}Fe_{0,01}O_2} \times \frac{Mr \text{ } Fe(NO_3)_3}{Ar \text{ Fe}} \times 2,5 \text{ g} \\
 &= \frac{0,01 \times 55,845}{(0,99 \times 47,867) + (0,01 \times 55,845) + (2 \times 16)} \times \frac{403,999}{55,845} \times 2,5 \text{ g} \\
 &= \frac{0,55845}{79,94678} \times 7,234291342 \times 2,5 \text{ g} = 0.126333731 \text{ g}
 \end{aligned}$$

L.2.1.3 Konsentrasi Besi (III) 1.25%

$$\begin{aligned}
 \text{Massa } TiO_2 &= \frac{0,9875 \times Ar \text{ Ti}}{MrTi_{0,9875}Fe_{0,0125}O_2} \times \frac{Mr \text{ } TiO_2}{Ar \text{ Ti}} \times 2,5 \text{ g} \\
 &= \frac{0,9875 \times 47,867}{(0,9875 \times 47,867) + (0,0125 \times 55,845) + (2 \times 16)} \times \frac{79,8788}{47,867} \times 2,5 \text{ g} \\
 &= \frac{47,2686625}{79,966725} \times 1,668765538 \times 2,5 \text{ g} = 2.466035561 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa } Fe(NO_3)_3 &= \frac{0,0125 \times Ar \text{ Ti}}{MrTi_{0,9875}Fe_{0,0125}O_2} \times \frac{Mr \text{ } Fe(NO_3)_3}{Ar \text{ Fe}} \times 2,5 \text{ g} \\
 &= \frac{0,0125 \times 55,845}{(0,9875 \times 47,867) + (0,0125 \times 55,845) + (2 \times 16)} \times \frac{403,999}{55,845} \times 2,5 \text{ g} \\
 &= \frac{0,6980625}{79,966725} \times 7,234291342 \times 2,5 \text{ g} = 0.1578777767 \text{ g}
 \end{aligned}$$

L.2.2 Pembuatan H₂SO₄ 6N

H₂SO₄ 96%

Berat Jenis : 1,84 g/mL

Berat Molekul : 98,08 g/mL

$$\text{Normalitas } H_2SO_4 = \frac{((10 \times 96\% \times 1,84)2)}{98,08} = 36 \text{ N}$$

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.2.3 Pembuatan Larutan Baku NaLS 100 ppm

M1 : 1000 ppm

M2 : 100 ppm

V2 : 100 mL

$$V_1 = \frac{V_2 \times M_2}{M_1} = \frac{100 \times 100}{1000} = 10 \text{ mL}$$

L.2.4 Pembuatan Larutan NaLS 5;10; 15; 20; 25ppm

- 5 ppm
- M1 : 100 ppm
- M2 : 5 ppm
- V2 : 50 mL

$$V_1 = \frac{V_2 \times M_2}{M_1} = \frac{50 \times 5}{100} = 2,5 \text{ mL}$$

- 10 ppm
- M1 : 100 ppm
- M2 : 10 ppm
- V2 : 50 mL

$$V_1 = \frac{V_2 \times M_2}{M_1} = \frac{50 \times 10}{100} = 5 \text{ mL}$$

- 15 ppm
- M1 : 100 ppm
- M2 : 15 ppm
- V2: 50 mL

$$V_1 = \frac{V_2 \times M_2}{M_1} = \frac{50 \times 15}{100} = 7,5 \text{ mL}$$

- 20 ppm
- M1 : 100 ppm
- M2 : 20 ppm
- V2 : 50 mL

$$V_1 = \frac{V_2 \times M_2}{M_1} = \frac{50 \times 20}{100} = 10 \text{ mL}$$

- 25 ppm
- M1 : 100 ppm
- M2 : 25 ppm
- V2 : 50 mL

$$V_1 = \frac{V_2 \times M_2}{M_1} = \frac{50 \times 25}{100} = 12,5 \text{ mL}$$

Lampiran 3 Dokumentasi

L.3.1 Sintesis TiO₂-Fe



Proses sonikasi
selama 2 jam



Pendiaman
selama 2 hari



Setelah
pendiaman



Sebelum
disentrifugasi



Setelah
disentrifugasi



Pencucian
dengan akuades
dan etanol



Sebelum dioven



Proses
penggerusan

L.3.2 Uji Aktivitas TiO₂-Fe



Pembuatan larutan
NaLS



Metode MBAS



Penentuan Kurva
Standar



Proses Fotodegradasi



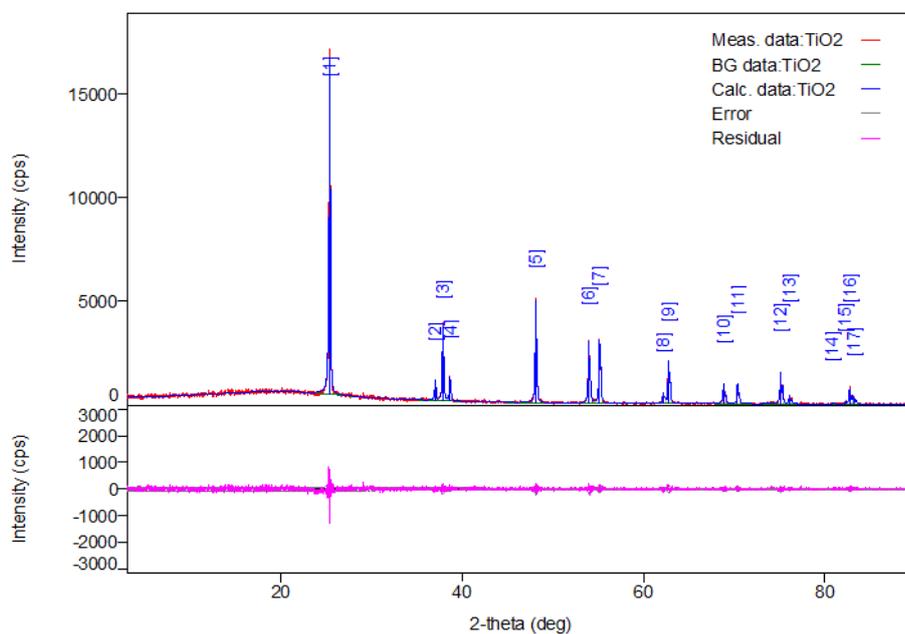
Lampu Halogen 20 watt



Hasil Fotodegradasi

Lampiran 4 Hasil karakterisasi XRD

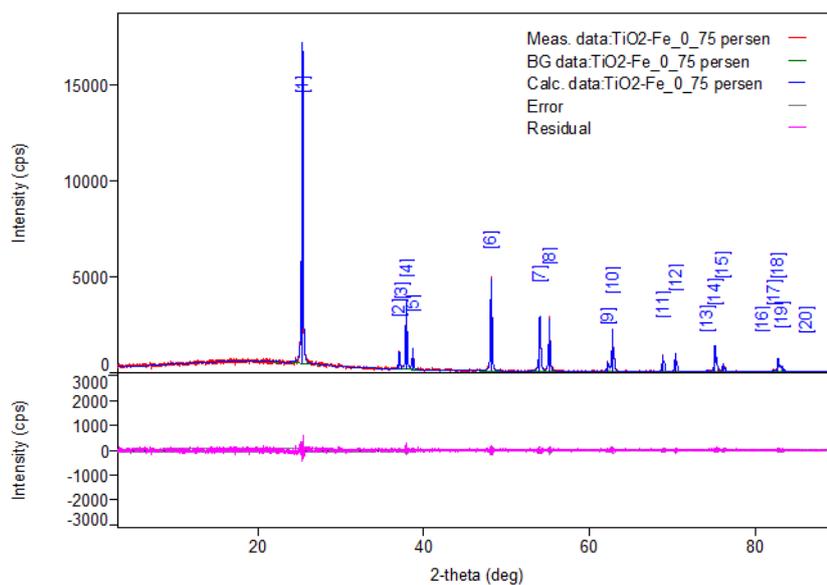
a. TiO₂ Anatas



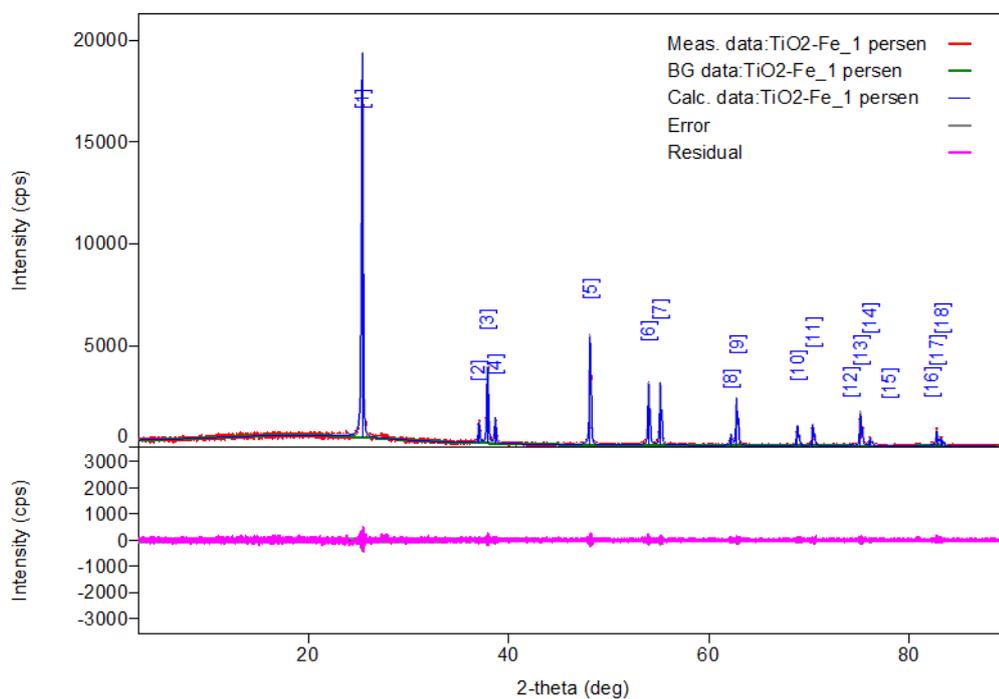
Gambar L.4.1 Difraktogram TiO₂ anatas

Tabel L.4.1 Data XRD TiO₂ anatas

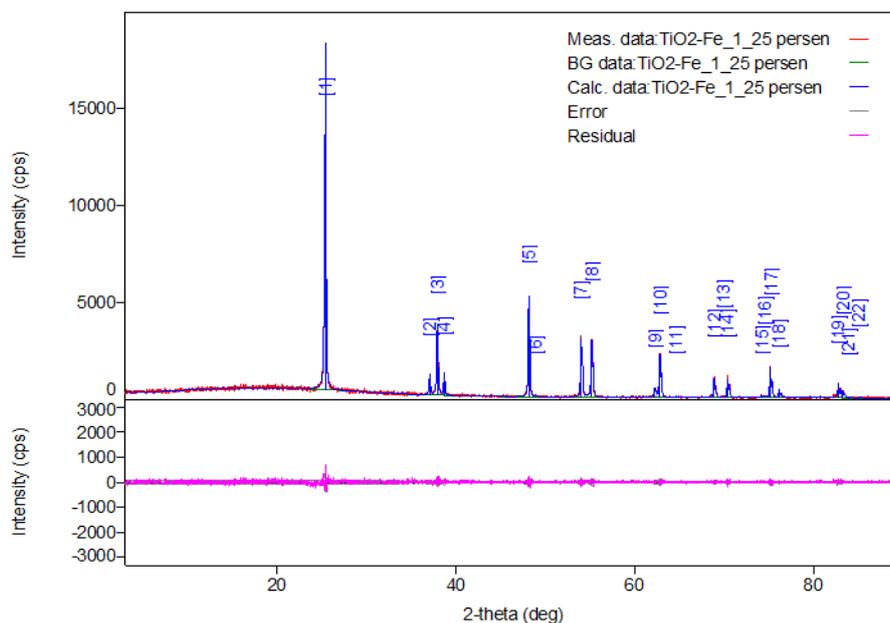
No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	25.337(3)	3.5124(3)	13328(333)	0.119(4)	2554(27)	0.192(7)	0.73(7)
2	36.980(4)	2.4289(2)	845(84)	0.115(10)	142(6)	0.17(2)	0.6(2)
3	37.856(6)	2.3747(4)	2897(155)	0.143(7)	588(10)	0.203(14)	1.9(4)
4	38.616(5)	2.3297(3)	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)

b. TiO₂-Fe 0,75%Gambar L.4.2 Difraktogram TiO₂-Fe 0,75%Tabel L.4.2 Data XRD TiO₂-Fe 0,75%

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	25.372(5)	3.5094(6)	12029(317)	0.164(4)	2620(25)	0.218(8)	2.3(3)
2	37.031(10)	2.4256(6)	712(77)	0.148(11)	143(5)	0.20(3)	2.6(10)
3	37.329(9)	2.4070(5)	100(29)	0.06(3)	8(3)	0.08(5)	2.6(10)
4	37.868(4)	2.3739(2)	2798(153)	0.143(5)	544(7)	0.195(13)	1.7(2)
5	38.617(5)	2.3296(3)	980(90)	0.111(8)	171(5)	0.17(2)	0.65(9)
6	48.096(3)	1.89029(11)	4343(190)	0.127(4)	799(8)	0.184(10)	1.21(14)
7	53.956(6)	1.69801(16)	2608(147)	0.132(6)	517(8)	0.198(14)	1.4(3)
8	55.118(4)	1.66493(12)	2558(146)	0.130(4)	476(7)	0.186(13)	1.10(17)
9	62.168(7)	1.49197(15)	431(60)	0.138(12)	89(4)	0.21(4)	0.99(19)
10	62.742(5)	1.47969(11)	2077(132)	0.133(5)	411(7)	0.198(16)	0.99(19)
11	68.802(9)	1.36340(16)	813(82)	0.161(9)	179(5)	0.22(3)	0.72(19)
12	70.356(9)	1.33704(16)	891(86)	0.147(9)	190(5)	0.21(3)	1.5(5)
13	74.17(3)	1.2774(5)	70(24)	0.18(8)	24(4)	0.35(17)	3(3)
14	75.107(8)	1.26382(12)	1307(104)	0.150(8)	290(6)	0.22(2)	1.3(3)
15	76.074(17)	1.2501(2)	387(57)	0.152(16)	87(4)	0.23(4)	1.0(6)
16	80.77(2)	1.1889(3)	49(20)	0.24(6)	14(3)	0.28(17)	0.5(5)
17	82.221(14)	1.17152(16)	112(30)	0.15(3)	25(4)	0.22(9)	1.0(3)
18	82.724(9)	1.16568(11)	671(75)	0.149(10)	148(6)	0.22(3)	1.0(3)
19	83.194(10)	1.16028(12)	293(49)	0.154(16)	66(5)	0.23(5)	1.0(3)
20	86.10(2)	1.1284(3)	31(16)	0.08(7)	3(2)	0.10(12)	2(8)

c. TiO₂-Fe 1,0%Gambar L.4.3 Difraktogram TiO₂-Fe 1,0%Tabel L.4.3 Data XRD TiO₂-Fe 1,0%

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	25.358(4)	3.5077(5)	13848(340)	0.153(3)	2890(20)	0.209(7)	1.79(19)
2	37.009(13)	2.4271(8)	806(82)	0.151(13)	154(6)	0.19(3)	1.6(5)
3	37.842(5)	2.3755(3)	3297(166)	0.133(6)	616(9)	0.187(12)	0.91(15)
4	38.625(8)	2.3292(5)	1114(96)	0.119(11)	192(6)	0.17(2)	1.3(4)
5	48.094(3)	1.89036(11)	4883(202)	0.123(3)	856(9)	0.175(9)	1.23(15)
6	53.947(5)	1.69828(16)	2839(154)	0.128(6)	546(9)	0.192(14)	1.1(2)
7	55.116(4)	1.66499(12)	2869(155)	0.127(4)	523(7)	0.182(12)	1.09(18)
8	62.184(10)	1.4916(2)	504(65)	0.124(14)	97(4)	0.19(3)	2.3(12)
9	62.742(5)	1.47969(11)	2222(136)	0.119(6)	417(6)	0.188(14)	1.1(2)
10	68.836(5)	1.36281(9)	929(88)	0.139(9)	178(7)	0.19(3)	3.0(5)
11	70.348(9)	1.33717(15)	1009(92)	0.142(8)	198(6)	0.20(2)	1.4(4)
12	74.16(6)	1.2776(8)	69(24)	0.21(6)	16(4)	0.24(14)	2(2)
13	75.092(7)	1.26402(10)	1577(115)	0.141(6)	314(6)	0.199(19)	1.0(2)
14	76.098(16)	1.2498(2)	372(56)	0.159(17)	85(4)	0.23(5)	1.9(8)
15	78.02(2)	1.2238(3)	35(17)	0.10(7)	4(3)	0.11(13)	1(4)
16	82.21(2)	1.1716(3)	84(26)	0.22(4)	21(4)	0.25(12)	1.2(2)
17	82.728(8)	1.16563(10)	721(77)	0.171(7)	142(6)	0.20(3)	1.2(2)
18	83.196(8)	1.16026(10)	356(54)	0.158(11)	65(4)	0.18(4)	1.2(2)

d. TiO₂-Fe 1,25%Gambar L.4.4 Difraktogram TiO₂-Fe 1,25%Tabel L.4.4 Data XRD TiO₂-Fe 1,25%

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	25.408(4)	3.5027(6)	12980(329)	0.164(3)	2856(24)	0.220(7)	2.0(3)
2	37.064(5)	2.4236(3)	903(87)	0.118(10)	160(6)	0.18(2)	2.7(4)
3	37.896(6)	2.3722(3)	3087(160)	0.142(6)	615(9)	0.199(13)	1.2(2)
4	38.670(10)	2.3266(5)	951(89)	0.137(12)	176(6)	0.19(2)	1.3(4)
5	48.137(4)	1.88876(13)	4708(198)	0.130(4)	859(11)	0.183(10)	1.33(17)
6	48.867(9)	1.8623(3)	76(25)	0.04(3)	5.2(19)	0.07(5)	1(2)
7	53.986(5)	1.69714(13)	2863(154)	0.131(5)	544(8)	0.190(13)	0.91(15)
8	55.167(4)	1.66355(12)	2742(151)	0.132(5)	526(7)	0.192(13)	1.4(2)
9	62.204(7)	1.49120(16)	432(60)	0.155(14)	95(5)	0.22(4)	1.02(18)
10	62.787(5)	1.47873(11)	2137(133)	0.135(5)	409(7)	0.191(15)	1.02(18)
11	64.605(8)	1.44146(15)	76(25)	0.03(2)	3.6(14)	0.05(3)	1(28)
12	68.831(8)	1.36290(14)	972(90)	0.140(9)	185(6)	0.19(2)	0.52(16)
13	69.97(4)	1.3435(7)	31(16)	0.17(9)	7(4)	0.2(2)	0.9(2)
14	70.372(8)	1.33677(14)	947(89)	0.149(8)	191(6)	0.20(3)	0.9(2)
15	74.174(5)	1.27738(8)	125(32)	0.07(3)	14(3)	0.12(5)	3(4)
16	74.534(19)	1.2721(3)	52(21)	0.11(7)	10(4)	0.19(15)	3(4)
17	75.156(3)	1.26311(4)	1535(113)	0.126(4)	295(5)	0.192(18)	2.42(19)
18	76.140(10)	1.24922(14)	416(59)	0.136(13)	81(4)	0.19(4)	1.8(8)
19	82.772(10)	1.16512(12)	651(74)	0.156(16)	163(9)	0.25(4)	1.8(6)
20	83.246(13)	1.15969(14)	317(51)	0.17(3)	85(8)	0.27(7)	1.8(6)
21	83.92(4)	1.1521(5)	30(16)	0.18(13)	9(4)	0.3(3)	1.8(6)
22	85.08(3)	1.1393(3)	27(15)	0.11(7)	3(2)	0.12(15)	0.5(15)

e. Perhitungan ukuran kristal

Persamaan Deybe Scherrer:

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

dimana, D adalah ukuran kristal (nm), k merupakan faktor bentuk kristal (0,9-1), λ adalah panjang gelombang sinar-X (1,54060 Å), β adalah nilai dari Full Width at Half Maximum/FWHM (rad), dan θ merupakan sudut difraksi.

- TiO₂ anatas

Diketahui

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

$$2\theta = 25,337 \rightarrow \theta = 12,668 \rightarrow \cos \theta = 0,9948$$

$$\text{FWHM} = 0,119^\circ \rightarrow \frac{0,119}{180} \times 3,14 = 0,00208$$

$$k = 0,9$$

Ditanya: D ?

$$\text{Jawab: } D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} = \frac{0,9 \times 1,54060}{0,00208 \times 0,9948} = 670,0902 \text{ \AA} = 67,00902 \text{ nm}$$

- TiO₂-Fe 0,75%

Diketahui

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

$$2\theta = 25,372 \rightarrow \theta = 12,686 \rightarrow \cos \theta = 0,9928$$

$$\text{FWHM} = 0,164^\circ \rightarrow \frac{0,164}{180} \times 3,14 = 0,00286$$

$$k = 0,9$$

Ditanya: D ?

$$\text{Jawab: } D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} = \frac{0,9 \times 1,54060}{0,00286 \times 0,9928} = 488,3201 \text{ \AA} = 48,83201 \text{ nm}$$

- TiO₂-Fe 1%

Diketahui

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

$$2\theta = 25,358 \rightarrow \theta = 12,679 \rightarrow \cos \theta = 0,9936$$

$$\text{FWHM} = 0,153^\circ \rightarrow \frac{0,164}{180} \times 3,14 = 0,00267$$

$$k = 0,9$$

Ditanya: D ?

$$\text{Jawab: } D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} = \frac{0,9 \times 1,54060}{0,00267 \times 0,9936} = 522,648 \text{ \AA} = 52,2648 \text{ nm}$$

- TiO₂-Fe 1,25 %

Diketahui

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

$$2\theta = 25,408 \rightarrow \theta = 12,704 \rightarrow \cos \theta = 0,9905$$

$$\text{FWHM} = 0,164^\circ \rightarrow \frac{0,164}{180} \times 3,14 = 0,00286$$

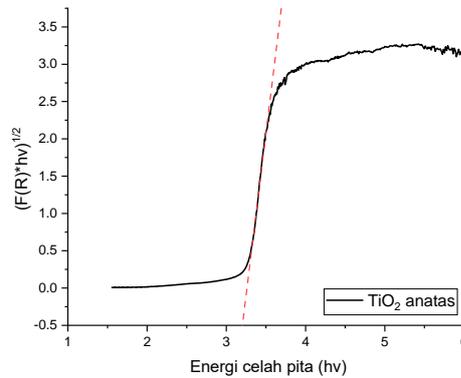
$$k = 0,9$$

Ditanya: D ?

$$\text{Jawab: } D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} = \frac{0,9 \times 1,54060}{0,00286 \times 0,9905} = 489,454 \text{ \AA} = 48,9454 \text{ nm}$$

Lampiran 5 Hasil karakterisasi UV-Vis/DRS

- TiO₂ anatas



Gambar L.5.1 Nilai energi celah pita TiO₂ anatas

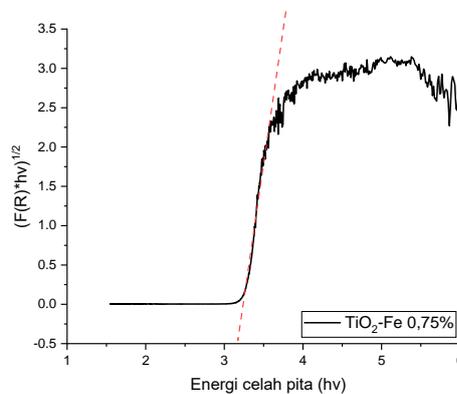
$$E_g = 3,20 \text{ eV}$$

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

Nilai band gap pada saat $y = 0$

$$\lambda = \frac{h \times c}{E} = \frac{4,13608 \times 10^{-15} \text{ eV.s} \times (3 \times 10^{17} \text{ 17}) \text{ nm/s}}{3,20 \text{ eV}} = 387,7575 \text{ nm}$$

- TiO₂ 0,75%



Gambar L.5.2 Nilai energi celah pita TiO₂-Fe 0,75%

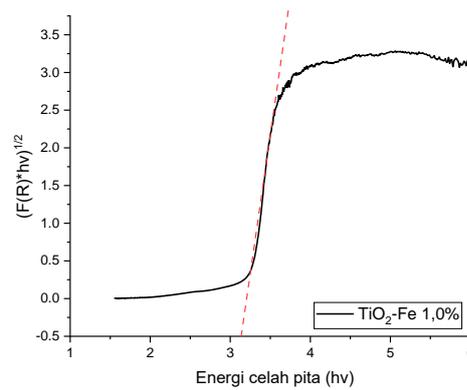
$$E_g = 3,17 \text{ eV}$$

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

Nilai band gap pada saat $y = 0$

$$\lambda = \frac{h \times c}{E} = \frac{4,13608 \times 10^{-15} \text{ eV.s} \times (3 \times 10^{17} \text{ 17}) \text{ nm/s}}{3,17 \text{ eV}} = 391,4271 \text{ nm}$$

- TiO₂ 1,0%



Gambar L.5.3 Nilai energi celah pita TiO₂-Fe 1,0%

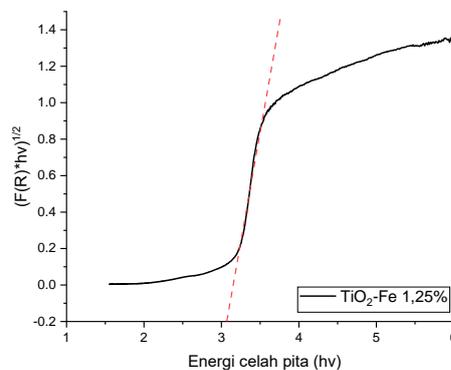
$$E_g = 3,13 \text{ eV}$$

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

Nilai band gap pada saat $y = 0$

$$\lambda = \frac{h \times c}{E} = \frac{4,13608 \times 10^{-15} \text{ eV.s} \times (3 \times 10^{17} \text{ 17}) \text{ nm/s}}{3,13 \text{ eV}} = 396,4293$$

- TiO₂ 1,25%



Gambar L.5.4 Nilai energi celah pita TiO₂-Fe 1,25%

$$E_g = 3,08 \text{ eV}$$

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

Nilai band gap pada saat $y = 0$

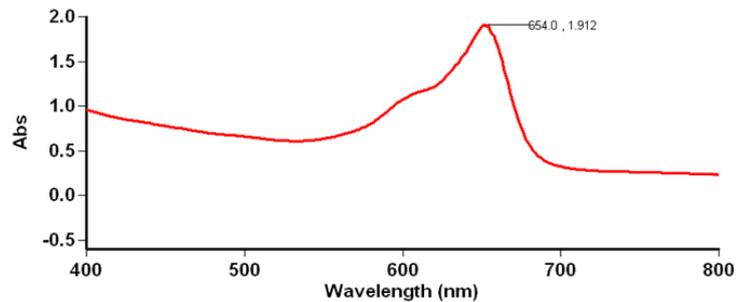
$$\lambda = \frac{h \times c}{E} = \frac{4,13608 \times 10^{-15} \text{ eV.s} \times (3 \times 10^{17} \text{ 17}) \text{ nm/s}}{3,08 \text{ eV}} = 402,8649$$

Lampiran 6. Uji Aktivitas Fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS)

a. Panjang Gelombang Maksimum Natrium Lauril Sulfat (NaLS)

Lamdha Maks SLS

Tanggal Analisa : 30 Maret 2023



Scan Analysis Report

Report Time : Thu 30 Mar 01:51:28 PM 2023

Method:

Batch: D:\Mahasiswa On Going\Hindun\Lamdha Maks SLS (30-03-2023).DSW

Software version: 3.00(339)

Operator: Rika

Sample Name: SLS

Collection Time

3/30/2023 1:51:30 PM

Peak Table

Peak Style

Peak Threshold

Range

Peaks

0.0100

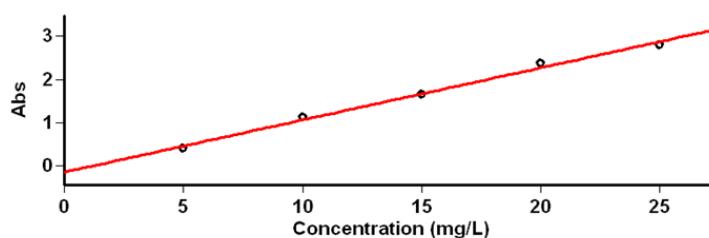
800.0nm to 200.0nm

Wavelength (nm)	Abs
654.0	1.912
652.0	1.909
294.0	2.390
240.9	3.955
237.0	4.192
229.0	10.000
227.0	10.000
217.0	4.060
213.0	3.957
208.9	4.183
205.0	3.714
203.0	4.171

b. Penentuan Kurva Standar Natrium Lauril Sulfat (NaLS)

Kurva Standar SLS

Tanggal Analisa : 24 Mei 2023



Concentration Analysis Report

Report time 5/24/2023 10:38:29 AM
 Method
 Batch name D:\Mahasiswa On Going\Hindun\Kurva Standar SLS
 (24-05-2023).BCN
 Application Concentration 3.00 (339)
 Operator Rika

Instrument Settings

Instrument Cary 50
 Instrument version no. 3.00
 Wavelength (nm) 654.0
 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

Comments:

Zero Report

Read	Abs	nm
Zero	(0.3334)	654.0

Calibration

Collection time 5/24/2023 10:38:46 AM

Standard	Concentration mg/L	F	Mean	SD	%RSD	Readings
Std 1	5.0		0.4086	0.0034	0.82	0.4048
						0.4100
						0.4111
Std 2	10.0		1.1187	0.0084	0.75	1.1284
						1.1147
						1.1130
Std 3	15.0		1.6439	0.0072	0.44	1.6383
						1.6414
						1.6521
Std 4	20.0		2.3639	0.0518	2.19	2.3158
						2.4187
						2.3573
Std 5	25.0		2.7986	0.1445	5.16	2.9290
						2.6432
						2.8236

Calibration eqn Abs = 0.12050*Conc -0.14079
 Correlation Coefficient 0.99435
 Calibration time 5/24/2023 10:39:48 AM

Results Flags Legend

U = Uncalibrated O = Overrange
 N = Not used in calibration R = Repeat reading

c. Perhitungan Uji Aktivitas Fotodegradasi Natrium Lauril Sulfat (NaLS)

$$\% \text{ degradasi} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

Keterangan : C_0 = konsentrasi awal sebelum didegradasi (ppm)

C_1 = konsentrasi akhir sesudah didegradasi (ppm)

1. Pengaruh Komposisi Dopan terhadap Aktivitas Fotodegradasi NaLS

Komposisi dopan Fe (%)	A0	C0 (ppm)	Absorbansi				Ct (ppm)	% Degradasi
			I	II	III	\bar{x}		
0,75	2,8449	24,9	1,1189	1,1404	1,1364	1,1319	10,29185	58,67
1,0	2,8725	25,2	0,9797	0,9973	0,9259	0,9676	8,881831	64,75
1,25	2,8725	25,2	0,5872	0,6407	0,6334	0,6204	5,901574	76,58

a. Komposisi dopan 0,75%

$$y = 0,1165x - 0,0671$$

$$1,1319 = 0,1165x - 0,0671$$

$$1,1319 + 0,0671 = 0,1165x$$

$$x = 10,29185$$

$$\% \text{ degradasi} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

$$= \frac{24,9 - 10,29}{24,9} \times 100\%$$

$$= 58,67\%$$

b. Komposisi dopan 1,0%

$$y = 0,1165x - 0,0671$$

$$0,9676 = 0,1165x - 0,0671$$

$$0,9676 + 0,0671 = 0,1165x$$

$$x = 8,881831$$

$$\% \text{ degradasi} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

$$= \frac{25,2 - 8,88}{25,2} \times 100\%$$

$$= 64,75\%$$

c. Komposisi dopan 1,25%

$$y = 0,1165x - 0,0671$$

$$0,6204 = 0,1165x - 0,0671$$

$$0,6204 + 0,0671 = 0,1165x$$

$$x = 5,901574$$

$$\% \text{ degradasi} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

$$= \frac{25,2 - 5,90}{25,2} \times 100\%$$

$$= 76,58\%$$

2. Pengaruh Variasi Massa Fotokatalis Aktivitas NaLS

Massa (mg)	A0	C0 (ppm)	Absorbansi				Ct (ppm)	% Degradasi
			I	II	III	\bar{x}		
275	2,8725	25,2	0,5872	0,6407	0,6334	0,6204	5,901574	76,58
325	2,8900	25,4	0,3427	0,3630	0,3620	0,3559	3,630901	85,71
375	2,8448	24,9	0,2515	0,2877	0,2407	0,2600	2,807439	88,73
425	2,8736	25,2	0,4098	0,4133	0,4378	0,4203	4,183691	83,40
472	2,8736	25,2	0,5875	0,5929	0,5877	0,5894	5,634907	77,64

a. Massa 275 mg

$$y = 0,1165x - 0,0671$$

$$0,6204 = 0,1165x - 0,0671$$

$$0,6204 + 0,0671 = 0,1165x$$

$$x = 5,901574$$

$$\% \text{ degradasi} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

$$= \frac{25,2 - 5,90}{25,2} \times 100\%$$

$$= 76,58\%$$

b. Massa 325 mg

$$y = 0,1165x - 0,0671$$

$$0,3559 = 0,1165x - 0,0671$$

$$0,3559 + 0,0671 = 0,1165x$$

$$x = 3,630901$$

$$\% \text{ degradasi} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

$$= \frac{25,4 - 3,63}{25,4} \times 100\%$$

$$= 85,71\%$$

c. Massa 375 mg

$$y = 0,1165x - 0,0671$$

$$0,2600 = 0,1165x - 0,0671$$

$$0,2600 + 0,0671 = 0,1165x$$

$$x = 2,807439$$

$$\% \text{ degradasi} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

$$= \frac{24,9 - 2,80}{24,9} \times 100\%$$

$$= 88,73\%$$

d. Massa 425 mg

$$y = 0,1165x - 0,0671$$

$$0,4203 = 0,1165x - 0,0671$$

$$0,4203 + 0,0671 = 0,1165x$$

$$x = 4,183691$$

$$\% \text{ degradasi} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

$$= \frac{25,2 - 4,18}{25,2} \times 100\%$$

$$= 83,40\%$$

e. Massa 475 mg

$$y = 0,1165x - 0,0671$$

$$0,5894 = 0,1165x - 0,0671$$

$$0,5894 + 0,0671 = 0,1165x$$

$$x = 5,634907$$

$$\% \text{ degradasi} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

$$= \frac{25,2 - 5,63}{25,2} \times 100\%$$

$$= 77,64\%$$

3. Uji Efektivitas Fotodegradasi NaLS

Fotokatalis	A0	C0 (ppm)	Absorbansi				Ct (ppm)	% Degradasi
			I	II	III	\bar{x}		
Tanpa katalis	2,8607	25,1	2,1606	2,1536	2,2283	2,1808	19,29557	23,13
TiO ₂	2,8607	25,1	1,7538	1,7342	1,7933	1,7604	15,68698	37,50
TiO ₂ -Fe	2,8448	24,9	0,2515	0,2877	0,2407	0,2600	2,807439	88,73

a. Tanpa Katalis

$$\begin{aligned}
 y &= 0,1165x - 0,0671 \\
 2,1808 &= 0,1165x - 0,0671 \\
 2,1808 + 0,0671 &= 0,1165x \\
 x &= 19,29557
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ degradasi} &= \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{25,1 - 19,29}{25,1} \times 100\% \\
 &= 23,13\%
 \end{aligned}$$

b. TiO₂

$$\begin{aligned}
 y &= 0,1165x - 0,0671 \\
 1,7604 &= 0,1165x - 0,0671 \\
 1,7604 + 0,0671 &= 0,1165x \\
 x &= 15,68698
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ degradasi} &= \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{25,1 - 15,69}{25,1} \times 100\% \\
 &= 37,50\%
 \end{aligned}$$

c. TiO₂-Fe

$$\begin{aligned}
 y &= 0,1165x - 0,0671 \\
 0,2600 &= 0,1165x - 0,0671 \\
 0,2600 + 0,0671 &= 0,1165x \\
 x &= 2,807439
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ degradasi} &= \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\% \\
 &= \frac{24,9 - 2,80}{24,9} \times 100\% \\
 &= 88,73\%
 \end{aligned}$$