

**AKTIVITAS FOTODEGRADASI *LINEAR ALKYL*BENZENE SULFONATE  
(LAS) MENGGUNAKAN MATERIAL TiO<sub>2</sub>-Fe DENGAN VARIASI  
KOMPOSISI DOPAN DAN MASSA FOTOKATALIS**

**SKRIPSI**

**Oleh :  
MOHAMMAD RIFQI HERDIANSYAH  
NIM. 19630006**



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

**AKTIVITAS FOTODEGRADASI *LINEAR ALKYL*BENZENE SULFONATE  
(LAS) MENGGUNAKAN MATERIAL TiO<sub>2</sub>-Fe DENGAN VARIASI  
KOMPOSISI DOPAN DAN MASSA FOTOKATALIS**

**SKRIPSI**

**Oleh :  
MOHAMMAD RIFQI HERDIANSYAH  
NIM. 19630006**

**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**

**AKTIVITAS FOTODEGRADASI *LINEAR ALKYL*BENZENE SULFONATE  
(LAS) MENGGUNAKAN MATERIAL TiO<sub>2</sub>-Fe DENGAN VARIASI  
KOMPOSISI DOPAN DAN MASSA FOTOKATALIS**

**SKRIPSI**

Oleh :  
**MOHAMMAD RIFQI HERDIANSYAH**  
NIM. 19630006

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji  
Tanggal : 6 Juni 2023

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc**  
NIDT. 19900905 20180201 2 239

**Dr. M. Imamudin Lc, MA**  
NIP. 19740602 200901 1 010

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Kimia



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

**AKTIVITAS FOTODEGRADASI *LINEAR ALKYL*BENZENE SULFONATE  
(LAS) MENGGUNAKAN MATERIAL TiO<sub>2</sub>-Fe DENGAN VARIASI  
KOMPOSISI DOPAN DAN MASSA FOTOKATALIS**

**SKRIPSI**

Oleh :  
**MOHAMMAD RIFQI HERDIANSYAH**  
NIM. 19630006

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi  
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal : 14 Juni 2023

|                           |  |  |
|---------------------------|--|--|
| <b>Penguji Utama</b>      | : Dr. Suci Amalia, M.Sc<br>NIP. 19821104 200901 2 007            | (.....<br> |
| <b>Ketua Penguji</b>      | : Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si<br>NIP. 19831226 201903 2 008     | (.....<br> |
| <b>Sekretaris Penguji</b> | : Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc<br>NIDT. 19900906 20180201 2 239 | (.....<br> |
| <b>Anggota Penguji</b>    | : Dr. M. Imamudin Lc, MA<br>NIP. 19740602 200901 1 010           | (.....<br> |

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Kimia



**Rachmawati Ningsik, M.Si**  
NIP. 19910811 200801 2 010

## PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Mohammad Rifqi Herdiansyah

NIM : 19630006

Jurusan : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : “Aktivitas Fotodegradasi *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) Menggunakan Material  $TiO_2$ -Fe dengan Variasi Komposisi Dopan dan Massa Fotokatalis”

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, 8 Juni 2023  
Yang Membuat Pernyataan,



Mohammad Rifqi Herdiansyah  
NIM. 19630006

## **MOTTO**

“ANGLARAS ILINING BANYU, ANGELI ANANGING ORA KELI”

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah Swt. yang telah memberikan limpahan rahmat dan kenikmatan-Nya sehingga pada detik ini kita masih diberikan nikmat iman dan islam. Naskah skripsi ini saya persembahkan teruntuk kedua orang tua tercinta, Bapak Mohammad Wahyudi dan Ibu Titik Nurjayanti. Terimakasih atas doa yang tidak terputus di setiap sembahyang demi keselamatan diri dan kelancaran segala kegiatanku selama ini. Berbagai nasehat dan semangat yang terus mengalir bagaikan sumber yang tak pernah kering membuat pribadiku terus termotivasi, berusaha, berdoa serta mengusahakan yang terbaik di setiap jalan yang aku tempuh. Terimakasih atas siraman kasih sayang dan cucuran keringat yang selalu dicurahkan demi saya hingga saat ini, aku berdoa kepada Allah untuk memberikan keberkahan di dalamnya. Teruntuk adik perempuan saya, Salmaa Yudinta Syahriana dan seluruh keluarga besar, terimakasih atas doa, nasehat dan dukungannya.

Teruntuk sahabat dan teman yang terkasih, saya sampaikan terima kasih telah mendukung, memberikan masukan dan bantuan selama sekian waktu ini. Terimakasih untuk doa, nasehat, semangat, keusilan dan kebersamaan beserta kenangan unik yang tidak dapat tergantikan. Semoga hubungan persahabatan dan tali silaturahmi kita terus terhubung hingga ke alam akhirat kelak.

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamini, puji dan syukur ke hadirat Allah Swt., yang telah mencurahkan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Aktivitas Fotodegradasi *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) Menggunakan Material TiO<sub>2</sub>-Fe dengan Variasi Komposisi Dopan dan Massa Fotokatalis”**. Tidak lupa, shalawat serta salam senantiasa terhatirkan kepada junjungan kita baginda Nabi Muhammad saw. yang telah membawa petunjuk kebenaran bagi seluruh umat manusia yaitu cahaya iman dan Islam yang mencerahkan dunia ini. Penyusunan dan penyelesaian skripsi ini tidak luput dari dukungan semua pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung dan materiil dan non materiil. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

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

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

6. Bapak dan Ibu penguji utama dan ketua penguji dalam sidang skripsi penulis yang selalu memberikan saran terhadap isi naskah skripsi, sehingga penyusunan naskah skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
7. Seluruh Dosen Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah mengalirkan ilmu, pengetahuan, pengalaman, sebagai pedoman bagi penulis.
8. Para staf laboran yang telah banyak membantu penulis selama proses penelitian.
9. Orang tua penulis, serta segenap anggota keluarga penulis yang telah banyak memberikan perhatian, nasihat, doa, dan dukungan baik moril maupun materiil yang tak mungkin terbalaskan.

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

Malang, 8 Juni 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

|  |           |
|--|-----------|
| HALAMAN JUDUL .....  | i         |
| HALAMAN PERSETUJUAN .....  | ii        |
| HALAMAN PENGESAHAN .....   | iii       |
| PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN.....  | iv        |
| MOTTO .....  | v         |
| HALAMAN PERSEMBAHAN .....  | vi        |
| KATA PENGANTAR.....  | vii       |
| DAFTAR ISI.....  | ix        |
| DAFTAR TABEL .....   | xi        |
| DAFTAR GAMBAR.....   | xii       |
| DAFTAR PERSAMAAN.....  | xiii      |
| DAFTAR LAMPIRAN .....  | xiv       |
| ABSTRAK .....  | xv        |
| ABSTRACT.....  | xvi       |
| المخلص .....   | xvii      |
| <br>   |           |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1 Latar Belakang .....   | 1         |
| 1.2 Rumusan Masalah .....  | 5         |
| 1.3 Tujuan.....  | 5         |
| 1.4 Batasan Masalah.....   | 6         |
| 1.5 Manfaat.....   | 6         |
| <br>   |           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>  | <b>7</b>  |
| 2.1 <i>Linear Alkylbenzene Sulfonate</i> (LAS) .....   | 7         |
| 2.2 Material Fotokatalis Semikonduktor TiO <sub>2</sub> .....  | 9         |
| 2.3 Pengaruh Dopan Besi (III) pada Material Fotokatalis TiO <sub>2</sub> .....   | 14        |
| 2.4 Metode MBAS ( <i>Methylene Blue Active Substances</i> ) .....  | 17        |
| 2.5 Sintesis Material TiO <sub>2</sub> -Fe Metode Sonikasi .....   | 18        |
| 2.6 Fotodegradasi <i>Linear Alkylbenzene Sulfonate</i> (LAS) .....   | 22        |
| 2.6.1 Pengaruh Variasi Komposisi Dopan.....  | 22        |
| 2.6.2 Pengaruh Massa Fotokatalis .....   | 24        |
| <br>   |           |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>   | <b>26</b> |
| 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....  | 26        |
| 3.2 Alat dan Bahan .....   | 26        |
| 3.2.1 Alat .....   | 26        |
| 3.2.2 Bahan .....  | 26        |
| 3.3 Tahapan Penelitian .....   | 27        |
| 3.4 Pelaksanaan Penelitian .....   | 27        |
| 3.4.1 Sintesis Material TiO <sub>2</sub> -Fe dengan Metode Sonikasi .....  | 27        |
| 3.4.2 Analisis Struktur Fotokatalis TiO <sub>2</sub> -Fe Menggunakan <i>X-Ray</i><br><i>Diffraction</i> (XRD) .....              | 28        |
| 3.4.3 Analisis Daerah Serapan dan Energi Celah Pita dengan Spektroskopi<br>UV-Vis/ <i>Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> ..... | 29        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.4.4 Pengukuran Konsentrasi Fotodegradasi LAS Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis .....   | 29        |
| 3.4.4.1 Prosedur <i>Methylene Blue Active Substance</i> (MBAS) .....   | 29        |
| 3.4.4.1.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum.....  | 29        |
| 3.4.4.1.2 Pembuatan Larutan LAS 0, 10, 15, 20, 25, dan 30 ppm .....  | 30        |
| 3.4.4.1.3 Pembuatan Kurva Kalibrasi.....   | 30        |
| 3.4.4.2 Uji Efektivitas Fotokatalis TiO <sub>2</sub> -Fe terhadap Degradasi LAS dengan Variasi Komposisi Dopan dan Masa Fotokatalis.....                             | 31        |
| 3.4.4.2.1 Fotokatalis TiO <sub>2</sub> -Fe terhadap Degradasi LAS dengan Variasi Komposisi Dopan Komposisi Dopan.....  | 31        |
| 3.4.4.2.2 Fotokatalis TiO <sub>2</sub> -Fe terhadap Degradasi LAS dengan Variasi Massa Fotokatalis .....   | 31        |
| 3.4.4.2.3 Uji Efektivitas Fotodegradasi LAS .....  | 31        |
| 3.4.5 Analisis Data.....   | 32        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>   | <b>34</b> |
| 4.1 Hasil Sintesis Material TiO <sub>2</sub> -Fe Menggunakan Metode Sonikasi.....  | 34        |
| 4.1.1 Hasil Analisis Struktur Fotokatalis TiO <sub>2</sub> -Fe Menggunakan XRD .....   | 36        |
| 4.1.2 Hasil Analisis Daerah Serapan dan Energi Celah Pita Menggunakan UV-Vis/DRS .....   | 38        |
| 4.2 Pengukuran Konsentrasi Fotodegradasi <i>Linear Alkylbenzene Sulfonate</i> (LAS) Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis.....   | 42        |
| 4.2.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum <i>Linear Alkylbenzene Sulfonate</i> (LAS).....   | 42        |
| 4.2.2 Pembuatan Kurva Standar <i>Linear Alkylbenzene Sulfonate</i> (LAS) .....   | 43        |
| 4.2.3 Uji Efektivitas Fotokatalis TiO <sub>2</sub> -Fe terhadap Degradasi Larutan <i>Linear Aklylbenzene Sulfonate</i> (LAS) dengan Variasi Komposisi Dopan Fe ..... | 44        |
| 4.2.4 Uji Efektivitas Fotokatalis TiO <sub>2</sub> -Fe terhadap Degradasi Larutan <i>Linear Aklylbenzene Sulfonate</i> (LAS) dengan Variasi Massa Fotokatalis .....  | 46        |
| 4.2.5 Uji Efektivitas Fotodegradasi LAS.....   | 47        |
| 4.3 Perspektif Islam Terhadap Pengolahan Limbah Menggunakan Material Fotokatalis.....  | 50        |
| <b>BAB V PENUTUP .....</b>   | <b>54</b> |
| 5.1 Kesimpulan.....  | 54        |
| 5.2 Saran .....  | 54        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>  | <b>55</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>   | <b>60</b> |

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2.1 Karakteristik dan Struktur LAS .....   | 7  |
| Tabel 2.2 Perbandingan Nilai $E_g$ dengan Metode Sintesis .....  | 19 |
| Tabel 4.1 Hasil nilai energi celh pita ( $E_g$ ) material $TiO_2$ dan $TiO_2-Fe$<br>(0,75; 1; 1,25%) ..... | 41 |
| Tabel L.4.1 Data XRD $TiO_2$ anatas .....  | 70 |
| Tabel L.4.2 Data XRD $TiO_2-Fe$ 0,75% .....  | 71 |
| Tabel L.4.3 Data XRD $TiO_2-Fe$ 1% .....   | 72 |
| Tabel L.4.4 Data XRD $TiO_2-Fe$ 1,25% .....  | 73 |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.1 Mekanisme Fotodegradasi LAS.....   | 8  |
| Gambar 2.2 Struktur Kristal TiO <sub>2</sub> .....  | 10 |
| Gambar 2.3 Mekanisme Fotokatalisis.....   | 12 |
| Gambar 2.4 Difraktogram TiO <sub>2</sub> dan TiO <sub>2</sub> -Fe 0,125%.....   | 20 |
| Gambar 2.5 Perbandingan Eg TiO <sub>2</sub> dan Fe-TiO <sub>2</sub> .....   | 21 |
| Gambar 2.6 Efek variasi konsentrasi dopan Fe terhadap % degradasi.....  | 23 |
| Gambar 2.7 Persen degradasi LAS dengan variasi jumlah fotokatalis.....  | 24 |
| Gambar 4.1 Proses Sintesis TiO <sub>2</sub> -Fe.....  | 35 |
| Gambar 4.2 TiO <sub>2</sub> anatas (a) TiO <sub>2</sub> -Fe 0,75% (b) TiO <sub>2</sub> -Fe 1% (c) TiO <sub>2</sub> -Fe 1,25%<br>(d).....  | 35 |
| Gambar 4.3 Hasil XRD TiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> -Fe (0,75; 1; 1,25%) dan standar TiO <sub>2</sub><br>ICDD No. 01-084-1285 dan Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ICDD No. 29-0713..... | 36 |
| Gambar 4.4 Perbesaran hasil XRD TiO <sub>2</sub> dan TiO <sub>2</sub> -Fe (0,75; 1; 1,23 %).....  | 37 |
| Gambar 4.5 Grafik hubungan antara panjang gelombang dengan % reflektansi..  | 39 |
| Gambar 4.6 Grafik hubungan antara F(R) (faktor kubelka-munk) dengan<br>panjang gelombang.....   | 40 |
| Gambar 4.7 Grafik penentuan nilai energi celah pita.....  | 40 |
| Gambar 4.8 Grafik panjang gelombang maksimum Linear Alkylbenzene<br>Sulfonate (LAS).....  | 43 |
| Gambar 4.9 Grafik kurva standar Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS).....  | 44 |
| Gambar 4.10 Hasil fotodegradasi LAS dengan variasi komposisi dopan Fe <sup>3+</sup> .....   | 45 |
| Gambar 4.11 Hasil fotodegradasi LAS dengan variasi massa fotokatalis<br>TiO <sub>2</sub> -Fe pada dopan optimum.....  | 47 |
| Gambar 4.12 Hasil uji efektivitas fotodegradasi LAS.....  | 48 |
| Gambar L.3.1 Proses sintesis TiO <sub>2</sub> -Fe.....  | 68 |
| Gambar L.3.2 Proses fotodegradasi LAS.....  | 68 |
| Gambar L.3.3 Dokumentasi perlakuan <i>Metilen Blue Active Substance</i> .....   | 69 |
| Gambar L.4.1 Difraktogram TiO <sub>2</sub> anatas.....  | 69 |
| Gambar L.4.2 Difraktogram TiO <sub>2</sub> -Fe 0,75%.....   | 70 |
| Gambar L.4.3 Difraktogram TiO <sub>2</sub> -Fe 1%.....  | 71 |
| Gambar L.4.4 Difraktogram TiO <sub>2</sub> -Fe 1,25%.....   | 72 |
| Gambar L.5.1 Nilai <i>band gap</i> TiO <sub>2</sub> anatas.....   | 73 |
| Gambar L.5.2 Nilai <i>band gap</i> TiO <sub>2</sub> -Fe 0,75%.....  | 74 |
| Gambar L.5. 3 Nilai <i>band gap</i> TiO <sub>2</sub> -Fe 1%.....  | 74 |
| Gambar L.5.4 Nilai <i>band gap</i> TiO <sub>2</sub> -Fe 1,25%.....  | 75 |

## DAFTAR PERSAMAAN

|   |    |
|---|----|
| Persamaan 3.1 Persamaan Kubelka-Munk.....             | 32 |
| Persamaan 3.2 Penentuan nilai panjang gelombang ..... | 32 |
| Persamaan 3.3 Penentuan nilai persen degradasi .....  | 33 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|   |    |
|---|----|
| Lampiran 1. Diagram Alir.....                     | 60 |
| Lampiran 2. Perhitungan.....                      | 64 |
| Lampiran 3. Dokumentasi.....                      | 67 |
| Lampiran 4. Hasil Karakterisasi XRD .....         | 69 |
| Lampiran 5. Hasil Karakterisasi UV-Vis/DRS .....  | 73 |
| Lampiran 6. Uji Aktivitas Fotodegradasi LAS ..... | 76 |

## ABSTRAK

**Herdiansyah, Mohammad Rifqi. 2023. Aktivitas Fotodegradasi *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) Menggunakan Material TiO<sub>2</sub>-Fe dengan Variasi Komposisi Dopan dan Massa Fotokatalis.** 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: Dr. M. Imamudin Lc, MA

---

**Kata Kunci:** TiO<sub>2</sub>-Fe, sonikasi, *Linear Alkylbenzene Sulfonate*

*Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) adalah limbah surfaktan dari detergen yang mencemari lingkungan karena mengganggu proses oksigenasi dalam air. Metode fotodegradasi limbah adalah metode penanganan limbah dengan bantuan cahaya menggunakan material fotokatalis sehingga dihasilkan senyawa yang lebih sederhana. Material yang digunakan pada proses fotodegradasi adalah TiO<sub>2</sub>-Fe. Penggunaan dopan Fe berperan dalam menggeser rentang kerja TiO<sub>2</sub> pada rentang panjang gelombang sinar tampak.

Material TiO<sub>2</sub>-Fe dengan komposisi dopan 0,75; 1 dan 1,25% disintesis menggunakan prekursor TiO<sub>2</sub> anatas dan Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O menggunakan metode sonikasi. Material hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) serta UV-Vis/Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis/DRS). Uji aktivitas fotodegradasi *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) menggunakan variasi komposisi dopan dan massa fotokatalis dengan penyinaran pada sinar tampak selama 120 menit.

Hasil karakterisasi menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) pada material TiO<sub>2</sub>-Fe dengan komposisi dopan 0,75; 1 dan 1,25% mengindikasikan memiliki struktur anatas. Pada hasil karakterisasi UV-Vis/Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis/DRS) dihasilkan data nilai energi gap TiO<sub>2</sub>-Fe dengan komposisi dopan 0,75; 1 dan 1,25% berturut-turut sebesar 3,08; 3,01 dan 2,93 eV. Hasil optimum fotodegradasi selama 120 menit pada penyinaran sinar tampak dihasilkan pada variasi komposisi dopan sebesar 1,25% dengan nilai degradasi sebesar 83,63% sedangkan pada penentuan massa optimum fotokatalis terdapat pada massa 375 mg dengan nilai degradasi 85,87%.

## ABSTRACT

**Herdiansyah, Mohammad Rifqi. 2023. Photodegradation Activity of Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) Using TiO<sub>2</sub>-Fe Material with Variations in Dopants Composition and Photocatalyst Mass.** Essay. Department of Chemistry Science and Technology Faculty Maulana Malik Ibrahim Islamic State University. Supervisor I: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc; Supervisor II: Dr. M. Imamudin Lc, MA

---

**Keywords:** TiO<sub>2</sub>-Fe, sonication, Linear Alkylbenzene Sulfonate

Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) is a surfactant waste from detergents that pollutes the environment because it interferes with the oxygenation process in water. The photodegradation method of waste is a method of treating waste with the help of light using a photocatalyst material to produce simpler compounds. The material used in the photodegradation process is TiO<sub>2</sub>-Fe. The use of Fe dopants plays a role in shifting the working range of TiO<sub>2</sub> in the visible light wavelength range.

TiO<sub>2</sub>-Fe material with a dopant composition of 0.75; 1 and 1.25% were synthesized using the precursors TiO<sub>2</sub> anatase and Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O using the sonication method. The synthesized material was characterized using X-Ray Diffraction (XRD) and UV-Vis/Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis/DRS). Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) photodegradation activity test using variations of dopant composition and photocatalyst mass by irradiating in visible light for 120 minutes.

The characterization results used X-Ray Diffraction (XRD) on TiO<sub>2</sub>-Fe material with a dopant composition of 0.75; 1 and 1.25% indicate having an upper structure. Based on the results of the characterization of UV-Vis/Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis/DRS), data on the gap energy value of TiO<sub>2</sub>-Fe with a dopant composition of 0.75; 1 and 1.25% respectively at 3.08; 3.01 and 2.93 eV. The optimum results of photodegradation for 120 minutes in visible light irradiation were obtained at a variation of dopant composition of 1.25% with a degradation value of 83.63% while in determining the optimum mass of the photocatalyst there was a mass of 375 mg with a degradation value of 85.87%.

## الملخص

هيرديانيسياه، مُجدِّ رفقي. ٢٠٢٣. نشاط التحلل الضوئي لسلفونات دوديسيل بنزين الصوديوم (LAS) باستخدام مادة  $TiO_2-Fe$  مع اختلاف التركيب المنشط وكتلة المحفز الضوئي. البحث الجامعي. قسم الكيمياء، كلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: لؤلؤة حميدة العليا، الماجستير. المشرف الثاني: د. مُجدِّ إمام الدين، الماجستير

الكلمات الرئيسية:  $TiO_2-Fe$ ، صوتنة، سلفونات دوديسيل بنزين الصوديوم.

سلفونات دوديسيل بنزين الصوديوم (LAS) هي نفايات خافضة للتوتر السطحي من المنظفات التي تلوث البيئة، لأنها تتداخل مع عملية الأوكسجين في الماء. طريقة التحلل الضوئي للنفايات هي طريقة للتعامل مع النفايات بمساعدة الضوء باستخدام مادة محفزة ضوئية بحيث يتم إنتاج مركبات أبسط. المواد المستخدمة في عملية التحلل الضوئي هي  $TiO_2-Fe$ . يلعب استخدام شوائب Fe دورا في تحويل نطاق عمل  $TiO_2$  في نطاق الأطوال الموجية للضوء المرئي.

مركب  $TiO_2-Fe$  بتركيبية منشطات تبلغ ٠.٧٥؛ تم تصنيع ١ و ١.٢٥% باستخدام السلائف  $TiO_2$  anatas و  $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$  باستخدام طريقة الصوتنة. تم توصيف المادة المركبة باستخدام حيود الأشعة السينية (XRD) والتحليل الطيفي للانعكاس للأشعة المرئية فوق البنفسجية / مطيافية الانعكاس المنتشر (UV-Vis / DRS). اختبار نشاط التحلل الضوئي لسلفونات دوديسيل بنزين الصوديوم (LAS) باستخدام الاختلافات في تكوين الشوائب وكتلة المحفز الضوئي مع التشعيع للضوء المرئي لمدة ١٢٠ دقيقة.

نتائج التوصيف باستخدام حيود الأشعة السينية (XRD) على مادة  $TiO_2-Fe$  بتركيبية شوائب تبلغ ٠.٧٥؛ أشار ١ و ١.٢٥% إلى وجود هيكل علوي. في نتائج توصيف التحليل الطيفي للأشعة المرئية فوق البنفسجية / مطيافية الانعكاس المنتشر (UV-Vis / DRS)، تم إنتاج بيانات عن قيمة الطاقة لفجوة  $TiO_2-Fe$  بتكوين شوائب يبلغ ٠.٧٥؛ ١ و ١.٢٥% على التوالي بقيمة ٣.٠٨، ٣.٠١ و ٢.٩٣ فولت. تم إنتاج النتيجة المثلى للتحلل الضوئي لمدة ١٢٠ دقيقة في تشعيع الضوء المرئي في تباين في تكوين الشوائب بنسبة ١.٢٥% مع قيمة تحلل ٨٣.٦٣%، بينما في تحديد الكتلة المثلى للمحفز الضوئي تم العثور على كتلة من ٣٧٥ ملغ مع قيمة تحلل من ٨٥.٨٧%.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Detergen merupakan kebutuhan pokok dalam kehidupan kita. Penggunaannya yang masif mengakibatkan limbah detergen banyak ditemukan di perairan. Contohnya pencemaran air di Kota Malang, di mana sebanyak 23 dari 32 sampel air melebihi ambang batas pencemaran (Hadi *et al.*, 2021). Hasil tersebut mengindikasikan tingkat pencemaran air khususnya di Kota Malang cukup mengkhawatirkan. Penelitian tersebut melaporkan bahwa terdapat berbagai sumber polutan salah satunya adalah limbah laundry. Limbah tersebut memiliki komponen aktif yakni surfaktan (Razavi *et al.*, 2020). Surfaktan sendiri memiliki sifat kationik, anionik, maupun nonionik. Surfaktan merupakan zat aktif permukaan yang tergolong dalam bahan kimia anorganik (Hendra *et al.*, 2016). Salah satu surfaktan yang dipakai yaitu *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) yang memiliki efektivitas yang tinggi (Razavi *et al.*, 2020). Namun, LAS memiliki sifat toksik dan berbahaya bagi ekosistem lingkungan. LAS merupakan agen destabilisasi yang berbahaya bagi flora dan fauna perairan (Astuti, 2018). Adanya LAS mengakibatkan suplai oksigen dari udara menjadi sangat lambat akibat busa yang menutupi permukaan air (Zainul *et al.*, 2019), sedangkan pada manusia sendiri memiliki dampak seperti iritasi mata dan katarak (Hendra *et al.*, 2016).

Berdasarkan uraian di atas, maka limbah detergen perlu dilakukan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan. Aktivitas penggunaan detergen berupa LAS secara langsung sangatlah berbahaya. Tindakan tersebut memiliki

dampak buruk bagi ekosistem lingkungan serta manusia. Perilaku manusia seperti di atas tertera dalam Al-Qur'an surat Ar-Rum 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)

Merujuk ayat di atas terdapat pesan secara implisit menuntun manusia untuk mengetahui serta menyadari arti penting dari melestarikan dan menjaga lingkungan. Hal tersebut relevan karena pada akhirnya, setiap kerusakan lingkungan secara umum maupun khusus akan berdampak buruk kepada makhluk hidup dalam jangka pendek atau jangka panjang (Safrihsyah, 2014).

Terdapat beberapa metode yang dapat diaplikasikan dalam mengolah limbah detergen diantaranya biodegradasi, adsorpsi, fotofenton, elektrokoagulasi, membran, biofilter, dan fotodegradasi (Apriyani, 2017). Namun, metode seperti biodegradasi, biofilter, dan membran tersebut membutuhkan biaya operasional yang tidak sedikit dan kontrol yang relatif sulit sehingga kurang efektif untuk diterapkan. Penggunaan elektrokoagulasi serta adsorpsi menggunakan karbon aktif seperti hanya memindahkan limbah dari satu tempat ke tempat lain sehingga tidak menyelesaikan masalah dan hanya menimbulkan polusi lain (Agusriyanti & Artsanti, 2015; Apriyani, 2017). Oleh karena kekurangan tersebut, dapat dikatakan beberapa metode tersebut kurang efektif. Hal ini menjadikan perlunya sebuah metode yang efektif, relatif murah, dan mudah dalam aplikasinya. Metode tersebut dikenal dengan fotodegradasi.

Fotodegradasi merupakan metode penguraian senyawa menjadi yang lebih sederhana seperti  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , asam atau basa mineral serta senyawa lain dengan bantuan foton (Oktapiani *et al.*, 2021). Proses fotodegradasi membutuhkan material fotokatalis. Menurut Aliah *et al.* (2012) penggunaan fotokatalis memiliki keunggulan seperti (1) memiliki sifat oksidasi yang kuat; (2) tidak terbentuk senyawa baru yang toksik; (3) memiliki ikatan kimia yang stabil terhadap cahaya; (4) tidak larut dalam air; dan (5) memiliki biaya yang relatif murah. Material semikonduktor memiliki ciri khusus berupa adanya pita valensi dan pita konduksi yang dipisahkan oleh adanya energi gap (celah pita).

Salah satu material semikonduktor yang sering digunakan adalah titania atau titanium (IV) oksida ( $\text{TiO}_2$ ). Penggunaan  $\text{TiO}_2$  didasarkan pada karakteristiknya yang tidak bersifat toksik (Lee *et al.*, 2020), kestabilan secara kimia dan termal cukup tinggi.  $\text{TiO}_2$  juga memiliki aktivitas fotokatalitik tinggi serta dapat digunakan berulang kali tanpa menurunkan fungsinya sebagai katalis (Choi *et al.*, 2010). Aktivitas fotokatalis pada fase anatas  $\text{TiO}_2$  memiliki luas permukaan besar dengan ukuran yang lebih kecil dibandingkan rutil. Pada fase anatas, kristal  $\text{TiO}_2$  memiliki nilai  $E_g$  sebesar 3,2 eV di mana terletak pada rentang sinar UV (Aliyah & Maharani, 2021).  $\text{TiO}_2$  murni dapat mendegradasi  $51.99 \pm 7.36\%$  surfaktan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) (Jariyanorasade & Junyapoon, 2018). Untuk menggeser rentang kerja  $\text{TiO}_2$  pada sinar tampak, maka perlu ditambahkan dopan. Penambahan dopan pada matriks material semikonduktor  $\text{TiO}_2$  dapat berupa logam (Pratiwi *et al.*, 2020) atau nonlogam (Le & Tran, 2020).

Penambahan dopan akan berdampak pada mengecilnya energi celah pita yang setara dengan energi sinar tampak. Salah satu logam yang berpotensi menjadi dopan  $\text{TiO}_2$  adalah Besi ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Dopan  $\text{Fe}^{3+}$  pada  $\text{TiO}_2$  dapat menggeser serapan dari sinar UV ke sinar tampak sehingga lebih efisien digunakan untuk proses fotokatalisis di lingkungan (Pratiwi *et al.*, 2020). Berdasarkan penelitian Ambati & Gogate (2018) penambahan dopan  $\text{Fe}^{3+}$  dapat meningkatkan % degradasi *acid blue* menggunakan  $\text{TiO}_2\text{-Fe}$  memberikan nilai degradasi 11% lebih tinggi jika dibandingkan  $\text{TiO}_2$  murni. Menurut Pratiwi *et al.* (2020) konsentrasi dopan  $\text{Fe}^{3+}$  sebanyak 0,125% akan meningkatkan aktivitas fotokatalitik dengan menurunkan  $E_g$  hingga 2,11 eV sedangkan jika konsentrasi dopan lebih banyak maka akan menurunkan aktivitas fotokatalitiknya.

Material  $\text{TiO}_2\text{-Fe}$  dapat disintesis menggunakan beberapa metode seperti sol-gel, *hydrothermal*, *co-precipitation*, dan sonikasi. Pada metode sol-gel sering menggunakan pelarut organik yang bersifat toksik dan waktu pemrosesan relatif lama. Metode *hydrothermal* memiliki *slurry* yang bersifat korosif dan penggunaan bejana tekanan yang tinggi akan berbahaya jika terjadi kecelakaan. Pada metode *co-precipitation* yang tidak cocok untuk pembuatan material yang tingkat kemurniannya tinggi. Pada penelitian ini digunakan metode sintesis sonikasi yang dapat menghasilkan material dengan ukuran yang lebih kecil dan luas permukaan yang tinggi. Hal tersebut karena adanya efek kavitas akustik, yaitu terjadinya pembentukan dan pertumbuhan busa pada cairan (Ningsih, 2016). Hasil sintesisnya memiliki ukuran partikel dan  $E_g$  yang kecil yakni sebesar 25,42 nm dan 2,9 eV (Ambati & Gogate, 2018).

Merujuk pada penjelasan di atas, maka penelitian ini digunakan material  $\text{TiO}_2\text{-Fe}$  yang disintesis dengan metode sonikasi. Karakterisasi material menggunakan instrument *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur dan ukuran kristal material hasil sintesis, serta *UV-Vis/Diffuse Reflectance Spectroscopy* (Uv-Vis/DRS) untuk mengetahui energi celah pita material hasil sintesis. Setelah itu, dilakukan uji aktivitas fotodegradasi *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) menggunakan material  $\text{TiO}_2\text{-Fe}$  dengan variasi komposisi dopan dan massa fotokatalis.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan apa yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat dirumuskan rumusan masalah antara lain:

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi dopan terhadap efektivitas fotodegradasi *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) menggunakan katalis  $\text{TiO}_2\text{-Fe}$  ?
2. Bagaimana pengaruh variasi massa fotokatalis terhadap efektivitas fotodegradasi *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) menggunakan katalis  $\text{TiO}_2\text{-Fe}$  ?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh komposisi dopan terhadap efektivitas fotodegradasi *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) menggunakan katalis  $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ .

2. Untuk mengetahui pengaruh massa fotokatalis terhadap efektivitas fotodegradasi *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) menggunakan katalis TiO<sub>2</sub>-Fe.

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan-batasan permasalahan dalam penelitian ini antara lain:

1. Komposisi dopan besi (III) yang digunakan sebesar 0,75%; 1%; 1,25% Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O,
2. Metode sintesis yang digunakan adalah metode sonikasi *vibracell* dengan gelombang ultrasonik 20 KHz,
3. Karakterisasi dilakukan dengan instrumen XRD dan UV-Vis/DRS,
4. Sumber cahaya yang digunakan adalah halogen 20 watt ( $\lambda = 400-780$  nm) dengan waktu penyinaran 120 menit dan konsentrasi LAS 25 ppm,
5. Variasi massa fotokatalis antara lain 275; 325; 375; 425; 475 mg
6. Pengukuran konsentrasi fotodegradasi LAS menggunakan metode MBAS dengan Spektrofotometer UV-Vis.

#### 1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai karakteristik dan aktivitas fotokatalisis dari TiO<sub>2</sub> terdoping besi (III), yang dapat digunakan sebagai dasar pengembangan dan pemanfaatan fotokatalis TiO<sub>2</sub> terdoping besi (III) dalam mendegradasi *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS).

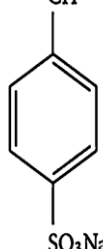
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)*

*Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)* merupakan surfaktan anionik yang terdapat dalam detergen. Detergen dengan zat aktif kationik dan anionik menyebabkan berbagai masalah lingkungan di antaranya agregasi busa di permukaan air yang mencegah oksigenasi dalam air, menghasilkan rasa dan bau yang tidak enak, gangguan koagulasi, flokulasi, dan disfungsi biologis di lingkungan perairan. LAS dalam air akan mendorong pertumbuhan tanaman air dan menghasilkan ion negatif. Setelah dekomposisi tanaman air, oksigen terlarut untuk oksidasi limbah dan kehidupan air akan berkurang. Maka dari itu ada tahun 1989, EPA merekomendasikan konsentrasi kedua bahan pembusa menjadi 0,5 mg/L dalam air minum (Razavi *et al.*, 2020). Menurut Kepmen LH No.3 Tahun (2010) baku mutu limbah cair untuk surfaktan adalah 10 mg/L.

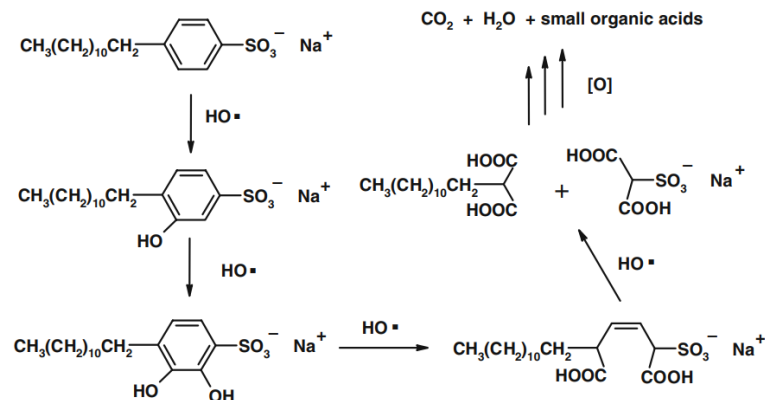
Tabel 2.1 Karakteristik dan Struktur LAS (Razavi *et al.*, 2020)

| LAS                                  | Struktur   | $\lambda_{\max}$ , nm | MW, Gr/cm <sup>3</sup> |
|--------------------------------------|--|-----------------------|------------------------|
| <i>Linear Alkylbenzene Sulfonate</i> | $\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_x-\text{CH}-(\text{CH}_2)_y-\text{CH}_3$  | 652                   | 0.8628                 |

*Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)* memiliki rumus molekul  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$ . LAS banyak dipakai karena biaya yang relatif rendah, kinerja yang baik, dan stabil. LAS memiliki gugus hidrofobik dan hidrofilik.

Memiliki sifat pembersihan karena adanya struktur molekulnya dengan rantai alkil hidrofobik dan gugus sulfonat anionik hidrofilik. Surfaktan LAS paling umum digunakan ( $>1,8 \times 10^6$  ton/tahun) dalam 40 tahun terakhir. Meskipun penelitian ekstensif, tampaknya tidak ada bukti langsung dari biodegradasi lengkap LAS komersial dalam hal kuantitas. Pada penelitian terdahulu, konsentrasi LAS 3,5 mg/L terdapat pada limbah yang tidak diolah (Ahmari *et al.*, 2016). Meskipun tidak termasuk limbah *non-biodegradabel* degradasi LAS berjalan lambat (Hua *et al.*, 2012), jadi dapat terakumulasi lebih banyak. Merujuk pada keterangan tersebut maka perlu adanya reduksi limbah ini pada lingkungan dengan cepat dan efektif.

Fotodegradasi menggunakan material semikonduktor yang memiliki aktivitas fotokatalitik dapat mendegradasi senyawa target menjadi senyawa yang lebih sederhana yakni  $\text{HSO}_3^-$ ,  $\text{CO}_2$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Mekanisme degradasi LAS dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.1 Mekanisme Fotodegradasi LAS (Rizki & Tuhu, 2020).

Jalur oksidatif LAS dimulai dengan oksidasi rantai alkil, yang diikuti oleh oksidasi berturut-turut membentuk asam sulfonil karboksilat dan diakhiri dengan pembelahan dan desulfonasi cincin aromatik. Di hadapan desulfonasi,

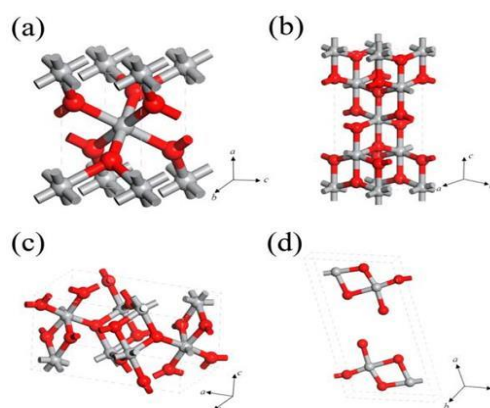
gugus sulfit melepaskan membentuk ion sulfat dan hasil akhir yang diharapkan adalah terbentuknya senyawa asam organik sederhana, H<sub>2</sub>O, dan CO<sub>2</sub> (Gambar 2.1). Oksidasi berkelanjutan akan menghasilkan asam organik kecil dan CO<sub>2</sub> (Ahmari *et al.*, 2016). Pada penelitian Hua *et al.*, (2012) menggunakan biofilm alami dan Jariyanorasade & Junyapoon (2018) dengan fotokatalis TiO<sub>2</sub> menghasilkan % fotodegradasi LAS berturut-turut sebesar 75% dan 83,20%.

## 2.2 Material Fotokatalis Semikonduktor TiO<sub>2</sub>

Semikonduktor TiO<sub>2</sub> dapat digunakan dalam proses purifikasi air, udara, degradasi limbah berbahaya, penghancuran virus dan bakteri yang berperan dalam aktivasi sel kanker, serta berguna pada proses produksi gas hidrogen dari air (Garland *et al.*, 2003). Ciriya adalah adanya pita valensi yang terisi penuh dan pita konduksi yang kosong. Terdapat energi celah pita (E<sub>g</sub>) yang memisahkan kedua pita. Energi celah pita terjadi karena adanya tumpang tindih orbital atom yang akan memberikan pelebaran dan penyempitan pita. Fenomena tersebut mengakibatkan material tersebut dapat menyerap energi radiasi sebesar E<sub>g</sub> yang dimiliki. Radiasi yang diserap sebesar E<sub>g</sub> dapat meningkatkan kepekaan reaksi oksidasi reduksi yang diinduksi oleh cahaya. Pada saat terjadi eksitasi yang melewati E<sub>g</sub> diperlukan waktu tenggang dalam skala nanosekon untuk menghasilkan pasangan elektron-hole (e<sup>-</sup>/h<sup>+</sup>) sebagai hasil eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi (Nogueira & Jardim, 1993). Loncatan elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada logam semikonduktor jika dikenai suatu energi foton. Loncatan elektron menyebabkan timbulnya *hole* (lubang elektron) yang dapat berinteraksi dengan pelarut air membentuk radikal (Fatimah & Wijaya, 2005).

Fotokatalisis adalah reaksi perpaduan antara fotokimia dan katalis. Proses reaksi fotokimia melibatkan suatu cahaya (foto). Katalis adalah suatu zat yang mempengaruhi proses laju reaksi tanpa ikut berubah secara kimia. Katalis dapat mempercepat fotoreaksi melalui interaksinya dengan substrat baik keadaan dasar maupun tereksitasi atau dengan fotoproduk utamanya, bergantung pada mekanisme fotoreaksi tersebut (Kirk & Othmer, 1994). Terdapat banyak jenis material fotokatalis seperti ZnO, TiO<sub>2</sub>, WO<sub>3</sub>, SiO<sub>3</sub>, CdS, tetapi material yang umum digunakan adalah TiO<sub>2</sub> dan ZnO. Pada TiO<sub>2</sub> aktivitasnya dipengaruhi beberapa faktor salah satunya adalah bentuk kristal dari TiO<sub>2</sub>.

Semikonduktor TiO<sub>2</sub> memiliki 3 jenis struktur kristal yang diilustrasikan pada gambar 2.2 di antaranya anatase (*b*), rutil (*a*) dan brokit (*c*). Pada penerapannya sebagai fotokatalis struktur kristal anatase dan rutil banyak digunakan. Namun, ditinjau dari segi kereaktifan struktur anatase memiliki aktivitas fotokatalis yang lebih baik. Struktur ini memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dan luas permukaan yang lebih besar sehingga dalam proses fotokatalitik dapat berinteraksi dengan senyawa target secara optimal (Rzaij & Abass, 2020).

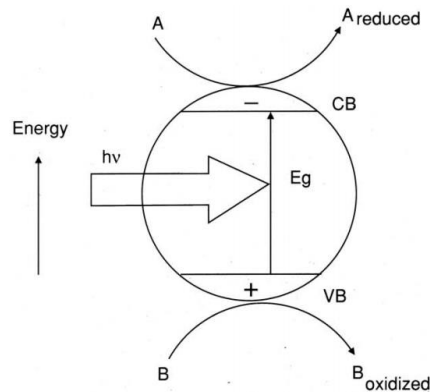


Gambar 2.2 Struktur Kristal TiO<sub>2</sub> (Rzaij & Abass, 2020)

Titania dalam pembentukan struktur kristalnya dapat diatur melalui pengaturan suhu kalsinasi. Sebagai contoh struktur *anatas* dapat terbentuk melalui kalsinasi pada suhu 400 – 650 °C (Supriyanto *et al.*, 2014). Pada struktur kristal *anatas* memiliki bentuk kristal tetragonal dengan energi celah pita atau energi gap 3,2 eV sedangkan pada struktur kristal *rutil* memiliki bentuk kristal tetragonal (Aliyah & Maharani, 2021). Fotokatalis akan semakin mudah menyerap foton dengan tingkat energi lebih kecil ketika nilai energi gap semakin kecil. Sejalan dengan mengecilnya energi gap maka probabilitas *hole* dan elektron untuk rekombinasi juga semakin besar (Oktapiani *et al.*, 2021). Ketika suatu fotokatalis disinari cahaya matahari maka akan berjalan suatu reaksi kimia yang dapat menurunkan energi aktivasi dari suatu reaksi. Fotokatalis TiO<sub>2</sub> bersifat non toksik dan juga merupakan salah satu katalis yang memiliki sifat paling stabil, sehingga sering digunakan dibandingkan dengan katalis lainnya. Senyawa dioksida ini memiliki ciri fisik berwarna putih dengan sifat tahan terhadap karat (Sigma-Aldrich, 2022)

Semikonduktor TiO<sub>2</sub> mempunyai energi celah pita yang besar (3,2 eV *anatas* dan 3,0 eV untuk *rutil*). Pada penelitian Jariyanorasade & Junyapoon (2018) TiO<sub>2</sub> tanpa dopan pada aplikasi fotodegradasi menghasilkan % degradasi 83,20% sedangkan pada Rizky *et al.*, (2020) dengan dopan menghasilkan % degradasi 90%. Energi celah pita pada TiO<sub>2</sub> sesuai untuk proses fotokatalis sehingga memudahkan terjadinya eksitasi ke pita konduksi dan pembentukan  $h^+$  pada pita valensi saat diinduksikan cahaya ultraviolet (Pratiwi *et al.*, 2020). Selain itu, TiO<sub>2</sub> juga mampu menyerap sinar ultraviolet dengan baik, memiliki kestabilan kimia dalam interval pH yang besar (0-14),

tahan terhadap fotodegradasi, bersifat inert dan tidak larut dalam reaksi secara biologis, tidak beracun, memiliki kemampuan oksidasi yang tinggi, serta relatif murah (Trisunaryanti, 2018).



Gambar 2.3 Mekanisme Fotokatalisis (Nogueira & Jardim, 1993)

Pada dasarnya material  $\text{TiO}_2$  kurang reaktif sebagai material fotokatalis karena masih terdapat pada panjang gelombang sinar UV. Untuk itu perlu adanya dopan untuk menggeser panjang gelombang ke daerah sinar tampak ( $\lambda > 400 \text{ nm}$ ). Pada Gambar 2.3 ketika material dikenai oleh cahaya yang memiliki energi lebih besar dari energi celah pita  $E_g$  akan dihasilkan  $e^-$  yang akan mereduksi LAS. Kemudian akan dihasilkan anion radikal superoksida seperti persamaan (4). Pada  $h^+$  yang terbentuk akan bereaksi dengan  $\text{OH}^-$  atau  $\text{H}_2\text{O}$  yang menghasilkan radikal  $\text{OH}\cdot$  seperti pada persamaan (3) yang merupakan jenis oksidator kuat yang dapat memineralisasi senyawa organik menjadi air dan  $\text{CO}_2$  (Ghanbarian *et al.*, 2011).





Cahaya berperan penting dalam proses fotodegradasi menggunakan material fotokatalis. Hal tersebut menjadi salah satu bukti kebermanfaatan ciptaan Allah bagi alam yaitu cahaya. Pada surah Yunus ayat 5 disebutkan :

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

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

Merujuk tafsir Quraish Shihab (2002) Tuhan kalianlah yang menciptakan langit dan bumi, yang menjadikan matahari memancarkan sinar dan bulan mengirimkan cahaya. Dialah yang menjadikan tempat-tempat beredarnya bulan, sehingga cahayanya berbeda-beda sesuai dengan tempat edarnya ini, dengan maksud agar kalian dapat mempergunakannya untuk memperkirakan waktu kalian dan dapat mengetahui bilangan tahun dan hisab. Allah tidak akan menciptakan itu semua kecuali dengan hikmah. Matahari adalah benda langit yang menyala dan memancarkan sinar dari dirinya sendiri serta sebagai sumber kekuatan bagi bumi, seperti sinar dan panasnya. Sedangkan bulan tidak memancarkan sinar dari dirinya sendiri, tetapi memantulkan atau mengembalikan sinar matahari yang jatuh di permukaannya, sehingga terlihat seolah tampak bercahaya. Merujuk pada tafsir tersebut dapat diketahui bahwa cahaya sangat vital bagi kehidupan di bumi, salah satunya sebagai komponen dalam proses fotodegradasi.

### 2.3 Pengaruh Dopan Besi (III) pada Material Fotokatalis TiO<sub>2</sub>

Material TiO<sub>2</sub> anatas jika dikenai sinar UV dengan  $\lambda > 385$  akan menghasilkan spesies oksidator pada permukaannya. TiO<sub>2</sub> merupakan spesies oksidator kuat yang ditunjukkan H<sup>+</sup> pada permukaannya. Oleh karenanya, TiO<sub>2</sub> mampu mengoksidasi spesies kimia yang mempunyai potensi redoks yang lebih kecil. Pengurangan ukuran kristal berguna untuk menekan rekombinasi fotoeksitasi elektron (e<sup>-</sup>) dan lubang (Fatimah & Wijaya, 2005). Selain pengurangan ukuran partikel juga dapat menggunakan proses doping ion untuk menghambat rekombinasi sehingga memberikan aktivitas katalitik yang lebih efektif dan efisien. TiO<sub>2</sub> memiliki energi celah pita yang menguntungkan sebesar 3,2 eV yang membutuhkan panjang gelombang 388 nm untuk eksitasi elektron. Penting untuk dicatat bahwa komposisi utama energi matahari adalah sinar tampak, maka perlu menggunakan cahaya matahari yang memiliki panjang gelombang tampak daripada cahaya buatan dengan panjang gelombang ultraviolet. Untuk mencapai eksitasi fotokatalis menggunakan panjang gelombang di atas 388 nm, diperlukan beberapa modifikasi pada katalis seperti doping katalis TiO<sub>2</sub> (Ambati & Gogate, 2018).

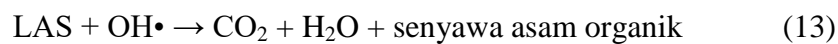
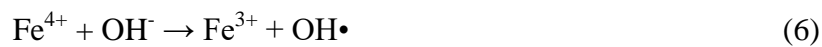
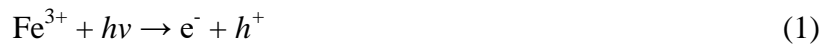
Perlu adanya metode modifikasi struktur kimia sehingga terjadi proses pergeseran penyerapan spektrum ke daerah sinar tampak. Salah satunya adalah penambahan doping dari logam (Pratiwi *et al.*, 2020) dan non logam (Le & Tran, 2020). Penggunaan ion dopan dapat digunakan golongan halida, alkali, lantanida, dan transisi ternyata dapat meningkatkan kinerja dari fotokatalis TiO<sub>2</sub> (Pratiwi *et al.*, 2020). Pemilihan dopan harus mempertimbangkan beberapa aspek salah satunya adalah jari-jari atom. Jika perbandingan jari-jari

atom logam *host* dengan dopan tidak lebih dari 15% maka dimungkinkan larutan padat mengalami substitusi. Namun, jika perbandingan jari-jari atom logam *host* dengan dopan, maka dimungkinkan larutan padat mengalami instersiti (Effendy, 2010).

Doping TiO<sub>2</sub> dengan ion logam transisi lebih disukai karena logam transisi memiliki subkulit *d* yang kosong dengan ditunjukkannya bilangan oksidasi logam transisi terdiri dari dua atau lebih. Bilangan oksidasi ini dapat bertindak sebagai perangkap potensial untuk e<sup>-</sup> yang mengalami fotoregenerasi dan akibatnya akan menghambat laju rekombinasi. Selain itu, banyak dari logam transisi memiliki potensial redoks lebih rendah daripada kondisi energi celah pita TiO<sub>2</sub>. Sehingga substitusi ion logam transisi ke dalam kisi TiO<sub>2</sub> akan menimbulkan energi celah pita tengah yang menghasilkan pemanjangan serapan ke daerah sinar tampak karena elektron dapat ditransfer dari pita valensi ke celah pita atau elektron orbital *d* dopan dapat dipindahkan ke pita konduksi TiO<sub>2</sub> (Ambati & Gogate, 2018; Khan & Berk, 2013).

Logam besi (Fe) dapat menurunkan energi celah pita TiO<sub>2</sub> dari 3,2 eV menjadi lebih kecil, yang berdampak pada bergesernya panjang gelombang ke daerah sinar tampak yang meningkatkan efisiensi aktivitas fotokatalitik. Menurut Ambati & Gogate (2018) berdasarkan *Tauc Plot* ketika TiO<sub>2</sub> didoping menggunakan besi (III) maka akan dihasilkan E<sub>g</sub> sebesar 2,9 eV. Nilai dopan tersebut efektif digunakan dalam rentang  $\lambda$  sinar tampak pada proses fotodegradasi. Dopan Fe<sup>3+</sup> juga cocok dikarenakan kedua material memiliki jari-jari atom yang hampir sama yakni 0,064 nm dan 0,068 nm (Pratiwi *et al.*, 2020). Berdasarkan pemaparan Effendy (2010) maka dalam reaksinya

merupakan reaksi substitusi. Berikut reaksi yang terjadi pada dopan besi (III) dengan adanya sinar matahari :



Ketika cahaya jatuh pada permukaan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  yang didoping dengan besi (III) ( $\text{Fe}^{3+}$ ) maka akan menghasilkan  $e^-/h^+$  (1). Besi (III) yang di doping pada  $\text{TiO}_2$  dapat bertindak sebagai perangkap  $e^-/h^+$  (2-3), menghasilkan ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{4+}$  yang kurang stabil dibandingkan ion  $\text{Fe}^{3+}$  (karena konfigurasi  $d5$  stabil yang terisi setengah). Muatan yang terperangkap dapat dengan mudah dilepaskan kembali untuk membentuk ion  $\text{Fe}^{3+}$  yang stabil. Hal ini menyebabkan pembentukan radikal  $\text{OH}\cdot$  dan anion  $\text{O}^{2-}$  (4-6). Namun, apabila 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 LAS membentuk produk akhir (13) (Sood *et al.*, 2015).

#### **2.4 Metode MBAS (*Methylene Blue Active Substances*)**

Metode MBAS merupakan sebuah metode pewarnaan dengan menambahkan zat warna metilen biru. Metode ini umum dipakai pada pewarnaan surfaktan yang merupakan zat aktif tidak berwarna. Prosesnya secara umum substansi akan berikatan dengan metilen biru kemudian dianalisis menggunakan instrumen UV-Vis. Pada pembacaan konsentrasi LAS secara MBAS dinyatakan bahwa konsentrasi yang terbaca adalah kadar surfaktan anionik pada sampel yang berikatan dengan metilen biru. Prinsip dari ekstraksi ini adalah distribusi zat berdasarkan kelarutannya terhadap pelarut yang ditambahkan. Hal tersebut bertujuan agar surfaktan anionik terikat dengan metilen biru dan terlarut dalam fase kloroform. Pada dasarnya metilen biru merupakan senyawa organik yang memiliki sifat hidrofobik dan memiliki gugus ammonium kuartener, yang lebih efektif dalam membentuk sebuah disosiasi ion dengan surfaktan yang memiliki rantai hidrokarbon panjang. Pada dasarnya terdapat metode lain yang dapat dipakai yakni dengan metode malasit hijau. Namun, penggunaan malasit hijau yang merupakan senyawa organik bersifat hidrofobik dan mempunyai gugus amonium kuartener yang menyebabkan kurang selektif dan kuantitatif untuk membentuk suatu asosiasi ion dengan anion surfaktan yang mempunyai rantai hidrokarbon yang panjang. Semakin panjang rantai hidrokarbon suatu senyawa, makin hidrofob senyawa

tersebut dan makin kuat tambatannya dengan ion lawan yang memiliki hidrofobilitas yang besar. Hal tersebut memungkinkan surfaktan anionik akan memiliki selektivitas yang tinggi dengan menggunakan reagen MBAS (Pratiwi & Prasetya, 2020).

Prinsip dasar dari metode MBAS ini adalah pemindahan metilen biru dari larutan ke dalam pelarut organik yang tidak saling bercampur, kemudian membentuk kompleks antara metilen biru dengan surfaktan anionik. Kelebihan menggunakan *methylen blue active substance* dengan metode Spektrofotometer UV-Vis adalah metode ini memiliki ketelitian yang tinggi, kesalahan dalam metode ini biasanya cenderung kepada *human error* yaitu kesalahan dalam pembuatan larutan standar sehingga kurva standar yang didapat kurang begitu valid yang disebabkan karena kesalahan dalam pembuatan larutan, selain itu kesalahan dari metode ini kemungkinan terjadi pada saat penentuan panjang gelombang maksimum sehingga dapat mempengaruhi nilai konsentrasi sampel yang didapat (Pratiwi & Prasetya, 2020).

## **2.5 Sintesis Material TiO<sub>2</sub>-Fe Metode Sonikasi**

Sonokimia adalah suatu metode sintesis material dengan menggunakan energi suara sebagai energi untuk mendorong perubahan fisika dan kimia dalam medium cairan. Metode sonokimia secara luas digunakan untuk sintesis material baru yang memiliki sifat yang bagus. Metode ini menghasilkan material dengan ukuran yang lebih kecil dan luas permukaan yang tinggi. Efek kimia dari *ultrasound* menghasilkan kavitasi akustik, yaitu terjadinya pembentukan dan pertumbuhan busa pada cairan. Umumnya frekuensi yang

mempunyai rentangan 20 KHz–2 MHz yang digunakan dalam proses sonokimia (Ningsih, 2016).

Kereaktifan kimia pada suatu sistem akan meningkat jika menggunakan metode sonikasi. Hal tersebut karena prosesnya bertindak sebagai katalis untuk lebih mereaktifkan atom-atom dan molekul dalam sistem. Gelombang ultrasonik merambat secara longitudinal, yakni memiliki arah rambat sejajar. Gelombang ini dapat merambat dalam medium padat, cair, dan gas sehingga karakteristik tersebut dapat mengakibatkan getaran partikel secara periodik. Karena prosesnya kontinyu, maka dapat menyebabkan partikel medium membentuk rapatan (*strain*) dan regangan (*stress*). Gelembung kavitasi (*cavitation bubble*) yang terbentuk dapat menghasilkan partikel dalam skala nanometer (Rahmawati & Kusumawati, 2020). Berikut perbandingan metode sintesis terhadap nilai energi gap pada produk sintesis:

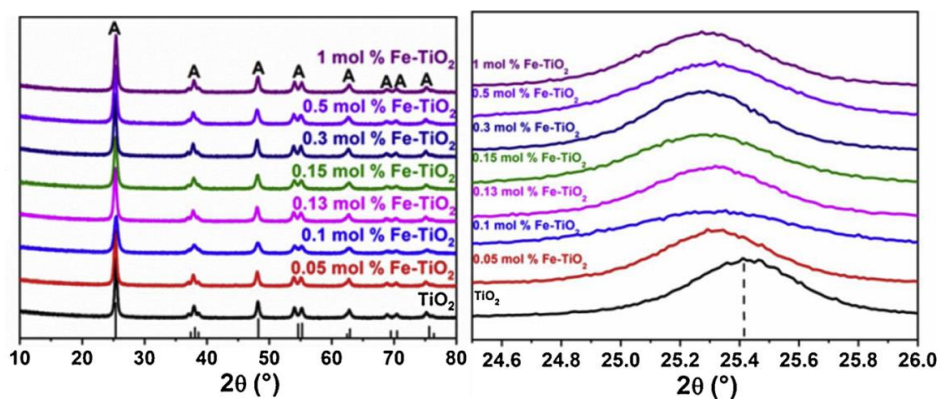
Tabel 2.2 Perbandingan Nilai Eg dengan Metode Sintesis

| Metode Sintesis | Nilai Energi Gap (eV) | Referensi                             |
|-----------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Hydrothermal    | 3,17                  | (Li <i>et al.</i> , 2013)             |
| Sol-Gel         | 3,15                  | (Zhang <i>et al.</i> , 2017)          |
| Solvothermal    | 3,39                  | (Garrafa-Gálvez <i>et al.</i> , 2019) |
| Sonikasi        | 2,98                  | (Rosy & Kalpana, 2018)                |

Penggunaan metode sonikasi dapat menurunkan tegangan permukaan partikel yang menandakan adanya gaya tarik yang lebih rendah dibandingkan dengan metode lainnya. Peningkatan amplitudo dan waktu sonikasi yang menyebabkan peningkatan energi akan berpengaruh pada perubahan ukuran droplet, sehingga partikel-partikel dalam larutan menerima efek yang menyebabkan adanya gaya tarik yang lebih rendah. Partikel akan menyerap

gelombang ultrasonik yang diberikan dari alat ultrasonikator, sehingga akan terjadi peningkatan tegangan geser yang berakibat pada penurunan ukuran partikel (Ambati & Gogate, 2018).

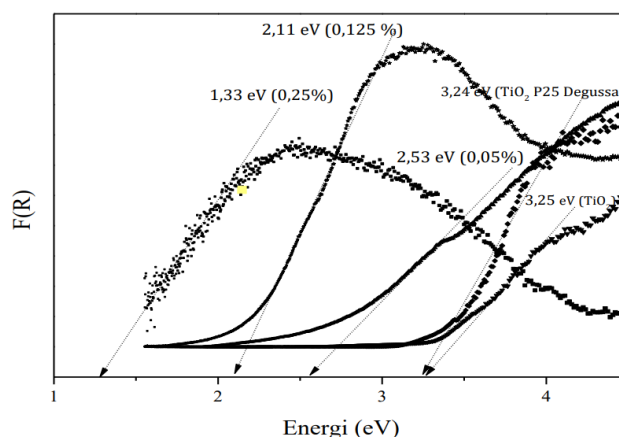
Penggunaan metode sonikasi dinilai lebih efektif dan efisien karena membutuhkan waktu yang relatif lebih singkat dan tidak banyak bahan kimia yang terbuang. Jika ditinjau dari segi keamanan, metode ini tergolong aman karena menggunakan frekuensi yang tidak terlalu tinggi. Jika sintesis melibatkan bahan padat, metode ultrasonik dapat memecah padatan dari energi yang ditimbulkan akibat pecahnya kavitas. Kemudian dapat memberikan komponen reaktan padat dengan luas permukaan yang lebih besar yang berpengaruh pada peningkatan laju reaksi. Selanjutnya adalah dapat menghasilkan ukuran partikel sangat kecil sehingga mencegah terjadinya proses *creaming* atau sedimentasi selama masa penyimpanan. Kristalinitas nanopartikel  $\text{TiO}_2\text{-Fe}$  yang disintesis dengan metode sonokimia mengarah pada peningkatan pembentukan partikel kristal dengan fase anatas, serta adanya doping besi (III) dapat menurunkan ukuran kristal yang terbentuk (Ningsih, 2016; Rahmawati & Kusumawati, 2020). Berikut hasil XRD dari  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2\text{-Fe}$  :



Gambar 2.4 Difraktrogram  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2\text{-Fe}$  (Ismael, 2020).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Jang *et al.*, (2005) diperoleh puncak dengan nilai  $2\theta$  adalah sebagai berikut  $25,21^\circ$ ,  $37,81^\circ$ , and  $47,91^\circ$ . Sedangkan pada penelitian Sood *et al.*, (2015) peak  $2\theta$  teramati pada  $25^\circ$ ,  $38^\circ$ ,  $48^\circ$ ,  $54^\circ$ ,  $55^\circ$ ,  $62^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $75^\circ$  yang merupakan fase anatase. Pada penelitian Pratiwi *et al.*, (2020) doping  $\text{Fe}^{3+}$  tidak mengubah struktur fasa kristal pada  $\text{TiO}_2$ . Puncak difraktogram XRD  $\text{TiO}_2$  pada posisi  $2\theta$   $39^\circ$  memiliki 2 puncak rendah sebagai indikasi adanya kristal dengan fasa rutil. Sedangkan pada  $\text{Fe-TiO}_2$  fasa kristal anatase dan tidak diamati fasa rutil. Pada penelitian lain dopan  $\text{Fe}^{3+}$  terlihat pada  $2\theta$   $35,561^\circ$  and  $62,762^\circ$  (Mirmasoomi *et al.*, 2017). Sedangkan pada penelitian Ismael (2020) menyebutkan bahwa penambahan dopan  $\text{Fe}^{3+}$  akan memberikan pergeseran nilai  $2\theta$  ke arah lebih kecil.  $\text{TiO}_2\text{-Fe}$  yang disintesis metode sonikasi menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil yaitu 25,42 nm. Sedangkan  $\text{TiO}_2\text{-Fe}$  yang disintesis dengan metode konvensional menghasilkan ukuran partikel sebesar 31,15 nm (Ambati & Gogate, 2018).

Adanya penambahan dopan akan berpengaruh pada nilai energi gap. Berikut merupakan salah satu bukti penelitian yang dilakukan Pratiwi *et al.*, (2020) :



Gambar 2.5 Perbandingan  $E_g$   $\text{TiO}_2$  dan  $\text{Fe-TiO}_2$  (Pratiwi *et al.*, 2020)

Pada gambar 2,5 TiO<sub>2</sub> tanpa dopan memiliki nilai energi gap berkisar 3,25 eV. Sementara itu hasil dari penambahan dopan Fe menunjukkan bahwa semakin meningkat konsentrasi dopan maka energi gap (E<sub>g</sub>) semakin kecil di mana nilainya berturut-turut 2,53 eV, 2,11 eV dan 1,33 eV.

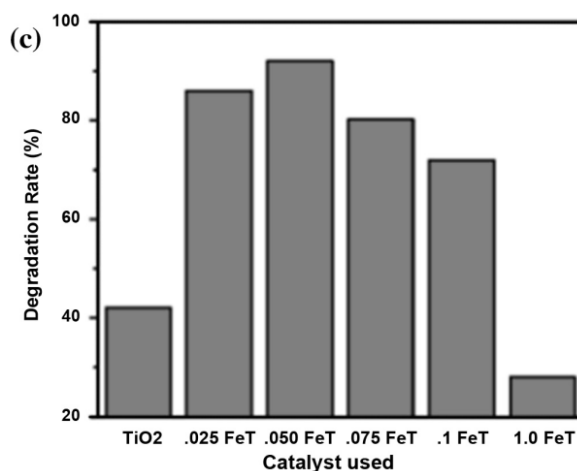
## **2.6 Fotodegradasi *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS)**

### **2.6.1 Pengaruh Variasi Komposisi Dopan**

Material semikonduktor memiliki ukuran dan nilai energi gap yang sangat bervariasi. Pada penelitian ini TiO<sub>2</sub> sebagai material semikonduktor memiliki ukuran sesuai dengan fasanya yakni anatase atau rutil. Ukuran dari material semikonduktor akan berpengaruh pada kinerjanya sebagai fotokatalis. Penggunaan material TiO<sub>2</sub> murni sebagai fotokatalis juga tidak memberikan efektivitas yang tinggi. Maka dari itu perlu adanya material lain sebagai dopan untuk meningkatkan efektivitas material TiO<sub>2</sub> sebagai fotokatalis. Penambahan dopan akan memberikan karakteristik baru pada sintesis suatu material. Penambahan dopan akan berpengaruh pada ukuran partikel dan energi celah pita dari suatu material, yang juga berpengaruh pada aktivitas fotokatalitik pada suatu proses fotodegradasi. Komposisi dopan yang sesuai dapat memberikan nilai optimal aktivitas fotokatalitik. Namun, pemberian yang kurang atau berlebih akan membuat kinerja material fotokatalitik menurun.

Berdasarkan Gambar 2.6 pemberian dopan Fe optimal sebanyak 0,05 % (degradasi 92%) karena ini menyebabkan pemisahan maksimum pembawa muatan fotogenerasi, sehingga *hole* menghasilkan aktivitas fotokatalitik yang sangat baik. Jika kandungan Fe semakin meningkat, hal itu menyebabkan penurunan perilaku fotokatalitik. Hal tersebut dibuktikan dengan pemberian

dopan sebanyak 1 mol% dimana konsentrasi Fe yang sangat tinggi dalam  $\text{TiO}_2$  dapat secara drastis mempengaruhi aktivitas fotokatalitik. Tingkat degradasi fotokatalitik berkurang hanya menjadi 28%. Ini karena pada jumlah yang sangat tinggi ion Fe bertindak sebagai pusat rekombinasi untuk fotoelektron dan *hole* (Sood *et al.*, 2015).



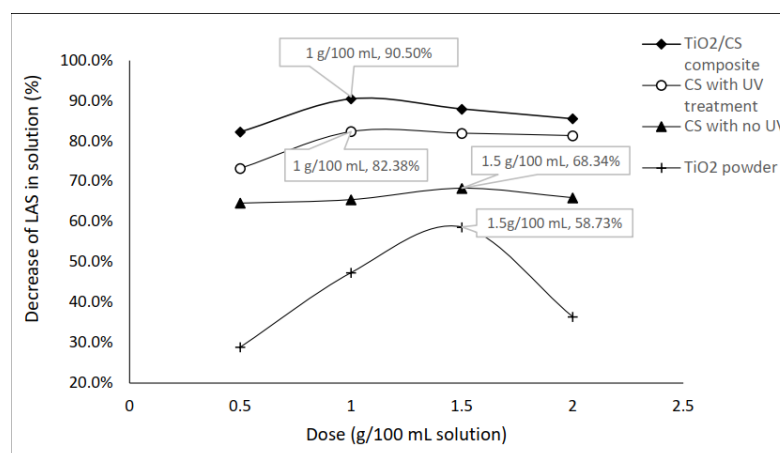
Gambar 2.6 Efek variasi konsentrasi dopan Fe terhadap % degradasi (Sood *et al.*, 2015)

Pada penelitian Khan & Berk (2013) 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, akibatnya 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 fotooksidasi (Jang *et al.*, 2005). Kemudian penambahan dopan yang berlebih membuat nilai  $E_g$  menjadi kecil akibat semakin kecilnya energi celah pita ( $\leq 2,00$  eV) dan dapat mengurangi

situs pembawa muatan yang dihasilkan foton untuk mencapai permukaan karena ditutupi oleh  $\text{Fe}^{3+}$  sehingga mengurangi situs aktif yang dibutuhkan untuk berlangsungnya proses fotokatalisis (Pratiwi *et al.*, 2020). Maka dari itu perlu adanya percobaan untuk mengetahui berapa konsentrasi optimal dopan  $\text{Fe}^{3+}$  dalam  $\text{TiO}_2$  untuk mendegradasi *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS).

## 2.6.2 Pengaruh Massa Fotokatalis

Proses fotodegradasi menggunakan material fotokatalis harus sesuai dosis atau takaran. Penggunaan yang kurang atau berlebih akan berakibat pada menurunnya efektivitas material dalam proses fotokatalitik. Metode dalam sintesis juga berpengaruh pada luas permukaan material. Namun, ketika suatu material fotokatalis digunakan pada proses degradasi limbah hanya sedikit maka proses fotokatalitik akan berjalan lambat. Begitu juga jika penggunaan fotokatalis berlebih akan membuat aktivitasnya menurun. Hal tersebut dibuktikan dengan grafik % degradasi di bawah, pada grafik terdapat dosis optimal dalam pemberian fotokatalis. Setelah melewati titik optimal pemberian fotokatalis berlebih akan menurunkan aktivitas fotokatalitik.



Gambar 2.7 Persen degradasi LAS dengan variasi jumlah fotokatalis (Rizky *et al.*, 2020)

Ketika aktivitas degradasi menurun dari satu konsentrasi optimal berhubungan dengan ketersediaan situs aktif pada permukaan katalis dan penetrasi sinar UV ke dalam suspensi. Total luas permukaan aktif meningkat dengan meningkatnya berat katalis. Namun, pada berat katalis di atas pembebanan optimum terjadi penurunan penetrasi sinar UV karena efek penyaringan partikel katalis berlebih dalam larutan. Oleh karena itu, laju fotodegradasi menurun pada pemuatan katalis yang lebih tinggi (Giahi *et al.*, 2015). Menurut Ahmari *et al.*, (2016) di mana nanopartikel dapat meningkatkan laju penghilangan polusi dengan adanya sinar UV, tetapi peningkatan konsentrasi nanopartikel mengakibatkan adanya suspensi TiO<sub>2</sub>. Suspensi menurunkan efek penyinaran UV pada proses penghilangan polusi. Hal serupa juga dilaporkan oleh Rizky *et al.*, (2020) dan Hendra *et al.*, (2016) bahwa pemberian katalis yang berlebihan menyebabkan penurunan efisiensi yang cukup signifikan untuk menghilangkan LAS. Karena serbuk TiO<sub>2</sub> secara praktis tidak larut dalam air, kandungan TiO<sub>2</sub> yang tinggi dalam air akan membuat partikel yang tersuspensi di dalamnya kemudian menghalangi sinar UV untuk menembus larutan. Penggunaan TiO<sub>2</sub> yang tinggi akan mengurangi efektivitas proses fotodegradasi karena sinar UV dihamburkan oleh partikel TiO<sub>2</sub>. Maka perlu ada penelitian efek massa fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Fe optimal untuk mendegradasi *Linear Aklylbenzene Sulfonate* (LAS).

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Merujuk pada penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan diantaranya :

1. Pada penelitian ini semakin tinggi komposisi dopan besi (III), maka efektivitas fotodegradasi *Linear Alkylbenze Sulfonate* (LAS) akan semakin meningkat. Pada penelitian ini komposisi dopan optimum dalam fotodegradasi *Linear Alkylbenze Sulfonate* (LAS) yaitu sebesar 1,25%.
2. Massa fotokatalis optimum pada komposisi dopan optimum (TiO<sub>2</sub>-Fe 1,25%) dalam proses fotodegradasi *Linear Alkylbenze Sulfonate* (LAS) adalah 375 mg.

#### **5.2 Saran**

1. Perlu dilakukan karakterisasi menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengetahui luas permukaan TiO<sub>2</sub>-Fe, dimana luas permukaan fotokatalis juga mempengaruhi efektivitas proses fotodegradasi.
2. Perlu dilakukan pengukuran konsentrasi LAS pada fasa air menggunakan UV-Vis karena dimungkinkan adanya beberapa LAS yang terdapat pada fasa air.
3. Perlu dilakukan penambahan variasi pada komposisi dopan besi (III).