

**FOTODEGRADASI SURFAKTAN PADA LIMBAH *LAUNDRY*
MENGUNAKAN KOMPOSIT TiO₂-KARBON AKTIF**

SKRIPSI

**Oleh:
DELLA FELLIANA
NIM. 18630069**



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022**

**FOTODEGRADASI SURFAKTAN PADA LIMBAH *LAUNDRY*
MENGUNAKAN KOMPOSIT TiO₂-KARBON AKTIF**

SKRIPSI

**Oleh:
DELLA FELLIANA
NIM. 18630069**

**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
2022**

**FOTODEGRADASI SURFAKTAN PADA LIMBAH LAUNDRY
MENGUNAKAN KOMPOSIT TiO₂-KARBON AKTIF**

SKRIPSI

**Oleh:
DELLA FELLIANA
NIM. 18630069**

**Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal: 5 Desember 2022**

Pembimbing I



**Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc
NIDT. 19900906 20180201 2 239**

Pembimbing II



**Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si
NIP. 19831226 201903 2 008**

**Mengetahui,
Ketua Program Studi**



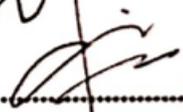
**Rachmawati Ningsih, M.Si
NIP. 19810811 200801 2 010**

**FOTODEGRADASI SURFAKTAN PADA LIMBAH LAUNDRY
MENGUNAKAN KOMPOSIT TiO_2 -KARBON AKTIF**

SKRIPSI

Oleh:
DELLA FELLIANA
NIM. 18630069

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 5 Desember 2022

Penguji Utama	: Elok Kamilah Hayati, M.Si NIP. 19790620 200604 2 002	(..... )
Ketua Penguji	: Susi Nurul Khalifah, M.Sc NIP. 19851020 201903 2 012	(..... )
Sekretaris Penguji	: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc NIDT. 19900906 20180201 2 239	(..... )
Anggota Penguji	: Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si NIP. 19831226 201903 2 008	(..... )

**Mengetahui,
Ketua Program Studi**


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

PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Della Fellianna
NIM : 18630069
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : "Fotodegradasi Surfaktan pada Limbah *Laundry*
Menggunakan Komposit TiO₂-Karbon Aktif"

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

Malang, 12 Desember 2022

Yang membuat pernyataan,



Della Fellianna
NIM. 18630069

MOTTO

*“Terkadang Allah membiarkan kamu untuk merasakan
kepahitan dunia ini supaya kamu dapat sepenuhnya
menghargai manisnya iman”*

~ Omar Suleiman~

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah Swt. atas segala limpahan rahmat, nikmat dan karunia-Nya yang hingga saat ini saya bisa menyelesaikan skripsi saya dengan sebaik mungkin. Naskah skripsi ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya, Bapak Hery Suprijanto dan Ibu Sari Ekowati. Terima kasih atas doa, dukungan, semangat, dan usaha yang diberikan demi kelancaran saya untuk menyelesaikan kuliah dan mendapatkan gelar S.Si. Teruntuk adik saya Searcholino D.M serta seluruh keluarga besar, terima kasih atas doa, nasehat dan dukungannya.

Tak lupa, saya sampaikan terima kasih kepada sahabat saya, Dita, Nida, Bella, Mahmudah, Bunga, Ode, Annora, Riris, Hanin, Tasya, Tita, Fiska, April, Nella, Riri, dan teman-teman kimia angkatan 2018 lainnya yang mau direpotkan dalam segala hal, membantu sepenuh hati, memberikan doa, semangat, hiburan, dan semua kenangan indah.

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

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Syukur alhamdulillah atas kehadiran Allah Swt. yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Fotodegradasi Surfaktan pada Limbah Laundry Menggunakan Komposit TiO₂-Karbon Aktif”**

Selawat dan salam kami haturkan kepada Nabi Muhammad saw. yang telah menunjukkan kita jalan yang lurus dan diridhoi Allah Swt. Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Tujuan dari penyusunan skripsi ini adalah untuk. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, MA, selaku rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si, selaku ketua program studi Kimia Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ibu Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan banyak pengarahan, bimbingan, saran, dan motivasi kepada penulis sampai terselesaikannya skripsi ini.
5. Ibu Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si selaku dosen pembimbing agama yang telah memberikan banyak pengarahan, bimbingan, saran, dan motivasi kepada penulis sampai terselesaikannya skripsi ini.

6. Ibu Anik Maunatin, M.P selaku dosen wali yang telah memberikan dukungan dan motivasi untuk selalu berkembang.
7. Ibu Elok Kamilah Hayati, M.Si dan Ibu Susi Nurul Kholifah, M.Sc selaku dosen penguji skripsi yang telah memberikan banyak pengarahan dan saran kepada penulis.
8. Seluruh dosen, staf, dan laboran program studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang memberikan ilmu, pengetahuan, pengalaman, wawasan, dan pelayanan yang baik kepada penulis.
9. Kedua orang tua yaitu Ibu dan Bapak yang senantiasa terus mendukung penulis tanpa henti serta Adik dan seluruh keluarga besar yang senantiasa memberikan doa dan restunya kepada penulis dalam menuntut ilmu.
10. Teman-teman satu bimbingan (Dita, Nida, Selvi, dan Ica) yang mau meluangkan waktunya untuk berdiskusi mengenai penelitian.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan. Penulis hanya berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada para pembaca khususnya penulis secara pribadi. *Amin Yaa Robbal Alamin.*

Malang, 15 November 2022

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	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
مستخلص البحث.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan.....	7
1.4 Batasan Penelitian	8
1.5 Manfaat Penelitian.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1. Degradasi Surfaktan pada Limbah <i>Laundry</i>	9
2.2. Material Semikonduktor TiO ₂ -karbon aktif sebagai Fotokatalis.....	11
2.3. Karbon Aktif sebagai Media Absorpsi	14
2.4. Sintesis TiO ₂ -karbon aktif dengan Metode Sonikasi	16
2.5. Pandangan Islam Mengenai Pencemaran Lingkungan dan Penangananya	19
BAB III METODELOGI PENELITIAN.....	22
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	22
3.2. Alat dan Bahan	22
3.2.1. Alat	22
3.2.2. Bahan.....	22
3.3. Rancangan Penelitian	22
3.4. Tahapan Penelitian	23
3.5 Cara Kerja.....	24
3.4.1. Preparasi Karbon Aktif.....	24
3.4.2. Aktivasi Karbon Aktif.....	24
3.4.3. Sintesis Komposit TiO ₂ -karbon aktif	24
3.4.4. Karakterisasi Komposit TiO ₂ -karbon aktif	25
3.4.4.1. Karakterisasi dengan XRF.....	25
3.4.4.2. Karakterisasi dengan FTIR.....	25

3.4.4.3. Karakterisasi dengan UV-Vis DRS	25
3.4.5. Pembuatan Kurva Standar dan Sampel <i>Linear Alkylbenzene Sulfonate</i> (LAS).....	26
3.4.5.1. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum <i>Linear Alkylbenzene Sulfonate</i> (LAS).....	26
3.4.5.2. Pembuatan Kurva Standar <i>Linear Alkylbenzene Sulfonate</i> (LAS)	26
3.4.5.4. Pembuatan Larutan Induk <i>Linear Alkylbenzene Sulfonate</i>	28
3.4.5.5. Analisis MBAS (<i>Methylen Blue Active Substance</i>)	28
3.4.6. Uji Aktivitas Fotokatalis TiO ₂ -karbon aktif terhadap Degradasi Surfaktan pada Limbah <i>Laundry</i>	29
3.4.6.1. Penentuan Komposisi Optimum Karbon Aktif pada Komposit TiO ₂ -karbon aktif untuk Fotodegradasi Surfaktan pada Limbah <i>Laundry</i>	29
3.4.6.2. Penentuan Massa Optimum Komposit TiO ₂ -karbon aktif untuk Fotodegradasi Surfaktan pada Limbah <i>Laundry</i>	29
3.4.6.3. Pengujian Efektivitas Komposit TiO ₂ -karbon aktif untuk Fotodegradasi Surfaktan pada Limbah <i>Laundry</i>	30
3.6 Analisis Data	30
3.4.7. Analisis Data XRF	30
3.4.8. Analisis dengan FTIR.....	31
3.4.9. Analisis Hasil UV-Vis DRS.....	31
3.6.4. Analisis Aktivitas Fotokatalitik	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1. Preparasi dan Aktivasi Karbon Aktif	33
4.2. Sintesis Komposit TiO ₂ -Karbon Aktif	34
4.3. Analisis Karakterisasi Komposit TiO ₂ -Karbon Aktif	35
4.3.1. Analisis Karakterisasi Komposit TiO ₂ -Karbon Aktif dengan XRF	35
4.3.2 Analisis Karakterisasi Komposit TiO ₂ -Karbon Aktif dengan UV-Vis DRS	36
4.3.3. Analisis Karakterisasi Komposit TiO ₂ -Karbon Aktif dengan FTIR	40
4.4. Penentuan Konsentrasi LAS (<i>Linear Alkylbenzene Sulfonate</i>)	42
4.4.1. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum LAS (<i>Linear Alkylbenzene Sulfonate</i>)	42
4.4.2. Penentuan Kurva Standar LAS (<i>Linear Alkylbenzene Sulfonate</i>)	43
4.4.3 Penentuan Waktu Kestabilan MBAS (<i>Methylene Blue Active Substances</i>).....	44
4.5 Uji Aktivitas Komposit TiO ₂ -Karbon Aktif terhadap Degradasi Surfaktan pada Limbah <i>Laundry</i>	45
4.5.1. Penentuan Komposisi Optimum Karbon Aktif pada Komposit TiO ₂ -Karbon Aktif untuk Fotodegradasi Surfaktan pada Limbah <i>Laundry</i>	45
4.5.2. Penentuan Massa Optimum Komposit TiO ₂ -Karbon Aktif untuk Fotodegradasi Surfaktan pada Limbah <i>Laundry</i>	46
4.5.3. Pengujian Efektivitas Komposit TiO ₂ -Karbon Aktif untuk Fotodegradasi Surfaktan pada Limbah <i>Laundry</i>	48
4.6. Fotokatalis untuk Pengolahan Limbah dalam Perspektif Islam	49

BAB V PENUTUP	49
5.1. Kesimpulan.....	53
5.2. Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat struktur kristal titanium (IV) oksida	13
Tabel 2.2 Waktu degradasi tetrasilin.....	16
Tabel 3.1 Karakteristik vibrasi TiO ₂ dan karbon aktif.....	31
Tabel 4.1 Hasil XRF TiO ₂ anatas, TiO ₂ -karbon aktif 95:5, TiO ₂ -karbon aktif 90:10, dan TiO ₂ -karbon aktif 75:25.....	36
Tabel 4.2 Energi celah pita dan daerah serapan panjang gelombang	39
Tabel 4.3 Identifikasi gugus fungsi.....	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur TiO ₂ : (a) rutil (b) anatase (c) brookite	12
Gambar 2.2 Nilai energi celah pita beberapa material semikonduktor	13
Gambar 2.3 SEM karbon aktif	14
Gambar 2.4 DRS (a) Plot Kubelka-Munk, (b) plot P25, TiO ₂ , TiO ₂ -karbon aktif 16	
Gambar 2. 5 Ilustrasi skema kavitas akustik.....	17
Gambar 2.6 Ilustrasi pengecilan ukuran partikel akibat kavitas akustik)	18
Gambar 4.1 Hasil karbon aktif teraktivasi	34
Gambar 4.2 Hasil beberapa komposisi komposit (a) TiO ₂ -karbon aktif 95:5 (b) TiO ₂ -karbon aktif 90:10 (c) TiO ₂ -karbon aktif 75:25	35
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara % reflektansi dengan panjang gelombang	37
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara F(R) dengan panjang gelombang	38
Gambar 4.5 Nilai energi celah pita TiO ₂ anatase dan TiO ₂ -karbon aktif	39
Gambar 4.6 Spektra FTIR karbon aktif, TiO ₂ anatase, TiO ₂ -karbon aktif 95:5, TiO ₂ -karbon aktif 90:10, dan TiO ₂ -karbon aktif 75:25.....	41
Gambar 4.7 Grafik panjang gelombang maksimum LAS.....	42
Gambar 4.8 Grafik kurva standar LAS	43
Gambar 4.9 Grafik hasil penentuan waktu kestabilan MBAS	44
Gambar 4.10 Hasil fotodegradasi LAS dengan variasi komposisi karbon aktif pada komposit TiO ₂ -karbon aktif	45
Gambar 4.11 Hasil fotodegradasi LAS dengan variasi massa komposit TiO ₂ - karbon aktif	47
Gambar 4.12 Hasil uji efektivitas komposit TiO ₂ -karbon aktif untuk fotodegradasi LAS	48

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Rancangan Penelitian	60
Lampiran 2 Diagram Alir Penelitian.....	61
Lampiran 3 Perhitungan	71
Lampiran 4 Dokumentasi.....	74
Lampiran 5 Hasil Karakterisasi XRF.....	75
Lampiran 6 Hasil Karakterisasi FTIR	77
Lampiran 7 Hasil Karakterisasi UV-Vis DRS	80
Lampiran 8 Uji Aktivitas Fotodegradasi LAS	82

ABSTRAK

Felliana, D. 2022. **Fotodegradasi Surfaktan pada Limbah Laundry Menggunakan Komposit TiO₂-Karbon Aktif**. *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 : Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si

Kata Kunci : Limbah *Laundry*, Surfaktan, LAS, TiO₂, Karbon Aktif, Fotodegradasi

Perkembangan usaha *laundry* di berbagai tempat semakin meningkat sehingga mengakibatkan semakin banyak detergen yang digunakan, dan semakin besar volume limbah *laundry* yang dihasilkan. Kandungan surfaktan dengan konsentrasi tinggi pada limbah *laundry* akan menyebabkan pencemaran lingkungan. Salah satu jenis surfaktan yang terdapat pada detergen komersial yaitu *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS). Pada penelitian ini dilakukan fotodegradasi surfaktan pada limbah *laundry* menggunakan komposit TiO₂-karbon aktif sebagai upaya dalam mendegradasi senyawa organik dalam fasa cair untuk menjadi senyawa yang lebih sederhana.

Material komposit TiO₂-karbon aktif yang digunakan untuk fotokatalisis disintesis dengan metode sonikasi dan dikarakterisasi dengan *X-Ray Fluoresence* (XRF) untuk mengetahui presentase kandungan logam yang terdapat pada sampel, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi serapan, dan *UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV Vis DRS) untuk mengetahui energi celah pita dan daerah serapan dari material hasil sintesis. Selanjutnya uji aktivitas fotokatalis dilakukan untuk mendegradasi surfaktan dengan variasi komposisi karbon aktif pada TiO₂-karbon aktif, variasi massa komposit TiO₂-karbon aktif, dan uji efektivitas.

Hasil karakterisasi XRF yang dilakukan terhadap sampel menunjukkan bahwa penambahan komposisi karbon aktif yang semakin banyak akan menurunkan presentase unsur Ti karena tergantikan oleh unsur lain dengan presentase unsur Ti pada TiO₂ anatas, TiO₂-karbon aktif 95:5, TiO₂-karbon aktif 90:10, dan TiO₂-karbon aktif 75:25 berturut-turut adalah 98,17%; 97,81%; 97,66%; dan 97,55%. Hasil karakterisasi FTIR menghasilkan serapan gugus fungsi C=C pada 1680-1610 cm⁻¹. Serta, berdasarkan hasil karakterisasi UV-Vis DRS menunjukkan penurunan energi celah pita dari TiO₂ anatas sebesar 3,20 eV ke TiO₂-karbon aktif 95:5, 90:10, dan 75:25 berturut-turut sebesar 3,16 eV; 3,15 eV; dan 3,10 eV. Hasil komposisi optimum karbon aktif pada TiO₂-karbon aktif untuk fotodegradasi LAS adalah 95:5, massa optimum TiO₂-karbon aktif untuk fotodegradasi LAS sebesar 375 mg, dan kondisi optimum fotodegradasi LAS pada kondisi penambahan TiO₂-karbon aktif 95:5 sebanyak 375 mg serta disinari dengan lampu UV selama 4 jam menghasilkan % degradasi sebesar 68,54%.

ABSTRACT

Felliana, D. 2022. **Photodegradation of Surfactants in Laundry Waste Using TiO₂-Activated Carbon Composite**. *Thesis*. Department of Chemistry Faculty of Science and Technology State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor I : Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc. Supervisor II : Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si

Keywords: Laundry Waste, Surfactant, LAS, TiO₂, Activated Carbon, Photodegradation

The development of laundry businesses in various places is increasing, resulting in more detergents being used, and the greater the volume of laundry waste generated. The content of surfactants with high concentrations in laundry waste will cause environmental pollution. One type of surfactant found in commercial detergents is Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS). In this study, photodegradation of surfactants in laundry waste was carried out using a TiO₂-activated carbon composite as an effort to degrade organic compounds in the liquid phase to become simpler compounds.

The TiO₂-activated carbon composite material used for photocatalysis was synthesized by sonication method and characterized by X-Ray Fluorescence (XRF) to determine the percentage of metal content in the sample, Fourier Transform Infrared (FTIR) to determine the absorption functional group, and UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV Vis DRS) to determine the band gap energy and absorption area of the synthesized material. Furthermore, photocatalyst activity tests were carried out to degrade surfactants with variations in the composition of activated carbon on TiO₂-activated carbon, variations in the mass of TiO₂-activated carbon composites, and effectiveness tests.

The results of XRF characterization carried out on samples showed that the addition of more active carbon compositions would reduce the percentage of Ti elements because they were replaced by other elements with the percentage of Ti elements in anatase TiO₂, TiO₂-activated carbon 95:5, TiO₂-activated carbon 90:10, and TiO₂-activated carbon 75:25 are 98.17%; 97.81%; 97.66%; and 97.55%. The results of FTIR characterization resulted in the absorption of functional groups C=C at 1680-1610 cm⁻¹. Also, based on the results of the UV-Vis DRS characterization, the band gap energy decreased from TiO₂ above by 3.20 eV to TiO₂-activated carbon at 95:5, 90:10, and 75:25 by 3.16 eV; 3.15 eV; and 3.10 eV. The results of the optimum composition of activated carbon on TiO₂-activated carbon for LAS photodegradation is 95:5, the optimum mass of TiO₂-activated carbon for LAS photodegradation is 375 mg, and the optimum condition of LAS photodegradation under conditions of addition of TiO₂-activated carbon 95:5 as much as 375 mg and irradiated with a UV lamp for 4 hours resulted in a % degradation of 68.54%.

مستخلص البحث

فيليبانا، د. 2022. التحلل الضوئي للمواد الخافضة للتوتر السطحي في نفاية الغسيل باستخدام مركب الكربون المنشط TiO_2 . البحث العلمي. قسم الكيمياء. كلية العلوم والتكنولوجيا. جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرفة الأولى: : لؤلؤة الحميدة العليا ، الماجستير. المشرفة الثانية: ليليك مفتاح الخيرة، الماجستير

الكلمة الأساسية : نفاية الغسيل، المواد الخافضة للتوتر السطحي، LAS، TiO_2 ، الكربون المنشط، التحلل الضوئي

يتزايد تطوير أعمال الغسيل في أماكن مختلفة مما يؤدي إلى استخدام المزيد المنظفات وزيادة حجم نفاية الغسيل المتولدة. سوف يتسبب محتوى المواد الخافضة للتوتر السطحي ذات التركيزات العالية في نفاية الغسيل في تلوث البيئة. أحد أنواع المواد الخافضة للتوتر السطحي الموجودة في المنظفات التجارية هي خطي ألكيل بنزين سلفونات (LAS). في هذا البحث، تم إجراء التحلل الضوئي للمواد الخافضة للتوتر السطحي في نفاية الغسيل باستخدام مركب الكربون المنشط TiO_2 كمحاولة لتحطيم المركبات العضوية في المرحلة السائلة لتصبح مركبات أبسط.

تم تصنيع مادة مركب الكربون المنشط TiO_2 المستخدمة للتحفيز الضوئي بطريقة الصوتنة وتميزت باستخدام الأشعة السينية الفلورية (XRF) لمعرفة النسبة المئوية للمحتوى المعدني في العينة، وتحويل فورييه للأشعة تحت الحمراء (FTIR) لتحديد مجموعة الامتصاص الوظيفية ، و UV-Vis و Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV Vis DRS) لمعرفة طاقة فجوة النطاق ومنطقة الامتصاص للمواد المركبة. علاوة على ذلك، تم إجراء اختبارات نشاط الحفز الضوئي لتحطيم المواد الخافضة للتوتر السطحي مع وجود اختلافات في تكوين الكربون المنشط على الكربون المنشط TiO_2 والاختلافات في كتلة مركبات الكربون المنشط TiO_2 ، واختبارات الفعالية.

يشير نتائج توصيف XRF الذي تم إجراؤه على العينة أن إضافة تركيبات كربون أكثر نشاطاً ستقلل من النسبة المئوية لعناصر Ti لأنها تمت استبدالها بعناصر أخرى مع النسبة المئوية لعناصر Ti في anatase TiO_2 ، الكربون المنشط 5 : 95 TiO_2 ، الكربون المنشط 10 : 90 TiO_2 ، والكربون المنشط 25 : 75 TiO_2 هي 98.17%، على التوالي ؛ 97.81% ؛ 97.66% ؛ و 97.55%. أدت نتائج توصيف FTIR إلى امتصاص المجموعة الوظيفية C = C عند 1610-1680 سم⁻¹ والتي افترضت أن TiO_2 قد تم توزيعه / تشتيته على سطح الكربون المنشط. أيضاً ، بناءً على نتائج توصيف

UV-Vis DRS، انخفضت طاقة فجوة النطاق من TiO_2 أعلاه بمقدار 3.20 فولت إلى الكربون المنشط TiO_2 عند 95:5 ، 90:10 ، و 75:25 ، على التوالي، بمقدار 3.16 فولت ؛ 3.15 فولت ؛ و 3.10 فولت. كانت نتائج التركيب الأمثل للكربون المنشط على الكربون المنشط TiO_2 من أجل التحلل الضوئي 95:5 LAS ، وكانت الكتلة المثلى للكربون المنشط TiO_2 للتحلل الضوئي LAS 375 مجم، وكانت الظروف المثلى للتحلل الضوئي LAS تحت ظروف إضافة كان الكربون المنشط TiO_2 95:5 375 مجم وتم تشعيه بمصباح UV لمدة 4 ساعات مما أدى إلى تدهور بنسبة 68.54٪.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu kebutuhan pokok manusia dalam menjalankan kehidupan sehari-harinya adalah air. Air menjadi hal yang tidak terlepas dalam kegiatan sehari-hari seperti mencuci, mandi, minum dan lain sebagainya. Air hasil kegiatan manusia tersebut kemudian akan berubah menjadi air limbah, khususnya adalah limbah hasil cucian baju atau limbah *laundry*. Perkembangan usaha *laundry* di berbagai tempat semakin meningkat. Jumlah usaha *laundry* yang semakin meningkat mengakibatkan semakin banyak detergen yang digunakan, dan semakin besar volume limbah *laundry* yang dihasilkan. Air limbah *laundry* mengandung senyawa dengan konsentrasi tinggi antara lain fosfat, surfaktan, dan kadar padatan terlarut, kekeruhan, BOD, dan juga COD yang tinggi. Tingginya nilai parameter pada air limbah *laundry* akan menyebabkan pencemaran lingkungan.

Bahan kimia yang menjadi masalah pencemaran di badan air adalah adanya surfaktan pada suatu detergen yang digunakan sebagai bahan aktif untuk membersihkan kotoran. Surfaktan merupakan zat yang dapat menyebabkan turunnya suatu tegangan permukaan pada cairan, terutama pada air. Hal ini dapat menyebabkan pembentukan gelembung dan pengaruh permukaan lainnya. Selain itu bahaya dari surfaktan antara lain dapat menyebabkan permukaan kulit kasar, hilangnya kelembapan alami yang ada pada permukaan kulit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kulit manusia hanya mampu memiliki toleransi kontak dengan bahan kimia dengan kandungan 1% *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) dan *Alfa*

Olefin Sulfonate (AOS) yang dapat mengakibatkan iritasi sedang pada kulit (Aji, 2020). Pada penelitian ini akan digunakan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) sebagai larutan uji. *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) adalah salah satu surfaktan anionik paling umum yang dapat ditemukan sebagai komponen dalam detergen komersial. Penggunaan LAS terutama meningkat setelah ABS (*alkyl benzene sulfonates*), jenis lain dari surfaktan anionik, dilarang karena sifatnya tidak dapat terurai secara hayati. Meskipun LAS dapat terurai secara hayati di lingkungan, detergen air limbah yang mengandung LAS masih perlu diolah dengan baik sebelum dibuang ke lingkungan (Rizky *et al.*, 2020).

Manusia dituntut untuk memelihara, menjaga, dan meningkatkan kelestarian lingkungan hidup sesuai dengan tujuan yang dikehendaki-Nya, serta memikirkan solusi untuk mengatasi permasalahan-permasalahan yang ada di muka bumi, sebagaimana firman Allah Swt. pada surat Hud (11) ayat 61 :

﴿وَالِإِلَىٰ تَمُودَ أَخَاهُمْ صَالِحًا قَالَ يُقَوْمِ اعْبُدُوا اللَّهَ مَا لَكُمْ مِن إِلَهٍ غَيْرُهُ هُوَ أَنشَأَكُم مِّنَ الْأَرْضِ وَاسْتَعْمَرَكُمْ فِيهَا فَاسْتَغْفِرُوهُ ثُمَّ تَوْبُوا إِلَيْهِ إِنَّ رَبِّي قَرِيبٌ مُّحِيبٌ ﴿٦١﴾

Artinya : “dan kepada kaum Samud (Kami utus) saudara mereka, Saleh. Dia berkata, Wahai kaumku! Sembahlah Allah, tidak ada Tuhan bagimu selain dia. Dia (Allah) yang menciptakan kamu dari tanah dan memerintahkan kamu memakmurkannya karena itu mohonlah ampunan-Nya, kemudian bertaubatlah kepada-Nya. Sesungguhnya Tuhanku amat dekat (rahmat-Nya) lagi memperkenankan (do'a hamba-Nya).” (Q.S. Hud (11): 61)

Ayat di atas menunjukkan bahwa Allah Swt. memerintahkan manusia memakmurkan bumi dan menjadikan manusia benar-benar mampu memakmurkan dan membangun bumi. Penelitian fotodegradasi surfaktan pada limbah *laundry* menggunakan komposit TiO₂-karbon aktif ini merupakan salah satu upaya manusia sebagai khalifah dalam menjaga, memakmurkan, dan membangun bumi.

Berbagai metode telah banyak dilakukan oleh peneliti untuk mengurangi pencemaran dari limbah *laundry* ini terhadap lingkungan. Salah satu bentuk

penanggulangannya adalah fotodegradasi surfaktan pada limbah *laundry* dengan komposit TiO₂-karbon aktif. Fotodegradasi yaitu proses penguraian senyawa zat organik menjadi senyawa yang lebih aman bagi lingkungan dengan bantuan energi foton (Septiana, 2014). Proses fotodegradasi didasarkan pada prinsip fotokatalitik (Alinsafi *et al.*, 2007). Metode ini efisien dalam mendegradasi senyawa organik dalam fasa cair sehingga menjadi senyawa yang lebih sederhana. Menurut penelitian Astuti (2018) bahwa metode fotodegradasi terkatalis TiO₂ menurunkan kandungan surfaktan dalam limbah *laundry* dari 168,64 mg/L menjadi 6,38 mg/L (96,28%) pada 50 mL volume limbah dengan massa fotokatalis TiO₂ yang optimum 50 mg dan waktu penyinaran optimum selama 22 jam. Sehingga proses fotodegradasi ini cukup menjanjikan untuk diaplikasikan dalam pengolahan limbah *laundry*.

Metode fotodegradasi membutuhkan fotokatalis semikonduktor dalam prosesnya. Fotokatalis yang digunakan dalam metode fotodegradasi antara lain: TiO₂, CdS dan Fe₂O₃ serta radiasi sinar ultraviolet (UV) dengan panjang gelombang sesuai dengan energi celah yang dimiliki oleh bahan semikonduktor tersebut. Sinar *ultra violet* memiliki panjang gelombang λ (100 – 280) nm dan mampu bekerja sama dengan baik dengan TiO₂. TiO₂ berperan sebagai katalis pada proses fotokatalis ini dengan menyerap energi cahaya yang dipancarkan oleh sinar UV-C. Dalam proses degradasi, TiO₂ melakukan perpindahan elektron untuk menurunkan nilai pencemarnya. Proses fotokatalis menggunakan TiO₂ dan sinar UV-C ini memiliki efektivitas yang tinggi, dengan lama waktu penyinaran 2,5 jam, sinar UV-C 36 watt, dan menggunakan TiO₂ sebesar 2,2 gr. Pada kondisi ini TiO₂ memiliki nilai efektifitas dalam menurunkan surfaktan sebesar 95,61% (Wardhani *et al.*,

2016). Berdasarkan penelitian Hendra 2015, penambahan TiO_2 0,5 gram sampai pada penambahan 1,5 gram pada proses fotodegradasi senyawa LAS menunjukkan penambahan persen degradasi berbanding lurus dengan penambahan jumlah TiO_2 yang digunakan sebagai katalis, dimana konsentrasi optimum TiO_2 yang didapatkan sebanyak 1.5 gram dengan persen degradasi 88,51% . Hal ini disebabkan karena jumlah TiO_2 didalam larutan akan mempengaruhi jumlah radikal OH yang terbentuk. Radikal OH ini yang berperan untuk mendegradasi senyawa LAS. Sedangkan, penambahan katalis TiO_2 2 gram dan 2,5 gram mengalami penurunan persen degradasi. Penurunan persen degradasi terjadi karena penyerapan sinar UV terhalang oleh TiO_2 yang telah berlebih dari jumlah TiO_2 optimum yang bisa menghasilkan radikal hidroksil didalam larutan.

TiO_2 (Titanium dioksida) sendiri merupakan bahan semikonduktor yang paling unggul di antara bahan semikonduktor lainnya dan ketersediaannya melimpah (Fatimah *et al.*, 2006). TiO_2 memiliki keunggulan di antaranya tidak beracun, memiliki aktivitas fotokatalis yang baik, harganya murah, berlimpah, tidak larut dalam air, semikonduktor dengan *band gap* lebar, luas permukaan besar dan stabilitas kimia tinggi (Rahman *et al.*, 2014). Namun TiO_2 memiliki kelemahan yaitu laju rekombinasi elektron *hole* yang tinggi (Surenjan *et al.*, 2017). Selain itu, TiO_2 serbuk memiliki kelemahan dalam aplikasi pada teknologi fotokatalis di antaranya adalah kesulitan dalam memisahkan TiO_2 dari larutan, kecenderungan menggumpal pada konsentrasi tinggi, dan kesulitan untuk mendaur ulang material (Asiltürk dan Şener, 2012).

Usaha yang dilakukan untuk mengatasi kelemahan TiO_2 terkait penggumpalan partikel, maka TiO_2 ditambahkan dengan media absopsi seperti

karbon aktif (Sarno *et al.*, 2015). Keunggulan karbon aktif sebagai media adsorpsi pada berbagai aplikasi karena memiliki pori yang seragam dan kemampuan adsorpsi yang tinggi sehingga bisa digunakan sebagai adsorben dan dapat membantu proses adsorbsikatalitik. Karbon aktif mampu mengadsorpsi molekul organik yang kemudian akan didegradasi oleh TiO₂. Penggunaan karbon aktif diharapkan mampu meningkatkan luas permukaan TiO₂, ketahanan dan kestabilan struktur serta komposisi TiO₂. Martins *et al.* (2017), menyatakan bahwa TiO₂ yang ditambahkan dengan karbon aktif dengan perbandingan karbon aktif sebanyak 25% dapat meningkatkan luas permukaan dan menghasilkan ukuran kristal yang lebih kecil dan meningkatkan sifat fotokatalitik material dengan memberikan nilai energi celah pita yang lebih rendah daripada TiO₂ tanpa penambahan karbon aktif. TiO₂ yang ditambahkan dengan karbon aktif hanya membutuhkan waktu 16 menit untuk mendegradasi tetracilin 50 mg/L dibandingkan TiO₂ murni yang membutuhkan waktu 23 menit. Berdasarkan penelitian Poluakan *et al.* 2015, TiO₂-karbon aktif mendegradasi *remazol yellow* dalam jumlah yang lebih banyak dibandingkan TiO₂-zeolit pada beberapa konsentrasi *remazol yellow* yaitu 83% dengan TiO₂-zeolit dan 95% dengan TiO₂-karbon aktif. Hal ini disebabkan pada modifikasi TiO₂-karbon aktif jumlah material TiO₂ lebih banyak daripada karbon aktif sehingga interaksi antara sinar UV dengan TiO₂ sebagai fotokatalis tidak terhambat, sedangkan modifikasi TiO₂-zeolit menggunakan campuran TiO₂ dalam jumlah yang lebih sedikit daripada material zeolit. Hal ini mempengaruhi aktivitas fotokatalitik TiO₂. Sinar UV yang datang sedikit terhalangi untuk berinteraksi dengan TiO₂ karena zeolit yang menempel pada permukaan TiO₂ dalam jumlah yang lebih banyak menyebabkan permukaan TiO₂ tidak merata.

Sintesis fotokatalisis dapat dilakukan dengan beberapa metode sintesis di antaranya sol gel, sonikasi, dan padatan. Di antara beberapa metode tersebut, metode sonikasi merupakan metode paling mudah dilakukan (Kustiningsih *et al.*, 2010). Sonikasi dipercaya dapat memperkecil ukuran partikel dengan waktu yang relatif cepat, murah, dan sederhana. Metode ini sangat mudah dilakukan karena memanfaatkan getaran, ultrasonik bath dengan frekuensi 20 kHz. Gelombang ultrasonik pada metode sonikasi diharapkan dapat membantu meningkatkan keseragaman partikel TiO₂ dalam skala nanometer sehingga dapat memaksimalkan fungsi dari TiO₂ (Astuti dan Ningsi, 2017). Penelitian sebelumnya Poluakan *et al.* (2015) yang mensintesis TiO₂-karbon aktif menggunakan metode sonokimia untuk mendegradasi zat warna *remazol yellow* menghasilkan aktivitas fotodegradasi sebesar 95% pada konsentrasi awal 30 ppm.

Berdasarkan uraian di atas maka dalam penelitian ini akan dilakukan sintesis TiO₂-karbon aktif menggunakan metode sonikasi pada variasi komposisi karbon aktif pada TiO₂-karbon aktif. TiO₂-karbon aktif dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Fluoresence* (XRF) untuk menganalisis komposisi unsur, mengidentifikasi lokal struktur TiO₂-karbon aktif menggunakan Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), dan *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS) untuk mengetahui nilai energi celah pita material hasil sintesis. Selanjutnya TiO₂-karbon aktif juga melalui uji fotokatalitik untuk mengetahui kemampuan sampel dalam mendegradasi surfaktan dengan variasi komposisi karbon aktif pada TiO₂-karbon aktif, variasi massa komposit TiO₂-karbon aktif, dan juga uji efektivitas penambahan komposit TiO₂-karbon aktif. Analisis kadar LAS dengan metode MBAS (*Methylen Blue Active Surfactant*) yaitu dengan

menambahkan zat metilen biru yang berfungsi untuk mengikat senyawa surfaktan tersebut dan akan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah karakterisasi komposit TiO_2 yang ditambahkan dengan karbon aktif?
2. Berapa komposisi optimum karbon aktif pada komposit TiO_2 -karbon aktif yang dapat digunakan untuk fotodegradasi surfaktan limbah *laundry*?
3. Berapa massa optimum komposit TiO_2 -karbon aktif yang dapat digunakan untuk fotodegradasi surfaktan limbah *laundry*?
4. Bagaimanakah efektivitas komposit TiO_2 -karbon aktif dalam fotodegradasi surfaktan limbah *laundry*?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui karakterisasi komposit TiO_2 yang ditambahkan dengan karbon aktif.
2. Untuk mengetahui komposisi optimum karbon aktif pada komposit TiO_2 -karbon aktif yang dapat digunakan untuk fotodegradasi surfaktan limbah *laundry*.
3. Untuk mengetahui massa optimum komposit TiO_2 -karbon aktif yang dapat digunakan untuk fotodegradasi surfaktan limbah *laundry*.
4. Untuk mengetahui efektivitas komposit TiO_2 -karbon aktif dalam fotodegradasi surfaktan limbah *laundry*.

1.4 Batasan Penelitian

1. Surfaktan pada limbah *laundry* yang digunakan adalah *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS)
2. Komposit yang digunakan adalah TiO₂-karbon aktif
3. Sintesis TiO₂-karbon aktif menggunakan metode sonikasi
4. Variasi komposisi karbon aktif pada TiO₂-karbon aktif yang digunakan adalah 95:5, 90:10, 75:25
5. Variasi massa komposit TiO₂-karbon aktif yang digunakan adalah 125, 250, 375, 500, 625 mg
6. Variasi uji efektivitas yang dilakukan adalah fotodegradasi sampel + TiO₂ dalam kondisi gelap, sampel + TiO₂ dengan sinar UV, sampel + karbon aktif dalam kondisi gelap, sampel + karbon aktif dengan sinar UV, dan sampel + TiO₂-karbon aktif dengan sinar UV
7. Karakterisasi TiO₂-karbon aktif dengan XRF, FTIR, dan UV-Vis DRS
8. Analisis kadar LAS dengan metode MBAS (*Methylen Blue Active Surfactant*)

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah kepada masyarakat tentang fotodegradasi limbah *laundry* dengan komposit TiO₂-karbon aktif, karakteristik struktur, dan aktivitas material fotokatalis TiO₂-karbon aktif yang disintesis menggunakan metode sonikasi. Selain itu, diharapkan material hasil sintesis dapat digunakan dalam mendegredasikan limbah zat organik berupa surfaktan, sehingga dapat membantu mengurangi pencemaran lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Degradasi Surfaktan pada Limbah *Laundry*

Salah satu hasil kegiatan yang menghasilkan limbah cair adalah kegiatan mencuci pakaian. Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan majunya teknologi, kegiatan mencuci pakaian saat ini tidak hanya menjadi kegiatan rumah tangga, akan tetapi sudah menjadi salah satu sumber usaha yang menghasilkan limbah, yaitu hadirnya tempat *laundry* pakaian yang menghasilkan limbah detergen dalam jumlah yang besar setiap harinya. Limbah detergen 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 (Purnamasari, 2014).

Detergen umumnya tersusun atas tiga komponen utama yaitu, surfaktan sebagai bahan dasar detergen yang berkisar antara 22–30%, bahan *builders* dan bahan aditif (pemutih dan pewangi). Surfaktan merupakan molekul yang memiliki gugus polar yang suka air (hidrofilik) dan gugus nonpolar yang suka minyak (lipofilik) sekaligus, sehingga dapat mempersatukan campuran yang terdiri dari minyak dan air (Purnamasari, 2014).

Surfaktan adalah bahan aktif permukaan yang bekerja menurunkan tegangan permukaan cairan, sifat aktif ini diperoleh dari sifat ganda molekulnya. Bagian molekul polarnya dapat bermuatan positif, negatif ataupun netral, bagian netral, bagian polar mempunyai gugus hidroksil sementara bagian nonpolar biasanya merupakan rantai alkil yang panjang (Purnamasari, 2014). Dibalik

kegunaan surfaktan juga terdapat bahaya bagi manusia antara lain sisa dari bahan surfaktan yang terdapat dalam detergen dapat membentuk klorobenzena pada proses klorinasi pengolahan air minum Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Klorobenzena merupakan senyawa kimia yang bersifat racun dan berbahaya bagi kesehatan. Kandungan detergen yang cukup tinggi dalam air dapat menyebabkan pengurangan kadar oksigen. Selain itu, surfaktan dapat menyebabkan permukaan kulit kasar, hilangnya kelembapan alami yang ada pada permukaan kulit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kulit manusia hanya mampu memiliki toleransi kontak dengan bahan kimia dengan kandungan 1% *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) dan *Alfa Olefin Sulfonate* (AOS) yang dapat mengakibatkan iritasi sedang pada kulit. Surfaktan dapat bersifat toksik jika tertelan. (Aji, 2020).

Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) adalah salah satu surfaktan anionik yang paling umum digunakan dalam detergen komersial. LAS terdiri dari cincin aromatik tersulfonasi pada posisi para dan terikat pada rantai alkil linier pada atom karbon. LAS merupakan pembersih yang bagus atau kelarutannya baik. Selain itu, LAS memiliki toksisitas rendah hingga sedang, non-bioakumulasi dan mudah terurai secara hayati (Jariyanorasade dan Junyapoon, 2018). Namun, air limbah detergen yang mengandung LAS masih perlu diolah dengan baik sebelum dibuang ke lingkungan. Hal ini karena degradasi LAS tidak akan berlangsung secara efektif secara *anaerobic*. Selain itu, kekeruhan yang tinggi juga akan menghambat masuknya sinar matahari untuk proses degradasi. Di tempat-tempat dengan kepadatan penduduk yang tinggi, limbah domestik seringkali mengandung beban air limbah detergen yang tinggi, dan cenderung memiliki kekeruhan yang sangat

tinggi pula sehingga perlu adanya pengolahan limbah surfaktan sebelum dibuang ke lingkungan (Rizky *et al.*, 2020).

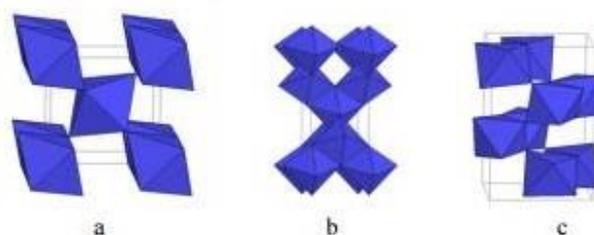
Pengolahan detergen selama ini menggunakan sistem lumpur aktif secara biodegradasi, hal ini memerlukan waktu yang cukup lama serta biaya relatif besar sehingga belum efektif dalam mengolah air yang mengandung detergen di lingkungan. Selain menggunakan sistem lumpur aktif detergen juga bisa diolah dengan menggunakan *trickling filter* (Schlehek *et al.*, 2000). Akan tetapi, metode tersebut memerlukan beberapa tahapan proses, bahan kimia, serta menghasilkan residu yang berbahaya bagi kesehatan. Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu teknik yang lebih efektif dan efisien guna mengatasi kendala-kendala tersebut. Salah satu metode potensial untuk mendegradasi senyawa ini adalah dengan menggunakan teknik fotodegradasi memakai fotokatalis (Hendra *et al.*, 2015). Berdasarkan penelitian Rizky *et al.* (2020) menyatakan bahwa fotodegradasi pada limbah detergen dengan katalis TiO_2/CS dapat menghilangkan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) sebesar 95%.

Fotodegradasi yaitu suatu proses penguraian senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan menggunakan bantuan energi foton dan radiasi sinar UV. Fotodegradasi zat warna dapat dilakukan dengan menggunakan bahan fotokatalis dan radiasi sinar ultraviolet (UV) (Saraswati *et al.*, 2015).

2.2. Material Semikonduktor TiO_2 -karbon aktif sebagai Fotokatalis

Titanium dioksida (TiO_2) merupakan salah satu semikonduktor yang banyak digunakan sebagai material fotokatalis. TiO_2 memiliki *band gap* (energi celah pita) yang lebar sebesar 3,2 eV. Selain itu, TiO_2 juga termasuk material yang memiliki karakteristik optik yang baik, inert, tidak berbahaya, dan harganya

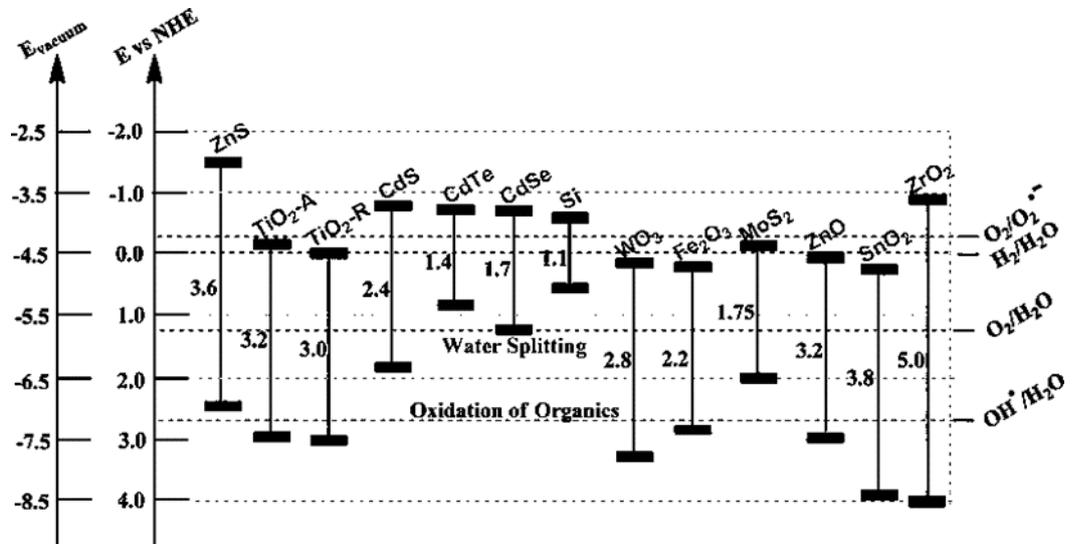
relatif murah. TiO_2 mempunyai tiga jenis struktur kristal dari yaitu rutil, anatase dan brookite seperti ditampilkan pada Gambar 2.1. Struktur TiO_2 yang berbeda-beda, mempengaruhi aktivitas fotokatalis. Struktur anatase dan rutil sama-sama mengkristal dalam tetragonal, namun struktur anatase mengalami distorsi yang mengakibatkan ukurannya lebih besar sedangkan struktur brookite memiliki struktur kristal orthorombik. Ukuran TiO_2 fasa anatase yang lebih kecil daripada rutil dan brookite, akan memperbesar luas area sehingga aktivitas fotokatalis juga meningkat.



Gambar 2.1 Struktur TiO_2 : (a) rutil (b) anatase (c) brookite (Gates, 1991)

Nilai energi celah pita struktur rutil adalah 3,02 eV, anatase adalah 3,23 eV sedangkan brookite adalah 3,14 eV (Di Paola *et al*, 2013). Berdasarkan nilai celah energi dapat diketahui bahwa anatase, rutil, dan brookite mampu menyerap sinar ultraviolet sehingga dapat memungkinkan terjadinya banyak eksitasi elektron dari pita valensi dan pembentukan *hole* pada pita konduksi. Gambar 2.2 menunjukkan kemampuan oksidasi dan reduksi beberapa material semikonduktor berdasarkan nilai energi celah pita. Semakin negatif nilai pita valensi, maka daya oksidasi akan semakin kuat sedangkan semakin positif nilai pita konduksi, maka daya reduksi semakin kuat. Anatase dan rutil memiliki daya oksidasi yang tidak jauh berbeda, namun anatase memiliki daya reduksi yang lebih besar dibandingkan rutil. Sehingga TiO_2 dengan fasa anatase memiliki aktifitas fotokatalis yang lebih baik daripada rutil. Menurut Nolan *et al.* (2011), struktur anatase dapat diperoleh

menggunakan suhu kalsinasi dari 120-500°C, sedangkan struktur rutil dimulai dari suhu 600°C.



Gambar 2.2 Nilai energi celah pita beberapa material semikonduktor (Mao *et al.*, 2005)

Tabel 2.1 Sifat struktur kristal titanium (IV) oksida (Baur, 1961)

Sifat	Rutil	Anatas	Brokit
Struktur Kristal	Tetragonal	Tetragonal	Orthorombik
Tetapan Geometris (Å)	$a=b=$ 4,5936 $c = 2,9587$	$a=b=$ 3,784 $c = 9,515$	$a = 9,184$ $b = 5,447$ $c = 5,154$
Space Group	$P4_2/mnm$	$I4_1/amd$	$Pbca$
Molekul	2	2	4
Volume Molekul (Å ³)	31,2160	34,061	32,172
Berat Jenis (gcm ⁻³)	4,13	3,79	3,99
Panjang Ikatan Ti-O (Å)	1,949 (4) 1,980 (2)	1,937(4) 1,965(2)	1,87–2,04
Sudut Ikatan O-Ti-O (°)	81,2 90,0	77,7 92,6	77,0–105

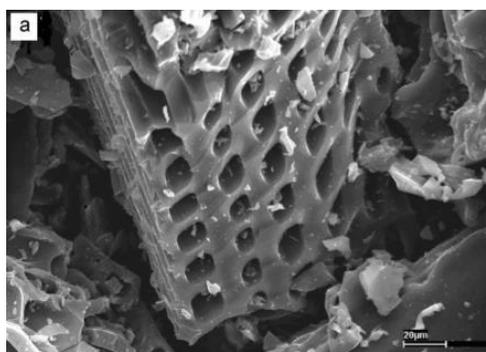
Beberapa penelitian dalam penggunaan TiO₂ untuk fotodegradasi telah dilakukan. Poluakan *et al.* (2015) melaporkan bahwa *remazol yellow* terdegradasi oleh TiO₂/zeolit yang tertinggi sebesar 83% pada konsentrasi awal 20 ppm dan untuk TiO₂-karbon aktif mampu mendegradasi sampai 95% pada konsentrasi awal

30 ppm. Selain itu, penelitian Astuti (2018) menunjukkan bahwa metode fotodegradasi terkatalis TiO_2 menurunkan kandungan surfaktan dalam limbah *laundry* dari 168,64 mg/L menjadi 6,38 mg/L (96,28%) pada 50 mL volume limbah dengan massa fotokatalis TiO_2 yang optimum 50 mg dan waktu penyinaran optimum selama 22 jam.

2.3. Karbon Aktif sebagai Media Adsorpsi

TiO_2 serbuk memiliki kelemahan dalam aplikasi pada teknologi fotokatalis di antaranya adalah kesulitan dalam memisahkan TiO_2 dari larutan, kecenderungan menggumpal pada konsentrasi tinggi, dan kesulitan untuk mendaur ulang material (Asiltürk dan Şener, 2012). Penambahan karbon aktif sebagai media adsorpsi yang dapat disisipkan pada katalis TiO_2 sehingga dapat meningkatkan aktivitas fotokatalisis dari TiO_2 dengan memperluas permukaan TiO_2 (Sudarminto *et.al.*, 2021).

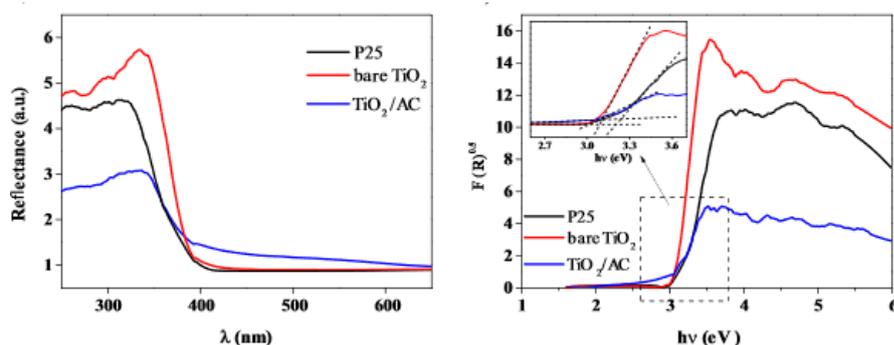
Karbon yang ditingkatkan dayanya melalui aktivasi disebut karbon aktif. Karbon aktif memiliki luas permukaan yang cukup besar sehingga dikenal sebagai adsorben yang cukup baik dan sifat ini dapat membantu proses adsorpsi katalitik (Septiani *et al.*, 2015). Morfologi permukaan dan pori karbon aktif ditampilkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 SEM karbon aktif (Asiltürk dan Şener, 2012)

Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon dan dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Kvech dan Tull (1998) menyatakan bahwa karbon aktif adalah suatu bahan padat yang berpori dan merupakan hasil pembakaran dari bahan yang mengandung karbon melalui proses pirolisis. Sebagian dari pori-porinya masih tertutup hidrokarbon, tar, dan senyawa organik lain. Komponennya terdiri dari karbon terikat (*fixed carbon*), abu, air, nitrogen dan sulfur. Karbon aktif memiliki luas permukaan yang sangat besar yaitu $1,95 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ dengan total volume pori-porinya sebesar $10,28 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ mg}^{-1}$ dan diameter pori rata-rata $21,6 \text{ \AA}$, sehingga sangat memungkinkan untuk menyerap adsorbat dalam jumlah yang banyak. Semakin luas permukaan dari karbon aktif, maka daya serapnya semakin tinggi (Allport, 1997).

Penggunaan senyawa karbon aktif sebagai media abspsi TiO_2 telah dilaporkan beberapa pihak. Martins *et al.* (2017) melaporkan bahwa TiO_2 -karbon aktif mempunyai ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan TiO_2 murni. TiO_2 murni memiliki ukuran $10,3 \text{ nm}$ sedangkan pengembangan pada karbon aktif menghasilkan TiO_2 dengan ukuran $8,53 \text{ nm}$. Ukuran material semakin kecil menghasilkan luas permukaan yang semakin besar sehingga aktivitas fotokatalis juga meningkat. Data DRS yang ditampilkan pada Gambar 2.4 menunjukkan bahwa nilai energi celah pita TiO_2 -karbon aktif lebih kecil dibandingkan nilai energi celah pita TiO_2 . Energi celah pita TiO_2 murni yaitu $3,07 \text{ eV}$, sedangkan setelah diimbangkan pada karbon aktif menghasilkan energi celah pita sebesar $3,04 \text{ eV}$.



Gambar 2.4 DRS (a) Plot Kubelka-Munk, (b) plot P25, TiO₂, TiO₂-karbon aktif (Martins *et al.*, 2017)

Martins *et al.* (2017) juga menyatakan bahwa aktifitas fotokatalis TiO₂ meningkat ketika ditambahkan dengan karbon aktif. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 2.2 yang menyatakan bahwa TiO₂ murni mampu mendegradasi tetrasilin selama 23,7 menit sedangkan setelah penambahan karbon aktif mempercepat proses degradasi menjadi 16,1 menit.

Tabel 2.2 Waktu degradasi tetrasilin (Martins *et al.*, 2017)

Fotokatalis	Waktu Degradasi (min)
P25	19,6
TiO ₂ murni	23,7
TiO ₂ /AC	16,1
Tanpa katalis	260

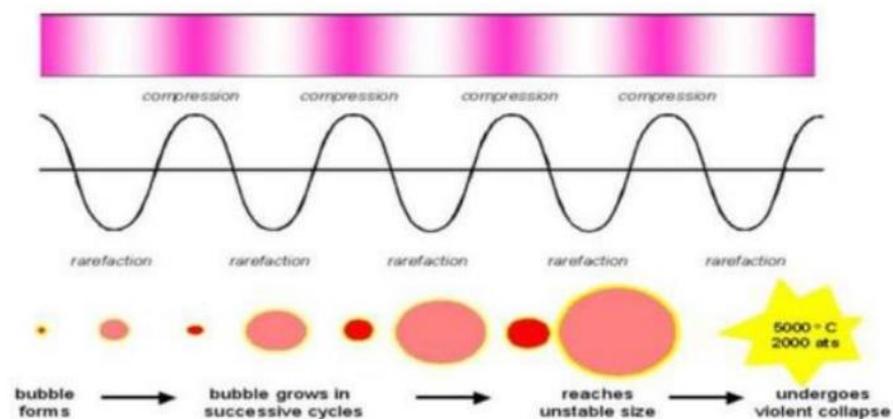
2.4. Sintesis TiO₂-karbon aktif dengan Metode Sonikasi

Metode sonikasi memiliki prinsip dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik dengan frekuensi yang tinggi dan diiradiasikan dalam suatu larutan. Energi ultrasonik yang digunakan dalam sonikasi sekitar 16-1000 kHz. Kelebihan dari metode ini yaitu mampu memecah agregat kristal berukuran besar menjadi agregat yang berukuran lebih kecil hingga sampai berukuran nano, waktu yang digunakan relatif lebih singkat dan tidak banyak bahan kimia yang terbuang.

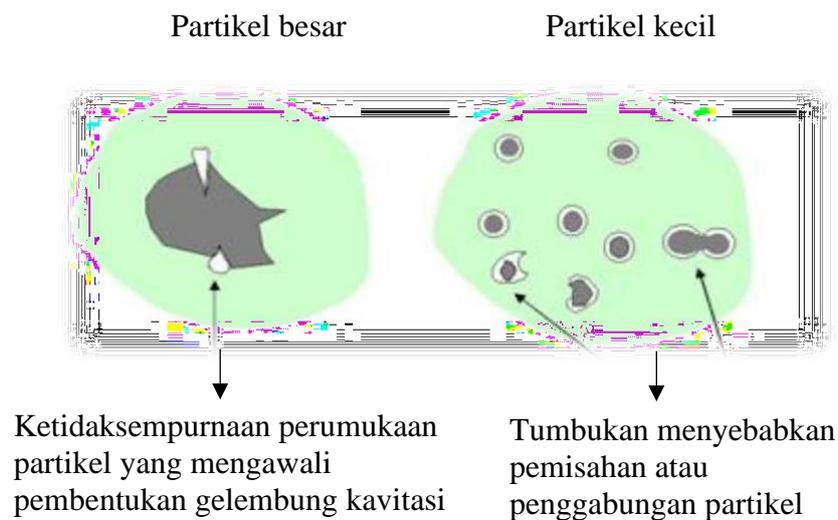
Selain itu metode ini tergolong aman karena menggunakan frekuensi yang tidak terlalu tinggi (Rismiati ., 2016).

Suatu molekul akan mengalami perubahan struktur akibat dari ultrasonik yang ditransmisikan melewati medium air melalui gelombang suara sehingga molekul tersebut dapat bergetar. Jika intensitas gelombang ultrasonik ditingkatkan maka akan terjadi kondisi di mana gaya intramolekul tidak lagi bisa menahan struktur awal molekul. Sehingga molekul tersebut akan pecah dan membentuk lubang (*cavity*). Lubang ini disebut dengan gelembung kavitasi (Rahmawati, 2020).

Meningkatnya perubahan kimia dan fisika dalam media cair melalui penghancuran gelembung kavitasi disebabkan oleh kekuatan ultrasonik. Pertumbuhan gelembung akan terjadi terus menerus sampai berada pada fase *bubble collapse* (ketidakstabilan gelembung) yaitu pecahnya gelembung kecil akibat kekuatan suara. Setiap gelembung yang pecah akan menjadi “hotspot” lokal yang menghasilkan panas sangat tinggi sekitar 4000 K dan tekanan sekitar 1000 atm, laju pemanasan dan pendinginan bisa sangat cepat yaitu 10¹⁰ K/s. Ilustrasi pembentukan kavitasi akustik Gambar 2.5 (Rahmawati, 2020).



Gambar 2. 5 Ilustrasi skema kavitasi akustik (Mokhalkar dan Ingole, 2016)



Gambar 2.6 Ilustrasi pengecilan ukuran partikel akibat kavitas akustik (Mokhalkar dan Ingole, 2016)

Penggunaan gelombang ultrasonik untuk mesintesis TiO_2 diharapkan mampu memperkecil atau mereduksi ukuran partikel TiO_2 kecil dari 100 nm. Pengecilan ukuran partikel akibat kavitas dapat dilihat pada Gambar 2.6. Gelembung ultrasonik pada sonikasi diperkirakan memiliki kemampuan membangkitkan semacam rongga dalam larutan sehingga berfungsi membantu meningkatkan keseragaman ukuran partikel TiO_2 dalam skala nanometer (Astuti dan Ningsi, 2017). Penelitian Hidayanto *et al.* (2017) berhasil mensintesis $\text{TiO}_2\text{-N}$ nanopartikel menggunakan metode sonikasi pada frekuensi 24 kHz menghasilkan ukuran kristal sebesar 21,42 nm. Kemudian penelitian Zhang *et al.* (2015) dalam penelitiannya mensintesis $\text{TiO}_2\text{-N}$ dengan metode sonikasi pada frekuensi 28 kHz menghasilkan $\text{TiO}_2\text{-N}$ nanopartikel ukuran 20,85 nm.

2.5. Pandangan Islam Mengenai Pencemaran Lingkungan dan Penanganannya

Air limbah *laundry* mengandung senyawa dengan konsentrasi tinggi antara lain fosfat, surfaktan, dan kadar padatan terlarut, kekeruhan, BOD, dan COD yang tinggi. Tingginya nilai parameter pada air limbah *laundry* akan menyebabkan pencemaran lingkungan. Limbah detergen 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. Metode fotokatalis ini mampu mengubah zat limbah cair organik yang berbahaya bagi kesehatan manusia serta organisme yang ada di perairan menjadi senyawa yang tidak berbahaya. Oleh karena itu, metode ini perlu dikembangkan sebagai pencegahan terhadap pencemaran lingkungan perairan. Firman Allah Swt. telah menjelaskan hal tersebut dalam QS. Al-Anbiya' (21) ayat 30 yang menyebutkan bahwa air adalah sumber kehidupan:

أَوَلَمْ يَرِ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ أَنَّ السَّمُوتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَاهُمَا وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيًّا
 أَفَلَا يُؤْمِنُونَ ﴿٣٠﴾

Artinya : “dan Kami jadikan segala sesuatu yang hidup berasal dari air; maka mengapa mereka tidak beriman?.” (QS. Al Anbiya' (21): 30)

Menurut tafsir Ibnu Katsir oleh Dr. Abdullah bin Muhammad bin Abdurrahman bin Ishaq Alu Syaikh, ayat di atas menerangkan bahwa air merupakan salah satu unsur yang sangat penting bagi kehidupan makhluk hidup. Menurut tafsir Tantawi Jawhari, ayat di atas menjadi dasar bahwa kehidupan berawal dari air. Ia juga mengutip para ilmuwan kontemporer bahwa setiap binatang mulanya diciptakan di laut, termasuk burung, hewan-hewan melata dan hewan daratan juga mengalami siklus kehidupan berawal dari lautan (Jawhari, 2004). Maka diketahui bahwa tugas utama manusia diciptakan di muka bumi

setidaknya ada dua hal yang penting. Pertama, menjaga dan melestarikan keadaan muka bumi, jangan sampai ada kerusakan yang terjadi di dalamnya. Mereka telah diberikan akal sehingga dapat menjalankan perintah pertama ini. Manusia sebagai khalifah di bumi dituntut untuk selalu menjaga, melindungi, mengelola dan memanfaatkan air secara lestari agar kemaslahatan makhluk hidup baik manusia, hewan maupun tumbuhan dapat terjamin dan berjalan secara berkesinambungan. Kedua, menjalankan perintah agama atau syariat Allah Swt. Jika manusia melakukannya maka manusia akan menjadi mulia bahkan bisa melebihi mulianya malaikat. Manusia bisa menjadi memiliki derajat yang lebih tinggi dibanding malaikat manakala dapat menjalankan peranannya di muka bumi. Selain itu, kita tahu juga bahwa Allah Swt. menciptakan segala sesuatu di bumi ini tidak ada yang sia-sia seperti firman Allah Swt. dalam surat Al-Imran (3) ayat 191 yang berbunyi:

الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هٰذَا بَطْلًا سُبْحٰنَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

Artinya: "(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk atau dalam keadaan berbaring, dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), "Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia; Mahasuci Engkau, lindungilah kami dari azab neraka." (QS Al Imran (3): 191).

Berdasarkan Al-Qur'an surat Al-Imran ayat 191 dapat diketahui bahwa Allah Swt. menciptakan segala sesuatu di bumi ini tidak ada yang sia-sia. Salah satu ciptaan Allah Swt. yang dimanfaatkan pada penelitian ini yaitu karbon aktif. Karbon yang ditingkatkan dayanya melalui aktivasi disebut karbon aktif. Karbon aktif memiliki luas permukaan yang cukup besar sehingga dikenal sebagai adsorben yang cukup baik dan sifat ini dapat membantu proses adsorpsi katalitik. Pada penelitian ini karbon aktif digunakan sebagai material penyangga dapat

memperluas permukaan TiO_2 dengan mendistribusikan TiO_2 secara merata di permukaan karbon aktif. Berdasarkan penjelasan di atas dapat dikatakan pemanfaatan karbon aktif pada penelitian fotodegradasi limbah ini juga untuk menjaga bumi dan merupakan bentuk amal baik yang dilakukan manusia sebagai wujud penghambaan manusia kepada Allah Swt.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus-September 2022 di Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Negeri Islam Maulana Malik Ibrahim Malang

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain seperangkat alat gelas, spatula, gelas arloji, neraca analitik, mortar *agate*, ayakan 200 mesh, *magnetic stirrer*, UV reaktor, alat sentrifugasi, kertas saring, sonikator, oven (*Thermo Scientific*), instrument karakterisasi FTIR Varian tipe FT 1000, UV-Vis/DRS Evolution 220, XRF PANalytical tipe minimal 4, dan Spektrofotometer UV-Vis Varian tipe Cary 50.

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain TiO_2 anatas, serbuk KBr, akuades, karbon aktif, *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS), HCl, indikator pp, H_2SO_4 , NaOH, metilen biru, CHCl_3 , dan aquademin

3.3. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakterisasi struktur dan serapan TiO_2 yang dihiban menggunakan karbon aktif dengan metode sonikasi. TiO_2 -

karbon aktif yang dihasilkan akan dikarakterisasi menggunakan XRF, FTIR, dan Uv-Vis DRS yang kemudian diuji fotokatalitiknya dalam mendegradasi LAS.

3.4. Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan dalam penelitian ini adalah:

1. Preparasi dan aktivasi karbon aktif
2. Sintesis komposit TiO₂-karbon aktif dengan metode sonikasi
3. Karakterisasi komposit TiO₂-karbon aktif dengan spektrofotometer XRF, FTIR, dan UV-Vis DRS
4. Penentuan panjang gelombang maksimum LAS (*Linear Alkylbenzene Sulfonate*)
5. Penentuan kurva standar LAS (*Linear Alkylbenzene Sulfonate*)
6. Penentuan waktu kestabilan MBAS (*Methylene Blue Active Substances*)
7. Pembuatan larutan induk LAS (*Linear Alkylbenzene Sulfonate*)
8. Penentuan komposisi optimum karbon aktif pada komposit TiO₂-karbon aktif untuk fotodegradasi surfaktan pada limbah *laundry*
9. Penentuan massa optimum komposit TiO₂-karbon aktif untuk fotodegradasi surfaktan pada limbah *laundry*
10. Uji efektivitas komposit TiO₂/karbon untuk fotodegradasi surfaktan pada limbah *laundry*
11. Analisis Hasil

3.5 Cara Kerja

3.4.1. Preparasi Karbon Aktif

Preparasi karbon aktif dilakukan dengan cara 150 gram karbon aktif dihaluskan dan diayak dengan ukuran 200 mesh hingga halus. Kemudian ditimbang sebanyak 100 gram dan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer yang berisi 200 mL akuades dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit pada suhu kamar. Kemudian endapan yang didapat disaring menggunakan kertas saring dan dioven pada suhu 100°C selama 2 jam. Kemudian karbon didesikator selama 30 menit dan ditimbang hingga berat konstan (Wardhani *et al.*, 2016).

3.4.2. Aktivasi Karbon Aktif

Aktivasi karbon aktif dilakukan dengan cara ditimbang karbon aktif hasil preparasi sebanyak 30 gram dan ditambahkan HCl 6 M sebanyak 60 mL. Kemudian campuran diaduk selama 3 jam menggunakan *magnetic stirrer*. Campuran karbon aktif dan HCl 6 M disaring dan dicuci dengan akuades hingga filtrat netral. Residu karbon aktif dioven pada suhu 100°C selama 2 jam (Wardhani *et al.*, 2016).

3.4.3. Sintesis Komposit TiO₂-karbon aktif

Disuspensikan TiO₂ dan karbon aktif dalam aquademin 20 mL dengan variasi komposisi TiO₂:karbon aktif (95:5), (90:10), (75:25), selanjutnya suspensi diletakkan dalam sonikator selama 30 menit, setelah disaring kemudian TiO₂-karbon aktif dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C selama 24 jam. Lalu dikalsinasi menggunakan tanur selama 2 jam pada suhu 500°C (Poluakan *et al.*, 2015).

3.4.4. Karakterisasi Komposit TiO₂-karbon aktif

3.4.4.1. Karakterisasi dengan XRF

Karakterisasi XRF digunakan untuk mengetahui persentase kandungan logam yang terdapat dalam sampel. Sampel yang dianalisis dihaluskan dan diletakkan pada *sample holder*, kemudian dilanjutkan dengan penyinaran sinar-X. Data yang akan diperoleh berupa persentase unsur-unsur yang terkandung dalam sampel material komposit (Diyanah, 2018).

3.4.4.2. Karakterisasi dengan FTIR

Karakterisasi menggunakan Spektrosfotometer FTIR bertujuan untuk mengetahui puncak khas dari sampel hasil sintesis. Pengukuran FTIR dilakukan dengan melapisi serbuk TiO₂-karbon aktif dihaluskan hingga menjadi serbuk yang halus menggunakan mortar *agate* dengan dicampurkan padatan KBr, kemudian ditempatkan pada preparat dan dipress/ditekan dengan alat *pressing* untuk membentuk pelet. Selanjutnya ditempatkan pada *sample holder* dan dianalisis menggunakan FTIR (Jannah, 2019).

3.4.4.3. Karakterisasi dengan UV-Vis DRS

Karakterisasi dengan *Diffuse Reflectance Spectroscopy* dilakukan untuk mengetahui energi celah pita dan serapan sinar dari material hasil sintesis. Sampel yang akan dikarakterisasi dalam bentuk serbuk halus ditempatkan pada *sample holder* kemudian diukur persentase reflektannya pada rentang panjang gelombang 200-800 nm (Jannah, 2019).

3.4.5. Pembuatan Kurva Standar dan Sampel *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS)

3.4.5.1. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS)

Sebanyak 25 mL larutan standar LAS 25 ppm dimasukkan ke dalam corong pemisah 100 mL, ditambahkan 5 mL CHCl_3 dan 12,5 mL reagen *methylene blue* ke dalam corong pisah kemudian campuran dikocok selama 30 detik. Campuran ditambahkan 5 mL isopropil alkohol untuk mengurangi terjadinya emulsi. Campuran didiamkan sampai terbentuk 2 lapisan. Lapisan CHCl_3 dipisahkan dan dimasukkan ke dalam corong pisah lainnya. Sisa air dalam corong pisah diekstraksi kembali dengan CHCl_3 5 ml. Perlakuan tersebut dilakukan sebanyak dua kali.

Lapisan CHCl_3 yang diperoleh dikumpulkan kemudian ditambahkan 25 mL larutan pencuci dan dikocok selama 30 detik. Lapisan CHCl_3 yang terbentuk dipisahkan dan dimasukkan ke dalam labu ukur 25 ml lalu diencerkan dengan CHCl_3 hingga tanda batas. Diukur serapannya dengan spektrofotometer UV-Vis mulai panjang gelombang 400 sampai 800 nm pada waktu rentang kestabilan MBAS 40-60 menit (Sudarminto *et al.*, 2021).

3.4.5.2. Pembuatan Kurva Standar *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS)

Larutan LAS 25 ppm sebanyak 25 mL dimasukkan ke dalam corong pemisah 100 mL, ditambahkan 5 mL CHCl_3 dan 12,5 mL reagen *methylene blue* ke dalam corong pisah kemudian campuran dikocok selama 30 detik. Campuran ditambahkan 5 mL isopropil alkohol untuk mengurangi terjadinya emulsi. Campuran didiamkan sampai terbentuk 2 lapisan. Lapisan CHCl_3 dipisahkan dan dimasukkan ke dalam corong pisah lainnya. Sisa air dalam corong pisah diekstraksi kembali dengan CHCl_3 5 ml. Perlakuan tersebut dilakukan sebanyak dua kali.

Lapisan CHCl_3 yang diperoleh dikumpulkan kemudian ditambahkan 25 mL larutan pencuci dan dikocok selama 30 detik. Lapisan CHCl_3 yang terbentuk dipisahkan dan dimasukkan ke dalam labu ukur 25 ml lalu diencerkan dengan CHCl_3 hingga tanda batas. Lalu larutan 25 ppm diencerkan pada konsentrasi 1, 5, 10, 15, dan 20 ppm. Diukur absorbansinya dengan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum yang diperoleh pada waktu rentang kestabilan MBAS 40-60 menit. Masing-masing absorbansi setiap konsentrasi yang diperoleh dibuat kurva kalibrasi dengan sumbu x sebagai konsentrasi larutan standar (ppm) dan sumbu y sebagai absorbansi yang dihasilkan dari larutan standar. Dari grafik diperoleh persamaan linier $y = ax + b$ (Rahmawati, 2020).

3.4.5.3. Penentuan Waktu Kestabilan MBAS (*Methylene Blue Active Substances*)

Larutan LAS 25 ppm sebanyak 25 ml dimasukkan ke dalam corong pisah, kemudian ditambahkan 5 mL CHCl_3 dan 12,5 mL reagen *methylene blue* ke dalam corong pisah kemudian campuran dikocok selama 30 detik. Campuran ditambahkan 5 mL isopropil alkohol untuk mengurangi terjadinya emulsi. Campuran didiamkan sampai terbentuk 2 lapisan. Lapisan CHCl_3 dipisahkan dan dimasukkan ke dalam corong pisah lainnya. Sisa air dalam corong pisah diekstraksi kembali dengan CHCl_3 5 ml. Perlakuan tersebut dilakukan sebanyak dua kali.

Lapisan CHCl_3 yang diperoleh dikumpulkan kemudian ditambahkan 25 mL larutan pencuci dan dikocok selama 30 detik. Lapisan CHCl_3 yang terbentuk dipisahkan dan dimasukkan ke dalam labu ukur 25 ml lalu diencerkan dengan CHCl_3 hingga tanda batas. Selanjutnya larutan diukur pada waktu 0, 15, 30, 45, dan

60 menit. Pengukuran absorbansi dengan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum yang diperoleh (Aji, 2020).

3.4.5.4. Pembuatan Larutan Induk *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS)

Sebanyak 10 mg LAS dilarutkan dengan 100 mL akuades dalam labu ukur 100 mL kemudian ditambahkan akuades hingga tepat tanda batas kemudian dihomogenkan (Aji, 2020). Kemudian larutan 100 ppm LAS dipipet sebanyak 62,5 mL selanjutnya ditandabatkan dan dihomogenkan dalam 250 mL akuades sehingga diperoleh LAS konsentrasi 25 ppm (Rahmawati, 2020).

3.4.5.5. Analisis MBAS (*Methylen Blue Active Substance*)

Larutan sampel sebanyak 10 mL dimasukkan ke dalam corong pemisah 50 mL. Sampel ditetesi 2-3 tetes indikator *fenolftalein*. Selanjutnya, sampel ditetesi dengan larutan NaOH 1 N. Sampel ditetesi larutan H₂SO₄ 1 N secara hati-hati hingga warna merah muda hilang. Lalu ditambahkan 2 mL CHCl₃ dan 5 mL reagen *methylene blue* ke dalam corong pisah kemudian campuran dikocok selama 30 detik. Campuran ditambahkan 2 mL isopropil alkohol untuk mengurangi terjadinya emulsi. Campuran didiamkan sampai terbentuk 2 lapisan. Lapisan CHCl₃ dipisahkan dan dimasukkan ke dalam corong pisah lainnya. Sisa air dalam corong pisah diekstraksi kembali dengan CHCl₃ 2 ml. Perlakuan tersebut dilakukan sebanyak dua kali.

Lapisan CHCl₃ yang diperoleh dikumpulkan kemudian ditambahkan 10 mL larutan pencuci dan dikocok selama 30 detik. Lapisan CHCl₃ yang terbentuk dipisahkan dan dimasukkan ke dalam labu ukur 10 ml lalu diencerkan dengan CHCl₃ hingga tanda batas. Lalu diukur absorbansi larutan menggunakan

Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum dan waktu rentang kestabilan MBAS yang diperoleh (Sudarminto *et al.*, 2021).

3.4.6. Uji Aktivitas Fotokatalis TiO₂-Karbon Aktif Terhadap Degradasi Surfaktan pada Limbah *Laundry*

3.4.6.1. Penentuan Komposisi Optimum Karbon Aktif pada Komposit TiO₂-karbon aktif untuk Fotodegradasi Surfaktan pada Limbah *Laundry*

Larutan LAS 25 ppm sebanyak 25 ml dimasukkan ke dalam gelas kimia 100 mL kemudian ditambahkan TiO₂-karbon aktif sebanyak 375 mg dengan variasi komposisi TiO₂:karbon aktif (95:5), (90:10), (75:25). Selanjutnya fotodegradasi dilakukan dalam fotoreaktor selama 4 jam menggunakan sinar UV. Lalu larutan hasil degradasi disentrifugasi selama 10 menit. Sampel dianalisis konsentrasi akhirnya dengan metode MBAS. Proses fotodegradasi dilakukan secara triplo (Rahmawati, 2020).

3.4.6.2. Penentuan Massa Optimum Komposit TiO₂-karbon aktif untuk Fotodegradasi Surfaktan pada Limbah *Laundry*

Larutan LAS 25 ppm sebanyak 25 ml dimasukkan ke dalam gelas kimia 100 mL kemudian ditambahkan TiO₂-karbon aktif dengan komposisi optimum pada pengujian sebelumnya dengan variasi penambahan massa 125, 250, 375, 500, dan 625 mg. Selanjutnya fotodegradasi dilakukan dalam fotoreaktor selama 4 jam menggunakan sinar UV. Lalu larutan hasil degradasi disentrifugasi selama 10 menit. Sampel dianalisis konsentrasi akhirnya dengan metode MBAS. Proses fotodegradasi dilakukan secara triplo (Rahmawati, 2020).

3.4.6.3. Pengujian Efektivitas Komposit TiO₂-karbon aktif untuk Fotodegradasi Surfaktan pada Limbah *Laundry*

Fotodegradasi dilakukan dengan diambil larutan LAS sebanyak 25 mL ke dalam masing-masing 5 *beaker glass* 100 ml. Uji aktivitas dilakukan dengan 5 kondisi yaitu :

- i. LAS 25 ppm ditambahkan TiO₂ massa optimum pada kondisi gelap
- ii. LAS 25 ppm ditambahkan TiO₂ massa optimum dan disinari dengan bantuan sinar UV selama 4 jam
- iii. LAS 25 ppm ditambahkan karbon aktif massa optimum pada kondisi gelap
- iv. LAS 25 ppm ditambahkan karbon aktif massa optimum dan disinari dengan bantuan sinar UV selama 4 jam
- v. LAS 25 ppm ditambahkan TiO₂-karbon aktif massa optimum dan disinari dengan bantuan sinar UV selama 4 jam

Massa komposit yang ditambahkan adalah massa optimum yang diperoleh dari uji fotodegradasi sebelumnya. Larutan hasil fotodegradasi disentrifugasi selama 10 menit. Sampel dianalisis konsentrasi akhirnya dengan metode MBAS. Proses ini dilakukan secara triplo (Ilmi, 2020).

3.6 Analisis Data

3.4.7. Analisis Data XRF

Data yang diperoleh dari karakterisasi dengan XRF adalah persentase kandungan logam yang terdapat dalam sampel. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan (Munasir *et al.*, 2012).

3.4.8. Analisis dengan FTIR

Data yang diperoleh dari spektrofotometer FTIR adalah spektra yang menunjukkan vibrasi TiO₂ dan karbon aktif. Karakteristik vibrasi TiO₂ dan karbon aktif ditunjukkan pada Tabel 3.1. Spektra yang diperoleh akan dicocokkan pada data Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Karakteristik vibrasi TiO₂ dan karbon aktif

Jenis Vibrasi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)
Ti-O <i>stretching</i>	757
Ti-OH <i>stretching</i>	3420
Ti-OH <i>bending</i>	1620

3.4.9. Analisis Hasil UV-Vis DRS

Analisis data UV-Vis DRS menggunakan teori Kubelka-Munk yang ditampilkan pada persamaan 3.1. Data persentase reflektansi (%R) yang diperoleh diubah menjadi reflektansi (R).

$$F(R) = \frac{(1 - R)^2}{2R} = \frac{k}{s} \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana, F(R) adalah faktor Kubelka-Munk, k adalah koefisien adsorpsi molar, S adalah koefisien scattering, R adalah nilai reflektan yang diukur terhadap standar. Energi celah pita ampel ditentukan dari spektra tersebut dengan membuat plot antara $(F(R) / hv)^{0.5}$ sebagai sumbu Y dan energi foton sebagai sumbu X. Energi foton (hv) bisa dihitung dari data panjang gelombang yang terukur, dimana $hv = hc / \lambda$, dimana c adalah kecepatan cahaya dan h adalah ketetapan *planck*. Kemudian ditentukan dengan cara menarik garis linear yang melewati daerah tersebut, kemudian menentukan persamaan linearnya. Persamaan linear selanjutnya dicari nilai x sebagai energy celah pita ketika $y = 0$ (Jannah, 2019).

3.6.4. Analisis Aktivitas Fotokatalitik

Analisis fotokatalitik dilakukan dengan menghitung absorbansi larutan standar menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Setelah didapatkan nilai absorbansi, dibuat kurva standar dengan sumbu x adalah konsentrasi larutan standar dan sumbu y adalah absorbansi. Melalui kurva, akan diperoleh persamaan regresi linear $y = ax + b$ dengan y sebagai absorbansi dan x konsentrasi.

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \dots \dots \dots (3.2)$$

Konsentrasi awal surfaktan didefinisikan sebagai C_0 sedangkan konsentrasi akhir surfaktan setelah dilakukan proses fotokatalis dilambangkan dengan C_t . Persen degradasi surfaktan diketahui dengan memasukkan nilai absorbansi ke dalam regresi linier surfaktan yang kemudian dihitung menggunakan persamaan 3.2 (Jannah, 2019).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Preparasi dan Aktivasi Karbon Aktif

Pembuatan komposit TiO₂-karbon aktif diawali dengan preparasi dan aktivasi karbon aktif yang akan digunakan. Karbon aktif sebagai adsorben diaktivasi untuk mengurangi pengotor sehingga kinerja karbon aktif dapat meningkat. Preparasi karbon aktif dilakukan dengan penggerusan dan pengayakan untuk mendapatkan karbon aktif dengan ukuran yang seragam sehingga dapat memperluas luas permukaannya. Tahap selanjutnya yaitu dilakukan perendaman dengan akuades untuk meminimalisasi pengotor yang dapat larut dalam akuades dan diuapkan kembali molekul air yang terperangkap dalam pori karbon aktif dengan oven.

Aktivasi karbon aktif dilakukan dengan perendaman karbon aktif ke dalam HCl untuk menghilangkan kation pengotor pada permukaan karbon aktif seperti Fe²⁺, Mg²⁺, dan Zn²⁺ (Risfiandi *et al.*, 2016). HCl dapat menjadikan sebagian besar kation pengotor dapat larut dan digantikan oleh ion H⁺ sehingga kation penyeimbang dalam karbon aktif yang teraktivasi menjadi lebih seragam, yaitu berupa ion H⁺ (H-karbon). Kemudian karbon aktif dicuci dengan akuades hingga pH filtrat netral untuk membantu sisa anion Cl⁻ larut dalam akuades, sehingga didapatkan permukaan karbon aktif yang lebih berpori dan situs aktifnya lebih banyak. Hal ini dapat menjadikan karbon aktif memiliki kemampuan absorpsi yang lebih besar. Kemudian diuapkan kembali molekul air yang terperangkap dalam pori

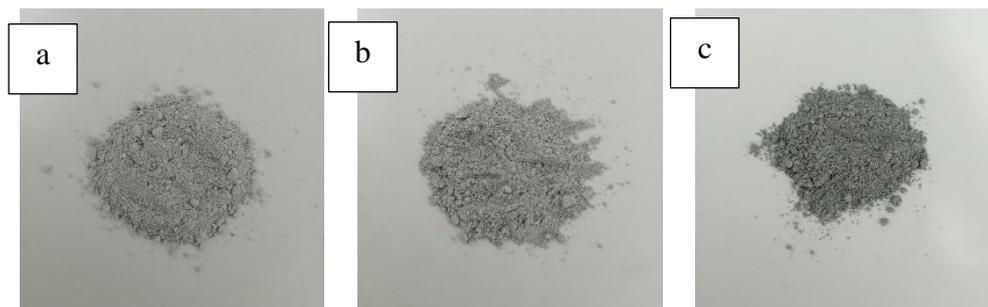
karbon aktif dengan dioven. Hasil pembuatan karbon aktif pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil karbon aktif teraktivasi

4.2. Sintesis Komposit TiO₂-Karbon Aktif

Sintesis komposit TiO₂-karbon aktif dilakukan dengan metode sonikasi menggunakan *probe sonicator*. TiO₂-karbon aktif dibuat dengan variasi komposisi TiO₂:karbon aktif (95:5), (90:10), dan (75:25). Masing-masing komposisi disuspensikan ke dalam akuademin sebagai pelarut karena tidak mengandung mineral atau ion-ion logam sehingga tingkat kemurnian material yang dihasilkan dari hasil sintesis lebih tinggi lalu disonikasi. Kemudian sampel dioven dan dikalsinasi pada suhu 500°C untuk menguapkan pengotor organik tanpa merusak struktur karbon aktif sehingga luas permukaannya akan meningkat. Kalsinasi pada suhu 500°C tidak akan merubah struktur awal karbon aktif yaitu amorf dan tidak mengalami pengabuan. Hasil beberapa komposisi komposit TiO₂-karbon aktif pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil beberapa komposisi komposit (a) TiO_2 -karbon aktif 95:5 (b) TiO_2 -karbon aktif 90:10 (c) TiO_2 -karbon aktif 75:25

4.3. Analisis Karakterisasi Komposit TiO_2 -Karbon Aktif

4.3.1. Analisis Karakterisasi Komposit TiO_2 -Karbon Aktif dengan XRF

Karakterisasi menggunakan XRF bertujuan untuk mengetahui presentase kandungan logam dan oksida logam yang terdapat dalam sampel. Karakterisasi juga dilakukan pada TiO_2 anatas sebagai pembanding dengan TiO_2 -karbon aktif yang telah disintesis. Pada Tabel 4.1 ditunjukkan presentase unsur Ti pada TiO_2 anatas, TiO_2 -karbon aktif 95:5, TiO_2 -karbon aktif 90:10, dan TiO_2 -karbon aktif 75:25 berturut-turut adalah 98,17%; 97,81%; 97,66%; dan 97,55%. Hal ini membuktikan bahwa penambahan komposisi karbon aktif yang semakin banyak akan menurunkan presentase unsur Ti karena tergantikan oleh unsur lain. Unsur karbon tidak terdeteksi karena unsur karbon merupakan amfoter. Perbedaan presentase unsur Ti pada TiO_2 anatas dan TiO_2 -karbon aktif membuktikan bahwa TiO_2 berhasil diimbangkan pada karbon aktif. Adanya unsur Si pada TiO_2 -karbon aktif 90:10, dan TiO_2 -karbon aktif 75:25 berturut-turut sebanyak 0,1% dan 0,5% dimungkinkan adalah sisa abu yang dihasilkan saat proses karbonisasi. Pada TiO_2 -karbon aktif 95:5 tidak muncul unsur Si dimungkinkan karena jumlah karbon aktif yang ditambahkan sedikit dan akibat dari proses penyaringan setelah sonikasi sehingga sebagian karbon aktifnya larut bersama filtrat.

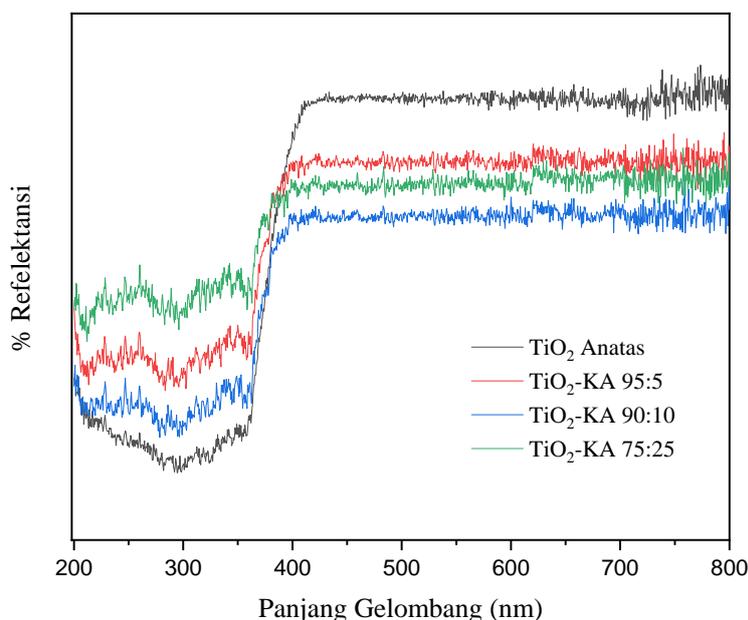
Tabel 4.1 Hasil XRF TiO₂ anatas, TiO₂-karbon aktif 95:5, TiO₂-karbon aktif 90:10, dan TiO₂-karbon aktif 75:25

Unsur dan Senyawa	Konsentrasi (%)			
	TiO ₂ Anatas	TiO ₂ -KA 95:5	TiO ₂ -KA 90:10	TiO ₂ -KA 75:25
P	0,21	0,24	0,19	0,21
K	0,18	0,16	0,17	0,23
Ca	0,11	0,14	0,16	0,28
Ti	98,17	97,81	97,66	97,55
Fe	-	0,089	0,20	0,54
Tm	-	0,20	-	-
W	0,35	0,38	0,36	0,38
Os	0,76	0,76	0,91	-
Pt	0,22	0,23	0,23	0,2
Si	-	-	0,1	0,5
Ta	-	-	0,1	0,08
Cu	-	-	-	0,063
P ₂ O ₅	0,36	0,41	0,33	0,36
K ₂ O	0,15	0,14	0,15	0,19
CaO	0,1	0,13	0,16	0,27
TiO ₂	98,29	97,99	98,07	97,59
Fe ₂ O ₃	-	0,071	0,15	0,42
Tm ₂ O ₃	-	0,13	-	-
WO ₃	0,27	0,29	0,24	0,30
OsO ₄	0,66	0,67	0,66	-
PtO ₂	0,17	0,17	0,14	0,17
SiO ₂	-	-	-	0,6
Ta ₂ O ₅	-	-	0,09	0,01
CuO	-	-	-	0.053

4.3.2 Analisis Karakterisasi Komposit TiO₂-Karbon Aktif dengan UV-Vis DRS

Karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS bertujuan untuk mengetahui daerah serapan sinar dan nilai energi celah pita dari hasil sintesis. Karakterisasi juga dilakukan pada TiO₂ anatas sebagai pembanding dengan TiO₂-karbon aktif yang telah disintesis. Pada penelitian ini terdapat tiga plot grafik yang dihasilkan dari karakterisasi UV-Vis DRS. Grafik pertama menunjukkan hubungan antara panjang gelombang dan % reflektansi yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 di mana terdapat perbedaan % reflektansi antara TiO₂ anatas dengan TiO₂-karbon aktif pada daerah

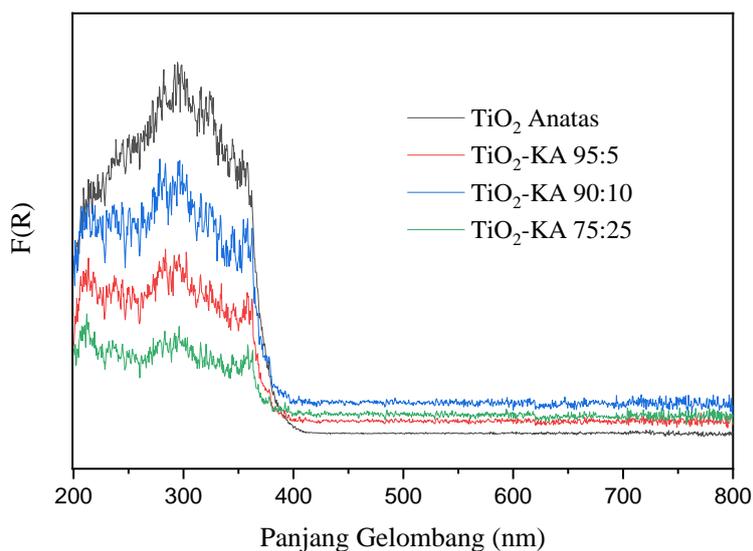
panjang gelombang 400-800 nm. Pada Gambar 4.3 ditunjukkan bahwa % reflektansi keempat senyawa pada daerah sinar UV lebih rendah dari pada daerah sinar tampak sehingga kemampuan keempat senyawa untuk memantulkan sinar lebih tinggi pada daerah sinar tampak. Pada daerah sinar tampak TiO_2 -karbon aktif 95:5 memiliki % reflektansi yang lebih tinggi dibandingkan TiO_2 -karbon aktif 90:10 dan TiO_2 -karbon aktif 75:25. Hal ini membuktikan bahwa TiO_2 -karbon aktif 95:5 pada daerah sinar tampak memiliki kemampuan memantulkan sinar yang paling tinggi dibandingkan TiO_2 -karbon aktif 90:10 dan TiO_2 -karbon aktif 75:25.



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara % reflektansi dengan panjang gelombang

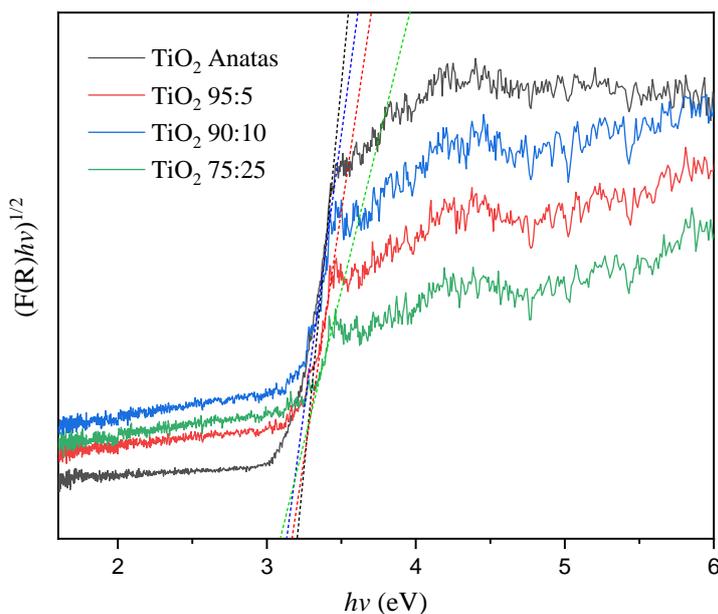
Analisis lebih lanjut dilakukan dengan menggunakan teori Kubelka-Munk yaitu persamaan yang menyatakan nilai $F(R)$ sebanding dengan nilai koefisien absorpsi per faktor *scattering* (K/S). Pada Gambar 4.4 terlihat keempat senyawa cenderung menyerap pada daerah sinar UV yaitu pada panjang gelombang 200-400 nm. TiO_2 anatas masih menyerap sinar pada daerah sinar tampak yaitu pada panjang gelombang 400-800 nm meskipun sangat sedikit jika dibandingkan dengan TiO_2 -

karbon aktif. Hal ini menunjukkan bahwa hasil sintesis TiO₂-karbon aktif memiliki kemampuan menyerap sinar pada daerah sinar tampak lebih tinggi dibandingkan dengan TiO₂ anatas.



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara F(R) dengan panjang gelombang

Grafik selanjutnya yaitu untuk memperoleh nilai energi celah pita atau *band gap*. Nilai energi celah pita diperoleh dengan memplotkan garis lurus yang memotong sumbu x pada grafik hubungan antara energi celah pita (eV) dengan $(F(R)hv)^{1/2}$. Nilai energi celah pita TiO₂ anatas, TiO₂-karbon aktif 95:5, TiO₂-karbon aktif 90:10, dan TiO₂-karbon aktif 75:25 berturut-turut adalah 3,20 eV; 3,16 eV; 3,15 eV; dan 3,10 eV. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak komposisi karbon aktif yang ditambahkan maka nilai energi celah pitanya akan semakin rendah. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Martins, *et al* (2017) bahwa nilai energi celah pita TiO₂-karbon aktif lebih kecil sebesar 3,04 eV dibandingkan dengan nilai energi celah pita TiO₂ murni sebesar 3,07 eV.



Gambar 4.5 Nilai energi celah pita TiO_2 anatase dan TiO_2 -karbon aktif

Tabel 4.2 Energi celah pita dan daerah serapan panjang gelombang

Fotokatalis	Energi celah pita (eV)	Panjang gelombang (nm)
TiO_2 anatase	3,20	387,76
TiO_2 -karbon aktif 95:5	3,16	392,67
TiO_2 -karbon aktif 90:10	3,15	393,61
TiO_2 -karbon aktif 75:25	3,10	400,27

Hasil penentuan nilai energi celah pita dan panjang gelombang ditampilkan pada Tabel 4.2. Fotokatalis TiO_2 anatase, TiO_2 -karbon aktif 95:5, TiO_2 -karbon aktif 90:10, TiO_2 -karbon aktif 75:25 memiliki panjang gelombang berturut-turut sebesar 387,76 nm; 392,67 nm; 393,61 nm; dan 400,27 nm. Hal ini menunjukkan bahwa keempat senyawa dapat berkerja di daerah sinar UV sesuai dengan grafik pada Gambar 4.5 yang menunjukkan bahwa keempat senyawa memiliki kemampuan menyerap sinar lebih rendah pada daerah sinar tampak dibandingkan pada daerah sinar UV.

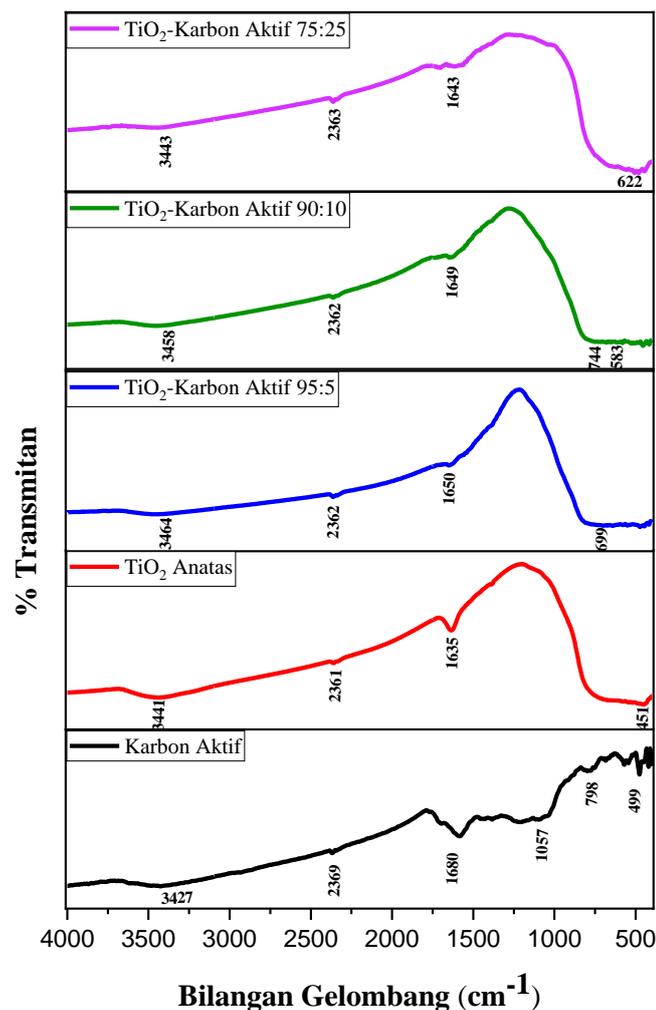
4.3.3. Analisis Karakterisasi Komposit TiO₂-Karbon Aktif dengan FTIR

Karakterisasi menggunakan FTIR digunakan untuk mengetahui karakter khas gugus fungsi yang dimiliki oleh material hasil sintesis. Pada Gambar 4.6. karakteristik karbon aktif ditunjukkan pada serapan bilangan gelombang 3550-3250 cm⁻¹, 1680-1610 cm⁻¹, 1650-1645 cm⁻¹, 1850-1550 cm⁻¹, dan 900-675 cm⁻¹. Serapan pada bilangan gelombang 3600-3100 cm⁻¹ merupakan serapan O-H *stretching*, 1680-1610 cm⁻¹ merupakan serapan C=C *stretching*, ~1650 cm⁻¹ merupakan serapan O-H *bending*, 2363-2360 cm⁻¹ merupakan serapan O=C=O *stretching*, dan 995-675 cm⁻¹ merupakan serapan C-H *bending*. Sedangkan karakteristik TiO₂ ditunjukkan pada serapan bilangan gelombang 800-400 cm⁻¹ yang merupakan serapan Ti-O-Ti *stretching*. Identifikasi gugus fungsi pada setiap sampel ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Identifikasi gugus fungsi

Karbon Aktif	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)				Referensi	Interpretasi
	TiO ₂ Anatas	TiO ₂ -KA 95:5	TiO ₂ -KA 90:10	TiO ₂ -KA 75:25		
-	451	699	583	622	800-400	Ti-O-Ti <i>stretching</i> ^a
798	-	699	744	622	995-675	C-H <i>bending</i> ^c
1680	-	1650	1649	1643	1680-1610	C=C <i>stretching</i> ^c
2369	2361	2362	2362	2363	2363-2360	O=C=O <i>stretching</i> ^d
-	1635	1650	1649	1643	~1650	O-H <i>bending</i> ^b
3427	3441	3464	3458	3443	3600-3100	O-H <i>stretching</i> ^b
499	-	-	583	622	625-480	Si-O-Si <i>stretching</i> ^b
1057	-	-	-	-	1110-1000	Si-O-C <i>stretching</i> ^b

Keterangan: ^aIrwan *et al.*, 2016, ^bSocrates, 1994, ^cMonika *et al.*, 2021, ^dSamsudin, *et al.*, 2015



Gambar 4.6 Spektra FTIR karbon aktif, TiO₂ anatas, TiO₂-karbon aktif 95:5, TiO₂-karbon aktif 90:10, dan TiO₂-karbon aktif 75:25

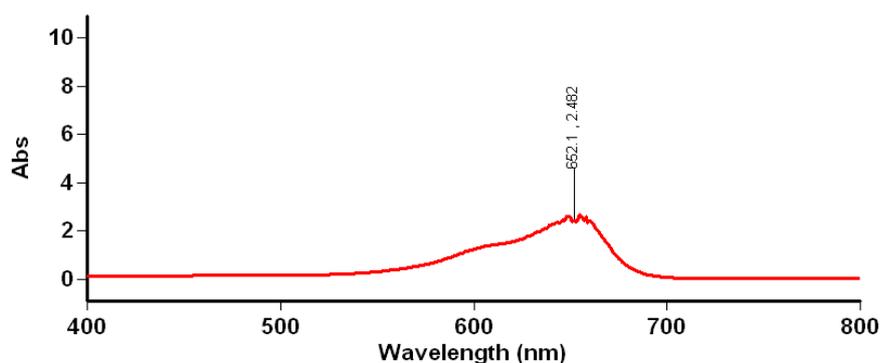
Pada Gambar 4.6. ditunjukkan serapan bilangan gelombang 1650 cm⁻¹ pada TiO₂-karbon aktif 95:5, 1649 cm⁻¹ pada TiO₂-karbon aktif 90:10, dan 1643 cm⁻¹ pada TiO₂-karbon aktif 75:25 yang merupakan serapan C=C *stretching*. Hal ini diasumsikan bahwa TiO₂ telah terdistribusi/terdispersi pada permukaan karbon aktif. Serapan yang dihasilkan sesuai dengan Monika *et al.*, (2021) yang menyatakan bahwa serapan C=C *stretching* dapat diamati pada bilangan gelombang 1680-1610 cm⁻¹. Selanjutnya dihasilkan serapan bilangan gelombang 583 cm⁻¹ pada TiO₂-karbon aktif 90:10, dan 622 cm⁻¹ pada TiO₂-karbon aktif 75:25 yang

merupakan serapan Si-O-Si *stretching* karena dimungkinkan ada unsur Si yang masih tersisa dari proses karbonisasi.

4.4. Penentuan Konsentrasi LAS (*Linear Alkylbenzene Sulfonate*)

4.4.1. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum LAS (*Linear Alkylbenzene Sulfonate*)

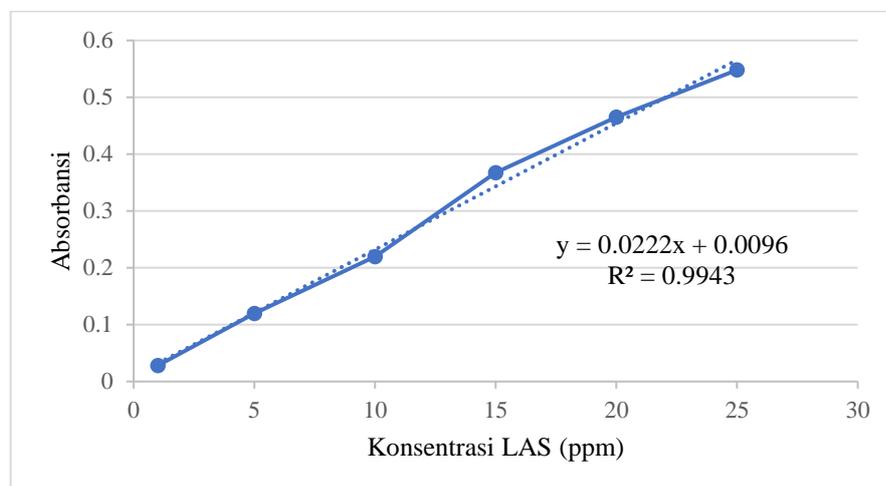
Penentuan panjang gelombang maksimum bertujuan untuk mengetahui pada panjang gelombang berapa sampel dapat terserap secara optimum sehingga dapat mengurangi kesalahan pembacaan serapan menjadi minimum. Penentuan panjang gelombang maksimum LAS dilakukan pada rentang panjang gelombang 400-800 nm yang merupakan daerah sinar tampak, hasil akhir dari metode analisa MBAS memiliki warna biru. Konsentrasi LAS yang digunakan adalah 25 ppm dengan pelarut kloroform. Berdasarkan Gambar 4.7 didapatkan panjang gelombang maksimum LAS sebesar 652.1 nm. Hal ini cukup sesuai dengan penelitian Sudarminto, *et al.*,(2021) bahwa panjang gelombang maksimum LAS yang direaksikan dengan *methylen blue* sebesar 653 nm.



Gambar 4.7 Grafik panjang gelombang maksimum LAS

4.4.2. Penentuan Kurva Standar LAS (*Linear Alkylbenzene Sulfonate*)

Penentuan kurva standar LAS dilakukan dengan mengukur absorbansi variasi konsentrasi 1, 5, 10, 15, 20, dan 25 ppm pada panjang gelombang maksimum 652.1 nm. Penentuan konsentrasi LAS untuk kurva standar LAS juga dilakukan dengan analisa MBAS. Penentuan kurva standar bertujuan untuk mengetahui konsentrasi terukur dari LAS menggunakan persamaan regresi ($y = ax + b$) di mana y merupakan absorbansi sedangkan x merupakan konsentrasi LAS. Adapun grafik penentuan kurva standar ditunjukkan pada Gambar 4.8 berikut.



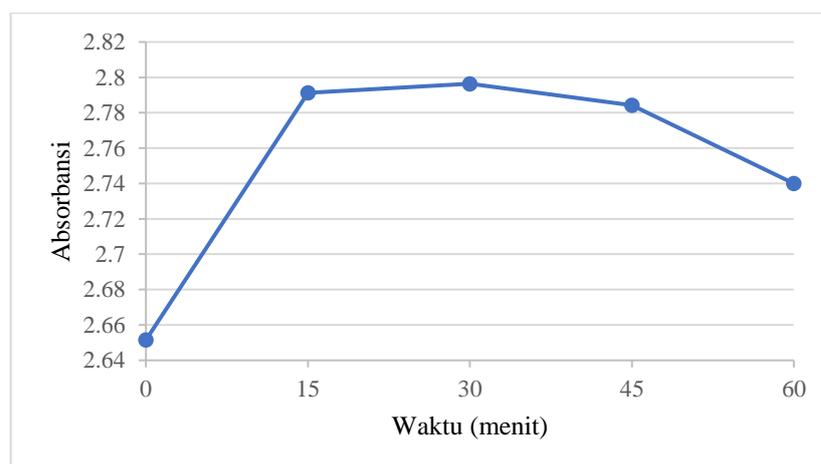
Gambar 4.8 Grafik kurva standar LAS

Berdasarkan Gambar 4.8 didapatkan persamaan regresi $y = 0,0222x + 0,0096$ dengan koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,9943. Hal ini menunjukkan bahwa pembuatan kurva standar telah memenuhi hukum Lambert Beer. Nilai koefisien regresi R^2 yang mendekati 1 menunjukkan hubungan antara konsentrasi dan absorbansi sangat linier sehingga dapat dijadikan acuan dalam menentukan konsentrasi LAS saat uji fotodegradasi. Penentuan kurva standar pada prosedur SNI 06-6989.51-2005 dilakukan pembuatan beberapa konsentrasi LAS diawal kemudian dilakukan analisa MBAS pada masing-masing konsentrasi. Namun

dalam penentuan kurva standar pada penelitian ini tidak sesuai dengan prosedur SNI 06-6989.51-2005. Sehingga hasil yang didapatkan dari perhitungan konsentrasi LAS pada penelitian ini kurang sesuai atau bukan nilai yang sebenarnya karena dilakukan urutan prosedur yang salah.

4.4.3 Penentuan Waktu Kestabilan MBAS (*Methylene Blue Active Substances*)

Pengukuran konsentrasi LAS pada penelitian ini menggunakan analisa MBAS yaitu dengan mereaksikan surfaktan anionic berupa LAS dengan kation pewarna berupa *methylene blue* sehingga perlu dilakukan penentuan waktu kestabilan MBAS untuk mengetahui waktu pengukuran optimum di mana MBAS berada pada kondisi stabil dan tidak mengalami perubahan konsentrasi secara signifikan. Penentuan waktu kestabilan diperoleh dari hubungan antara waktu pengukuran dan absorbansi LAS. Pengukuran dilakukan pada variasi waktu di mana masing-masing waktu diukur absorbansinya menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.



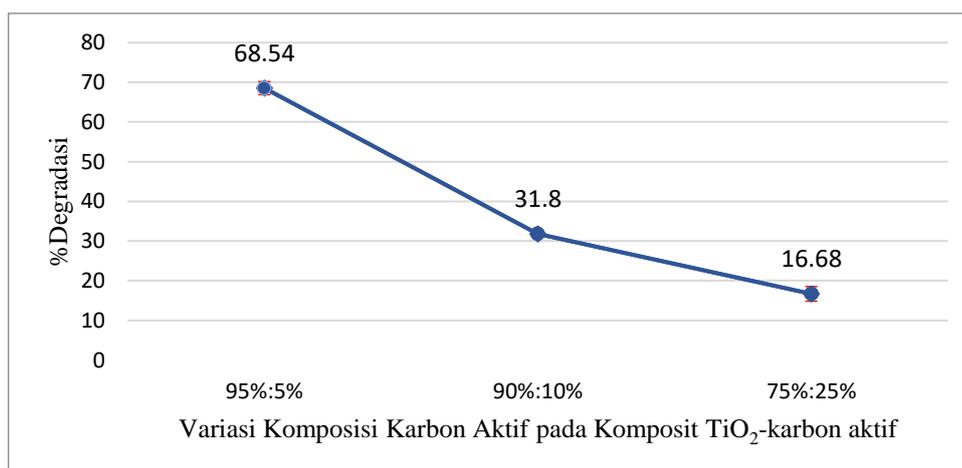
Gambar 4.9 Grafik hasil penentuan waktu kestabilan MBAS

Berdasarkan Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa waktu kestabilan MBAS berada pada rentang waktu 15-30 menit. Sehingga, pengukuran konsentrasi setelah uji fotodegradasi dilakukan pada menit ke 15 sampai 30 untuk mendapatkan hasil pengukuran yang optimum.

4.5 Uji Aktivitas Komposit TiO₂-Karbon Aktif terhadap Degradasi Surfaktan pada Limbah *Laundry*

4.5.1. Penentuan Komposisi Optimum Karbon Aktif pada Komposit TiO₂-Karbon Aktif untuk Fotodegradasi Surfaktan pada Limbah *Laundry*

Fotodegradasi surfaktan pada limbah *laundry* dengan variasi komposisi karbon aktif pada komposit TiO₂-karbon aktif untuk menentukan komposisi optimum karbon aktif pada komposit TiO₂-karbon aktif yang telah disintesis untuk mendegradasi surfaktan berupa larutan LAS. Variasi komposisi karbon aktif pada TiO₂-karbon aktif yang digunakan adalah 95:5, 90:10, dan 75:25. Fotodegradasi masing-masing dilakukan pada kondisi pH 5 (asam). Pengukuran konsentrasi LAS dilakukan dengan analisa MBAS dan didapatkan hasil % degradasi pada Gambar 4.10 berikut.

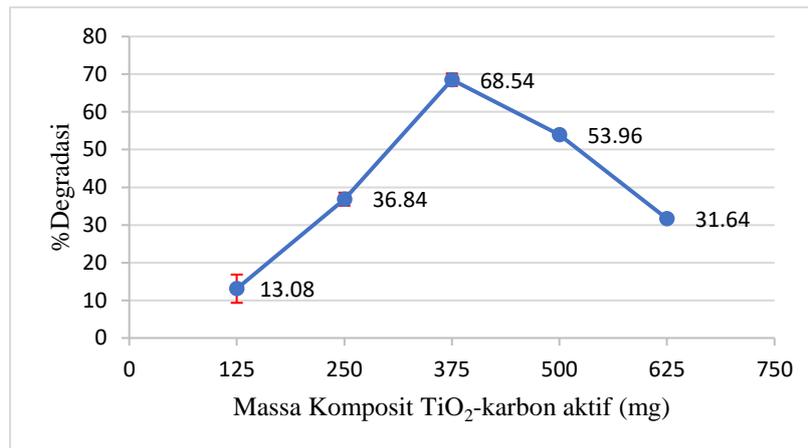


Gambar 4.10 Hasil fotodegradasi LAS dengan variasi komposisi karbon aktif pada komposit TiO₂-karbon aktif

Berdasarkan Gambar 4.10 dapat diketahui bahwa pada fotodegradasi LAS dengan variasi komposisi karbon aktif pada komposit TiO₂-karbon aktif 95:5, 90:10, dan 75:25 menghasilkan % degradasi berturut-turut sebesar 68,54%; 31,8%; dan 16,68%. Hal ini disebabkan karena TiO₂-karbon aktif 90:10 dan TiO₂-karbon aktif 75:25 memiliki panjang gelombang yang cenderung mendekati sinar tampak sesuai dengan Tabel 4.2 dibandingkan dengan TiO₂-karbon aktif 95:5. Lampu UV yang digunakan memiliki panjang gelombang 365 nm sehingga komposisi TiO₂-karbon aktif yang lebih bekerja secara efektif adalah 95:5 dengan % degradasi sebesar 68,54%. Komposit TiO₂-karbon aktif masing-masing variasi komposisi memungkinkan akan bekerja lebih efektif dan menghasilkan % degradasi yang lebih tinggi jika dilakukan pengukuran fotodegradasi pada sinar tampak atau lampu dengan panjang gelombang yang lebih sesuai.

4.5.2. Penentuan Massa Optimum Komposit TiO₂-Karbon Aktif untuk Fotodegradasi Surfaktan pada Limbah *Laundry*

Fotodegradasi surfaktan pada limbah *laundry* dengan variasi massa komposit TiO₂-karbon aktif untuk menentukan massa optimum komposit TiO₂-karbon aktif yang telah disintesis untuk mendegradasi surfaktan berupa larutan LAS. Variasi massa komposit TiO₂-karbon aktif yang digunakan adalah 125, 250, 375, 500, dan 625 mg. Fotodegradasi masing-masing dilakukan dengan penambahan massa menggunakan komposisi optimum pada pengujian sebelumnya yaitu 95:5 pada kondisi pH 5 (asam). Pengukuran konsentrasi LAS dilakukan dengan analisa MBAS dan didapatkan hasil % degradasi pada Gambar 4.11 berikut.

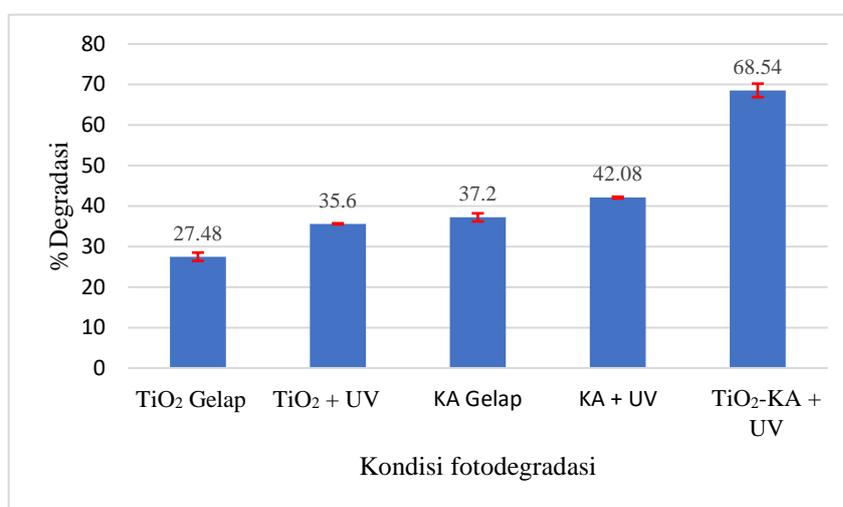


Gambar 4.11 Hasil fotodegradasi LAS dengan variasi massa komposit TiO₂-karbon aktif

Berdasarkan Gambar 4.11 dapat diketahui bahwa pada fotodegradasi LAS dengan variasi massa komposit TiO₂-karbon aktif 125, 250, 375, 500, dan 625 mg menghasilkan % degradasi berturut-turut sebesar 13,08%; 36,84%; 68,54%; 53,96%; dan 31,64%. Hasil uji didapatkan massa optimum 375 mg dengan % degradasi sebesar 68,54%. Sedangkan saat penambahan massa komposit yang semakin banyak yaitu 500 dan 625 mg, % degradasi larutan LAS cenderung menurun. Menurut Setiyawan *et al.* (2020) bahwa kondisi saat penambahan jumlah fotokatalis yang melebihi kondisi optimum akan kurang efektif dalam membentuk radikal hidroksil dan ion superoksida akibat *bulk* massa sehingga fotokatalis makin banyak yang tersuspensi karena tidak mendapatkan penyinaran UV yang optimal. Selain itu, penambahan komposit yang berlebih menyebabkan kekeruhan sehingga sinar UV atau energi foton yang akan masuk ke sisi aktif pada permukaan fotokatalis saat melakukan fotodegradasi akan terhalangi (Rodriguez *et al.*, 2020). Kondisi-kondisi tersebut yang mengakibatkan penurunan % degradasi larutan LAS jika ditambahkan massa komposit melebihi kondisi optimumnya.

4.5.3. Pengujian Efektivitas Komposit TiO₂-Karbon Aktif untuk Fotodegradasi Surfaktan pada Limbah Laundry

Uji efektivitas komposit TiO₂-karbon aktif untuk fotodegradasi surfaktan pada limbah laundry untuk efektivitas dari beberapa variasi kondisi saat mendegradasi surfaktan berupa larutan LAS. Fotodegradasi masing-masing dilakukan pada kondisi pH 5 (asam). Pengukuran konsentrasi LAS dilakukan dengan analisa MBAS dan didapatkan hasil % degradasi pada Gambar 4.12 berikut.



Gambar 4.12 Hasil uji efektivitas komposit TiO₂-karbon aktif untuk fotodegradasi LAS

Berdasarkan Gambar 4.12 dapat dilihat % degradasi tertinggi dihasilkan dari kondisi fotodegradasi larutan LAS dengan penambahan komposit TiO₂-karbon aktif 95:5 sebanyak 375 mg sesuai dengan hasil optimum pengujian sebelumnya dan disinari lampu UV selama 4 jam yaitu 68,54%. Hal ini membuktikan bahwa dengan penambahan komposit TiO₂-karbon aktif 95:5 + UV 4 jam lebih efektif untuk mendegradasi larutan LAS dibandingkan dengan penambahan TiO₂ atau karbon aktif saja. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Liu, *et al.*, (2007) yang menggunakan TiO₂ dan TiO₂/karbon aktif untuk mendegradasi fenol

menghasilkan % degradasi berturut-turut 76,3% dan 99,5%. Hal ini disebabkan oleh adanya efek sinergis antara kinerja absorpsi karbon aktif dan kinerja fotokatalitik TiO₂ sehingga meningkatkan kemampuan fotokatalitik komposit TiO₂-karbon aktif.

Karbon aktif sebagai absorben yang sering digunakan sebagai material penyangga pada fotokatalis untuk meningkatkan aktivitas fotokatalik. Besarnya luas permukaan karbon aktif setelah teraktivasi menyebabkan % degradasi saat kondisi penambahan karbon aktif saja lebih tinggi sebesar 42,08% dibanding dengan penambahan TiO₂ saja sebesar 37,2%. Dengan demikian, proses degradasi yang lebih berpengaruh pada penelitian ini adalah absorpsi. Fotodegradasi dengan penambahan TiO₂ saja dan karbon aktif saja masing-masing pada kondisi gelap sama-sama menghasilkan % degradasi yang lebih rendah dibanding pada kondisi penyinaran di bawah lampu UV. Hal ini disebabkan oleh proses fotolisis yaitu proses degradasi zat dibantu oleh radiasi UV untuk menghasilkan hidrogen dan radikal hidroksil sehingga dapat mendegradasi molekul organik (Bhernama *et al.*, 2015). Berikut adalah reaksi fotolisis:



4.6. Fotokatalis untuk Pengolahan Limbah dalam Perspektif Islam

Karbon aktif diketahui dapat meningkatkan aktivitas fotokatalis TiO₂ dalam mendegradasi limbah *laundry* berupa surfaktan dengan menurunkan energi celah pitanya. Proses fotodegradasi akan semakin efektif jika energi celah pitanya rendah. Hal ini disebabkan karena jarak antara pita valensi dan pita konduksi semakin dekat sehingga semakin mudah mengalami eksitasi dan energi yang dibutuhkan semakin

kecil sehingga sinar yang dibutuhkan juga semakin kecil. Pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit TiO₂-karbon aktif dengan tiga variasi komposisi yaitu 95:5, 90:10, dan 75:25. Energi celah pita yang dihasilkan TiO₂ anatas, TiO₂-karbon aktif 95:5, TiO₂-karbon aktif 90:10, dan TiO₂-karbon aktif 75:25 berturut-turut sebesar 3,20; 3,16; 3,15; dan 3,10 eV. Berdasarkan hasil yang didapat menunjukkan bahwa semakin banyak komposisi karbon aktif yang ditambahkan, semakin menurun energi celah pitanya sehingga hasil sintesis terbaik berdasarkan hasil karakterisasinya adalah TiO₂-karbon aktif 75:25. Hal ini membuktikan suatu hal yang ditambahkan tidak sesuai kadarnya akan mempengaruhi hasilnya juga. Sebagaimana firman Allah Swt. dalam surat Al-A'la (87) ayat 2-3:

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

Artinya: “Yang menciptakan dan menyempurnakan dan yang menentukan kadar serta memberi petunjuk.” (Q.S. Al-A'la (87): 2-3)

Berdasarkan Tafsir Al-Misbah dijelaskan bahwa Allah berfirman: Dia Yang Maha Tinggi itu adalah Dia yang menciptakan semua makhluk dan menyempurnakan ciptaan-Nya itu, dan Dia tidak sekedar menciptakan dan menyempurnakan penciptaan itu tetapi Dia juga yang menentukan kadar masing-masing serta memberi masing-masing petunjuk, sehingga masing-masing akan dapat melaksanakan fungsi dan peranan yang dituntut darinya dalam rangka tujuan penciptaannya. Kata *qaddara* (قَدَّرَ) berasal dari akar kata (قَدَرَ) *qadara* yang berarti mengukur, memberi kadar atau ukuran. Setiap hal yang diciptakan Allah Swt. diberi kadar, ukuran serta batas-batas tertentu, sifat, dan kemampuan maksimalnya. Untuk melampaui kadarnya tidak akan mampu, kecuali digunakan akal untuk menciptakan suatu alat, namun akal juga mempunyai keterbatasan dan ukuran yang tidak mampu dilampauinya. 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 (Shihab, 2002). Hasil sistesis TiO₂-karbon aktif selanjutnya diuji fotodegradasi pada limbah surfaktan berupa LAS. Hasil dari uji fotodegradasi juga menunjukkan bahwa beberapa perlakuan yang dilakukan diluar keadaan optimum menghasilkan persen degradasi yang rendah. Maka perlunya diperhatikan penggunaan komposit TiO₂-karbon aktif dengan kadar yang sesuai untuk menghasilkan persen degradasi yang optimum. Hasil dari penelitian ini menunjukkan keadaan optimum komposit TiO₂-karbon aktif dengan komposisi 95:5, massa optimum 375 mg, dan dilakukan fotodegradasi di bawah sinar UV sehingga didapatkan persen degradasi sebesar 68,54%.

Berdasarkan hasil uji efektivitas komposit TiO₂-karbon aktif untuk fotodegradasi limbah *laundry* berupada LAS didapatkan hasil % degradasi lebih tinggi saat kondisi penyinaran dengan UV dibandingkan dengan kondisi gelap. Pada perlakuan sampel + TiO₂ dalam kondisi gelap dan sampel + TiO₂ + UV berturut-turut menghasilkan % degradasi sebesar 27,48% dan 35,6%. Sedangkan pada perlakuan sampel + karbon aktif dalam kondisi gelap dan sampel + karbon aktif + UV berturut-turut menghasilkan % degradasi sebesar 37,2% dan 42,08%. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa sinar UV juga mempengaruhi efektivitas proses fotodegradasi. Sebagaimana firman Allah Swt. dalam surat An Naba' (78) ayat 13:

وَجَعَلْنَا سِرَاجًا وَهَّاجًا ﴿١٣﴾

Artinya: "Dan Kami jadikan pelita yang amat terang (matahari)," (Q.S. An Naba' (78): 13)

Ayat di atas menunjukkan bahwa Allah Swt. telah menciptakan pelita, yaitu matahari, dengan cahaya yang amat terang sebagai sumber cahaya/sinar di bumi

ini. Allah Swt. telah menjadikan matahari yang sinarnya mengandung obat untuk membunuh kuman-kuman dan mengusir penyakit-penyakit yang dapat mengganggu makhluk yang hidup seandainya tidak cukup mendapat sinar. Matahari juga memiliki sinar UV yang dapat membantu proses fotodegradasi limbah di perairan secara alami. Sama halnya seperti penelitian ini yang memanfaatkan sinar UV dari lampu untuk membantu proses fotodegradasi limbah dalam skala penelitian.

Kenikmatan dunia merupakan bukti kekuasaan Allah Swt. yang seharusnya kita jaga. Manusia dengan kemampuan akal nya dan mampu menguasai ilmu pengetahuan memiliki kewajiban menjaga, melestarikan alam semesta, dan memanfaatkan segala sesuatu yang telah diciptakan oleh Allah Swt. dengan baik sehingga terhindar dari kerusakan alam, terutama pada lingkungan perairan. Dengan demikian, melalui penelitian ini yang memanfaatkan ciptaan Allah Swt. yang penggunaannya disesuaikan kadarnya yaitu TiO_2 -karbon aktif dengan bantuan sinar UV 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 disimpulkan sebagai berikut:

1. Komposit TiO₂-karbon aktif berhasil disintesis dengan metode sonikasi. Berdasarkan karakterisasi XRF hasil menunjukkan bahwa penambahan komposisi karbon aktif yang semakin banyak akan menurunkan presentase unsur Ti karena tergantikan oleh unsur lain dengan presentase unsur Ti pada TiO₂ anatas, TiO₂-karbon aktif 95:5, TiO₂-karbon aktif 90:10, dan TiO₂-karbon aktif 75:25 berturut-turut adalah 98,17%; 97,81%; 97,66%; dan 97,55%. Hasil karakterisasi FTIR menghasilkan serapan gugus fungsi C=C pada 1680-1610 cm⁻¹. Serta, berdasarkan hasil karakterisasi UV-Vis DRS menunjukkan penurunan energi celah pita dari TiO₂ anatas sebesar 3,20 eV ke TiO₂-karbon aktif 95:5, 90:10, dan 75:25 berturut-turut sebesar 3,16 eV; 3,15 eV; dan 3,10 eV.
2. Komposisi optimum karbon aktif pada komposit TiO₂-karbon aktif adalah 95:5 karena lampu UV yang digunakan sesuai dengan panjang gelombang TiO₂-karbon aktif 95:5.
3. Semakin besar massa komposit, maka efektivitas fotodegradasi akan semakin meningkat. Massa optimum komposit TiO₂-karbon aktif sebesar 375 mg, sedangkan penambahan massa melebihi massa optimum akan menurunkan efektivitas fotodegradasi.

4. Hasil uji efektivitas menunjukkan kondisi optimum fotodegradasi dihasilkan oleh penambahan TiO₂-karbon aktif 95:5 sebanyak 375 mg dan disinari dengan sinar UV selama 4 jam menghasilkan % degradasi sebesar 68,54%.

5.2. Saran

- 1. Pada penentuan kurva standar perlu dilakukan sesuai dengan prosedur SNI 06-6989.51-2005.**
2. Perlu dilakukan fotodegradasi pada daerah sinar tampak atau lampu dengan panjang gelombang yang sesuai untuk mengetahui efektivitas kerja komposit.
3. Perlu dilakukan sintesis dengan metode yang sesuai (menggunakan sedikit pelarut) sehingga tidak perlu dilakukan penyaringan setelah proses sintesis dan tidak mengurangi komposisi material yang memungkinkan akan larut bersama filtrat.
4. Perlu dilakukan uji fotodegradasi dengan variasi lain (konsentrasi, pH, waktu) untuk mengetahui lebih jauh efektivitas fotodegradasi pada LAS.

DAFTAR PUSTAKA

- 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*. Yogyakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
- Alinsafi, A., *et al.* 2007. Treatment of Textille of Industry Waste Water by Supported Photocatalysis. *Dyes and Pigments-dye Pigment*. 74(2): 439-445.
- Allport, H. B. 1997. *Activated Carbon. Encyclopedia of Science and Technology*. New York: Mc Graw Hill Book Company.
- Asiltürk, M., dan Şener, Ş. 2012. TiO₂-activated carbon photocatalysts: Preparation, characterization and photocatalytic activities. *Chemical Engineering Journal*. 180: 354–363.
- Astuti dan Ningsih, S. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Titanium Dioksida (TiO₂) Menggunakan Metode Sonokimia. *Jurnal Ilmu Fisika*. 9(1): 26-32.
- Astuti, F. 2018. Efek Fotodegradasi pada Pengolahan Surfaktan Anionik Limbah *Laundry*. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM*. 2(2).
- Baur, V. W. H. 1961. Atomabstände und Bindungswinkel im Brookite, TiO₂. *Acta Crystallography*. 14(1): 56-67.
- Bhernama, B.G. 2015. Degradasi Zat Warna *Metanil Yellow* Secara Fotolisis dan Penyinaran Matahari dengan Penambahan Katalis TiO₂-*anatase* dan SnO₂. *Journal of Islamic Science and Technology*. 1(1).
- Di Paola, A., Bellardita, M., dan Palmisano, L. 2013. Brookite, the Least Known TiO₂ Photocatalyst. *Catalyst*. 3: 36-73
- Diyannah, K. 2018. Sintesis dan Karakterisasi TiO₂ Terdoping Gadolinium (Gd³⁺) dengan Metode Sol-Gel Sonikasi. *Skripsi*. Malang: Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Fatimah, I., Sugiharto, E., Wijaya, K., Tahir, I., dan Kamalia, K. 2006. Titanium Oxide Dispersed on Natural Zeolite (TiO₂/Zeolite) and Its Application for Congo Red Photodegradation. *Indo. J. Chem*. 6(1) : 38-42.
- Gates, B. 1991. *Catalytic Chemistry*. USA: John Wiley & Sons.
- Hendra, Barlian, E., Razak, A., dan Sanjaya, H. 2015. Photo-degradation of Surfactant Compounds Using UV Rays With Addition of TiO₂ Catalysts in *Laundry Waste*. *Jurnal Saintek*. 7(1).

- Hidayanto, E., *et al.* 2017. Morphology and Degradation Kinetics of N-Doped TiO₂ Nanoparticles. *Journal of Al-Nahrain University*. 18(3).
- Ilmi, D. R. 2020. Fotodegradasi Zat Warna Metil Jingga Menggunakan Fotokatalis TiO₂-N/Zeolit yang disintesis dengan Metode Sonikasi. *Skripsi*. Malang: Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Irwan, Lubis, S., Ramli, M., & Sheilatina. 2016. Photocatalytic Degradation of Indigo Carmine by TiO₂/Activated Carbon from Waste Coffee Ground. *Jurnal Natural*. 16(1): 21–26.
- Jannah, S. N. 2019. Sintesis dan Karakterisasi TiO₂/Karbon Aktif Menggunakan Metode Sol Gel. *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi. Malang: Universitas Islam Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Jariyanorasade, Anon, dan Junyapoon, S. 2018. Factors Affecting the Degradation of Linier Alkylbenzene Sulfonate by TiO₂ Assisted Photocatalysis and Its Kinetics. *Environment Asia*. 11(1): 45-60.
- Jawhari, T. 2004. *Al-Jawahir Fi Tafsir Al-Qur'an Al Karim*. Kairo: Mustafa al-Babi Wa Al-Halbi.
- Kustiningsih, I., Mareta, H., Mustofa, D., Slamet, dan Purwanto, W. W. 2010. Pengaruh Morfologi TiO₂ dan *Dopant* Platina terhadap Produksi Hidrogen dari Air dengan Metode Fotokatalisis. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 14(1).
- Kvech, S. dan Tull, E. 1998. *Activated Carbon in Water Treatment Primer*, Environmental Information Management Civil Engineering Dept, Virginia Tech, <http://wtprimer/carbon/sketcarb.html>.
- Leary, R dan Westwood, A. 2011. Carbonaceous nanomaterials for the enhancement of TiO₂ photocatalysis. *Carbon N. Y.* 49: 9254-9258.
- Liu, S. X., Chen, X. Y., & Chen, X. (2007). A TiO₂/AC composite photocatalyst with high activity and easy separation prepared by a hydrothermal method. *Journal of Hazardous Materials*, 143(1–2), 257–263.
- Mao, L., Li, Q., Dang, H., dan Zhang, Z. 2005. Synthesis of nanocrystalline TiO₂ with high photoactivity and large specific surface area by sol-gel method. *Materials Research Bulletin*, 40(2): 201–208.
- Martins, A. C., Cazetta, A. L., Pezoti, O., Souza, J. R. B., Zhang, T., Pilau, E. J., dan Almeida, V. C. 2017. Sol-gel synthesis of new TiO₂/activated carbon photocatalyst and its application for degradation of tetracycline. *Ceramics International*, 43(5): 4411–4418.
- Mokhalkar, S. J., dan Ingole, N. W. 2016. Efficiency Evaluation of Sonication for Treatment of Waste Water. *International of Innovative and Emerging Research in Engineering*. 3(1).

- Monika, I., Umar, D.F., Hardian, A., Astriana, R., dan Sulistyohadi, F. 2021. Pengaruh Penambahan Katalis TiO₂ Terhadap Sifat Kimia Permukaan Komposit Karbon Aktif untuk Penyerapan Gas SO₂. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*. 17(3): 153-165.
- Munasir, Triwikantoro, Zainuri, M. M., dan Darminto. 2012. Uji XRD dan XRF pada Bahan Mineral (Batuan dan Pasir) sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO₃ dan SiO₂). *Jurnal Penelitian dan Aplikasinya*. 2(1).
- Nolan, N., Seery, M., Photocatalysts, T., Nolan, N. T., Seery, M. K., dan Pillai, S. C. 2009. Spectroscopic Investigation of the Anatase to Rutile Transformation of Sol-Gel Synthesised TiO₂. *Journal of Physical Chemistry*. 113: 16151-16157.
- Poluakan, M., Wuntu, A., dan Sangi, M. S. 2015. Aktivitas Fotokatalitik TiO₂-Karbon Aktif dan TiO₂-Zeolit pada Fotodegradasi Zat Warna *Remazol Yellow*. *Jurnal MIPA UNSRAT Online*. 4(2): 136-140.
- Purnamasari, E. N. 2014. Karakteristik Kandungan Linear Alkyl Benzene Sulfonat (LAS) pada Limbah Cair *Laundry*. *Jurnal Media Teknik*. 11(1).
- Rahman, T., Fadhlulloh, M.A., Nandiyanto, A.B.D., dan Mudzakir, A. 2014. Review: Sintesis Titanium Dioksida Nanopartikel. *Jurnal Integrasi Proses*. 5(1): 15-29.
- Rahmawati, A. F. I. 2020. Pengaruh Komposisi TiO₂:N dan pH pada Degradasi Zat Warna *Methyl Orange* Menggunakan Fotokatalis TiO₂-N/Zeolit. *Skripsi*. Malang: Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Rifai, M., dan Nugraha, I. 2013. Kajian Adsorpsi *Linear Alkyl Benzene Sulphonate* (LAS) dengan Bentonit-kitosan. *Molekul*. 8(2): 186.
- Risfiandi, F., Yusnimar, dan Helianty, S. 2016. Penentuan Daya Jerap Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Terhadap Ion Cu(II). *Jom FTEKNIK*. 3(1).
- Rismiati, Z., Yuniati, Y., dan Alfanaar, R. 2016. Penerapan Metode Sonikasi terhadap Absorpsi Fe(III) pada Zeolit Alam Teraktivasi. *Alchemy Journal of Chemistry*. 5(2).
- Rizky, N.A., Irawati, U., dan 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): 012075
- Rodríguez Couto, S. 2009. Dye removal by immobilised fungi. *Biotechnology Advances*, 27(3), 227–235.
- Saggiaro, E. M., Oliveira, A. S., Pavesi, T., & Moreira, J. C. (2014). Effect of activated carbon and titanium dioxide on the remediation of an indigoid dye in model waters. *Revista de Chimie*, 65(2), 237–241.

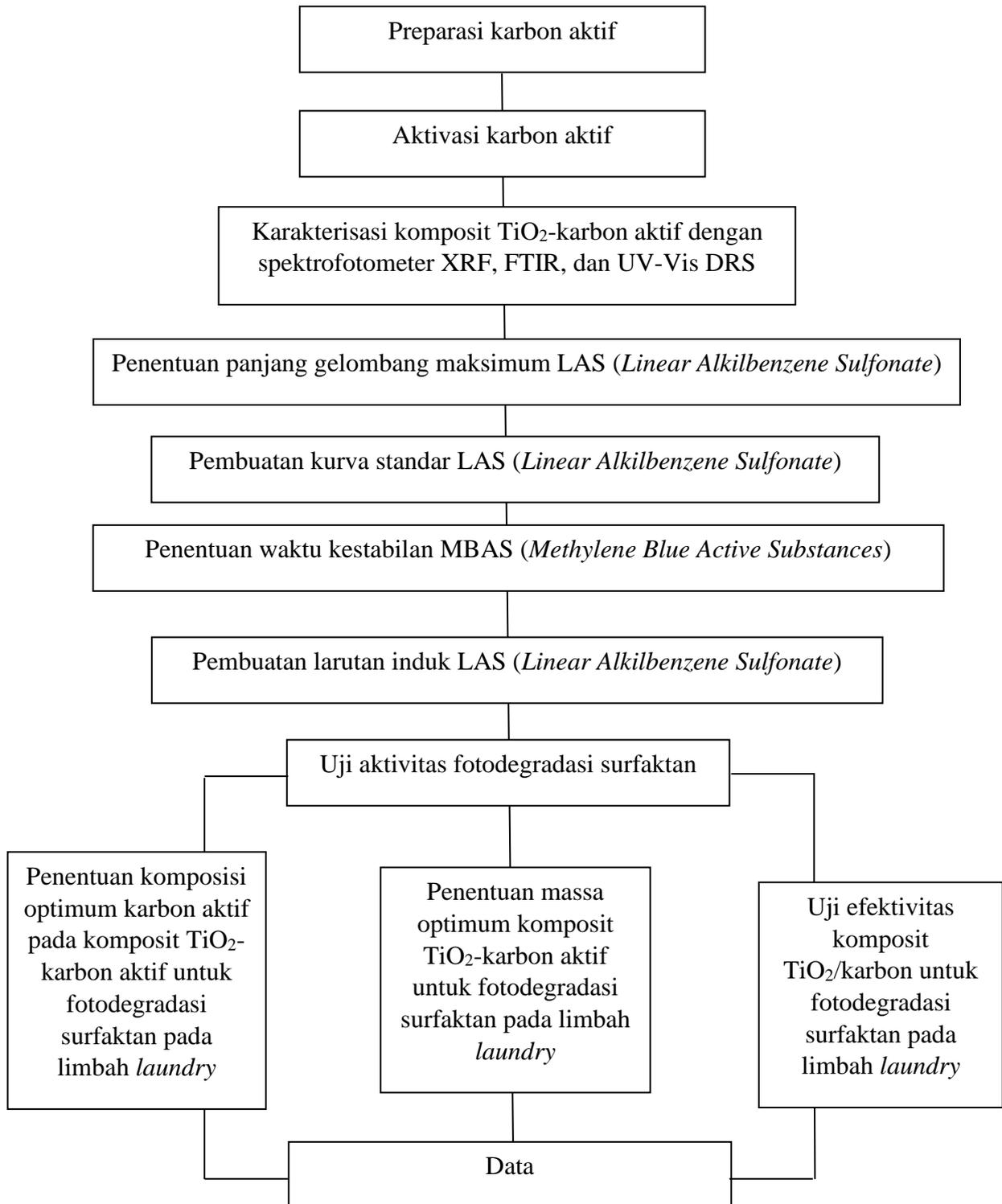
- Samsudin, E. M., Abd Hamid, S. B., Juan, J. C., Basirun, W. J., Kandjani, A. E., & Bhargava, S. K. (2015). Controlled nitrogen insertion in titanium dioxide for optimal photocatalytic degradation of atrazine. *RSC Advances*, 5(55), 44041–44052.
- Saraswati, I. G. A. A., Diantariani, N. P., dan Suarya, P. 2015. Fotodegradasi Zat Warna Tekstil Congo Red dengan Fotokatalis ZnO-Arang Aktif dan Sinar Ultraviolet (UV). *Jurnal Kimia*. 9(2): 175-182.
- Sarno, G., Vaiano, V., Sannino, D., dan Ciambelli, P. 2015. Photocatalytic applications with TiO₂/zeolites composites anchored on ceramic tiles. *Chemical Engineering Transactions*. 43 (2015) : 985-990.
- Scepanovic, M. S., Askrabic, V., Berc, A., Golubovic, Z., Dohcevic-Mitrovic, A., Kremanovic dan Popovic, Z. V. 2009. Characterization of La-Doped TiO₂ Nanopowders by Raman Spectroscopy. *Acta Physica Polonica A*. 4 (2009): 115.
- Schleheck, D., Dong W., Denger, K., Heinzle, E., dan Cook, A. M. 2000. An a-Proteobacterium Converts Linear Alkylbenzenesulfonate Surfactants into Sulfophenylcarboxylates and Linear Alkyldiphenyletherdisulfonate Surfactants into Sulfodiphenylethercarboxylates. *Applied. and Env. Microb.* 66(5): 1911–1916.
- Septiana, R. 2014. Pengaruh Penambahan Ion Logam Cu(II) terhadap Dekolorisasi Zat Warna Methylene Blue dan Methyl Orange oleh Komposit TiO₂ Kitosan. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- Septiani, U., Gustina, M dan Safni. 2015. Pembuatan dan karakterisasi katalis TiO₂-karbon aktif dengan metode solid state. Padang: *Jurnal Jurusan Kimia FMIPA Universitas Andalas*.
- Setiyawan, D., simpen, I.N., dan Ratnayati, O. 2020. Fotodegradasi Zat Warna Limbah Cair Industri Pencelup dengan Katalis Zeolit Alam/TiO₂ dan Sinar UV. *Cakra Kimia*. 8(1).
- Shihab, M. Quraish. 2002. *Tafsir Al-Mishbah: Pesan, Kesan, dan Keserasian AlQur'an Vol. 14*. Jakarta: Lentera Hati
- Socrates. 1994. *Characteristic Group Frequencies Tables and Charts Second Edition*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Sudarminto, H.P., Suryandari, A.S., Mufid, Sindhuwati, C., Maula, I. 2021. Degradasi Linier Alkylbenzene Sulfonate Air Limbah Laundry Menggunakan Proses Fotokatalis. *Seminar Nasional Rekayasa Proses Industri Kimia*. 5 (1).
- Surenjan, A., Sambandam, B., Pradeep, T., dan Philip, L. 2017. Synthesis, characterization and performance of visible light active C-TiO₂ for pharmaceutical photodegradation. *Journal of Environmental Chemical*

Engineering, 5 (1): 757–767.

- Wachid, F.M dan Darminto. 2012. Analisis Fasa Karbon pada Proses Pemanasan Tempurung Kelapa. *Jurnal Teknik POMITS*. 1(1): 1-4.
- Wahyuni, Desi Sri. 2020. Urgensi Belajar Dalam Perspektif Islam (Kajian Tafsir Qur’An Surat Al-Mujadalah Ayat 11). *Skripsi*. Palembang: Universitas Muhammadiyah Palembang.
- Wardhani, S., Bahari B., Khunur, M. M. 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(2): 78-84.
- Xu, W., Jin, Y., Ren, Y., Li, J., Wei, Z., Ban, C., Cai, H., & Chen, M. (2022). Synergy mechanism for TiO₂/activated carbon composite material: Photocatalytic degradation of methylene blue solution. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 100(2), 276–290.
- Zhang, H., Sun, L., dan Qinhua, S. 2015. Photocatalytic Degradation of Methyl Orange Over Nitrogen-doped TiO₂ Prepared by Ultrasonic Method. *International Power, Electronics and Materials Engineering Conference*. Atlantis Press.

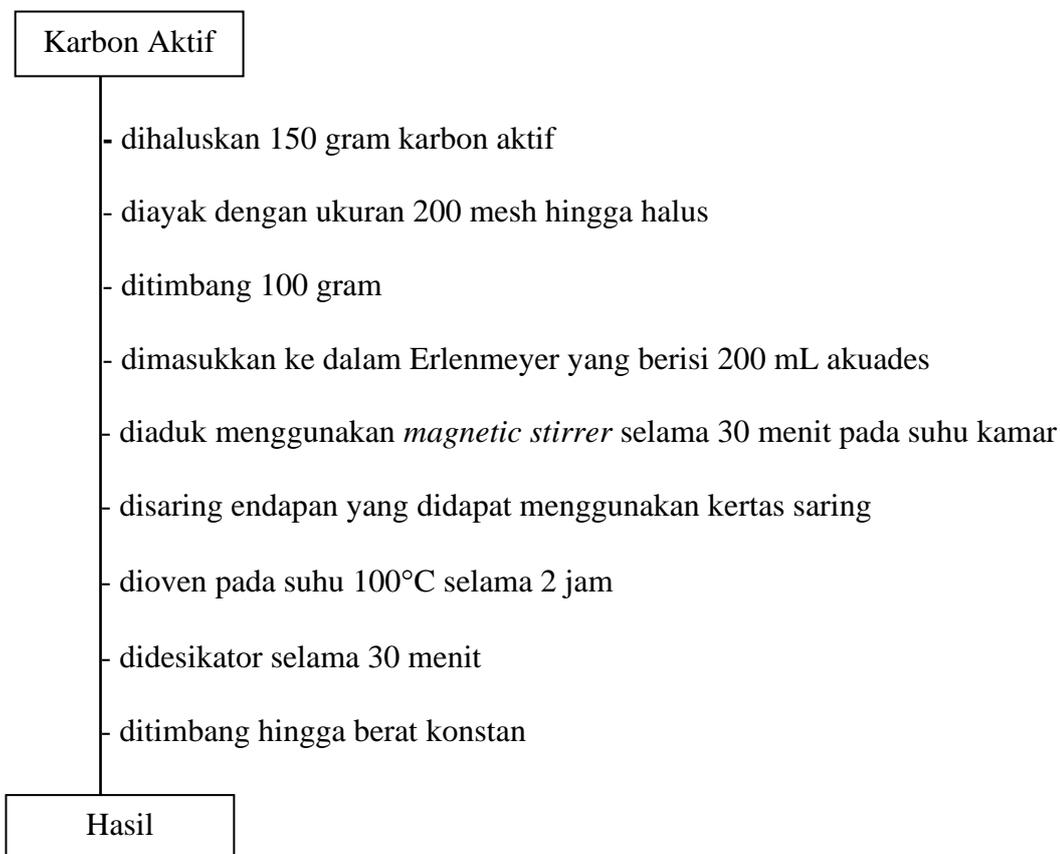
LAMPIRAN

Lampiran 1 Rancangan Penelitian

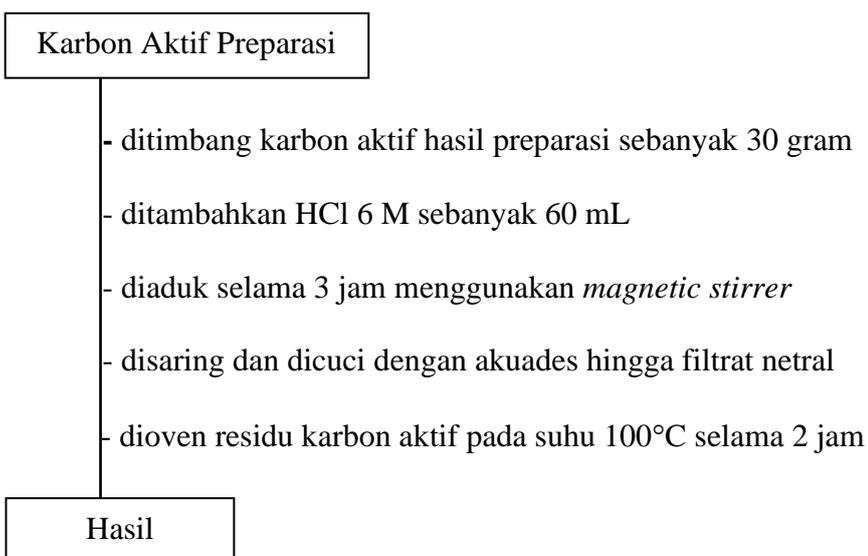


Lampiran 2 Diagram Alir Penelitian

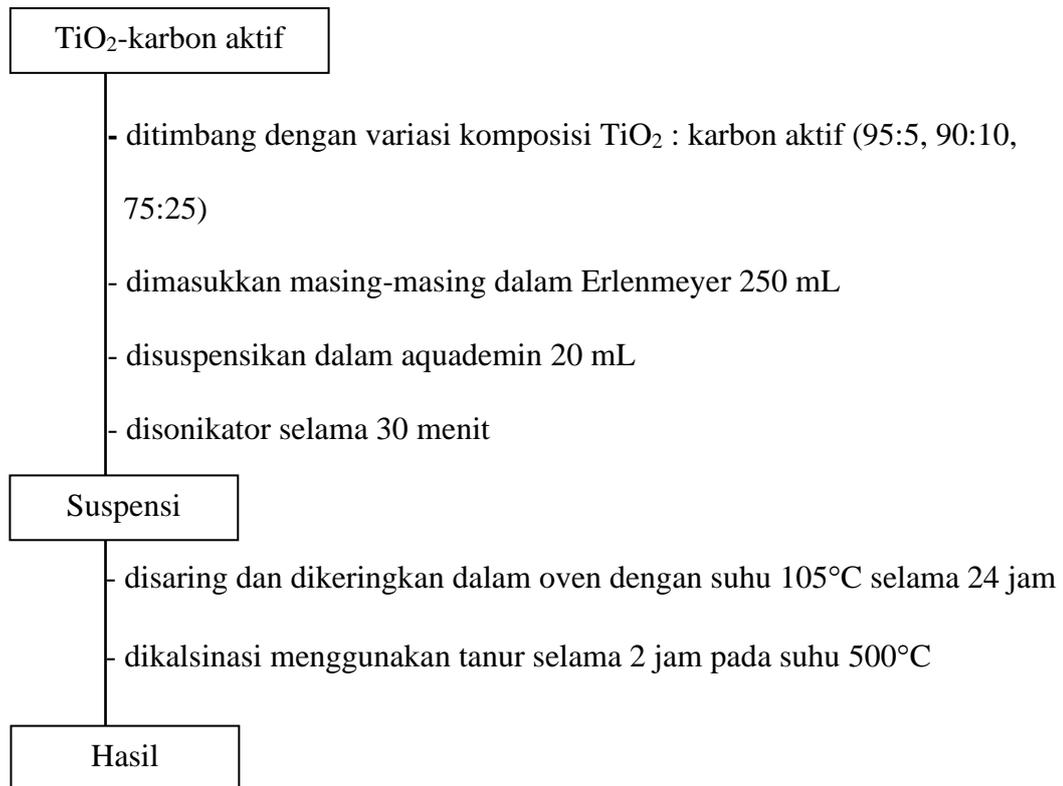
L.2.1. Preparasi Karbon Aktif



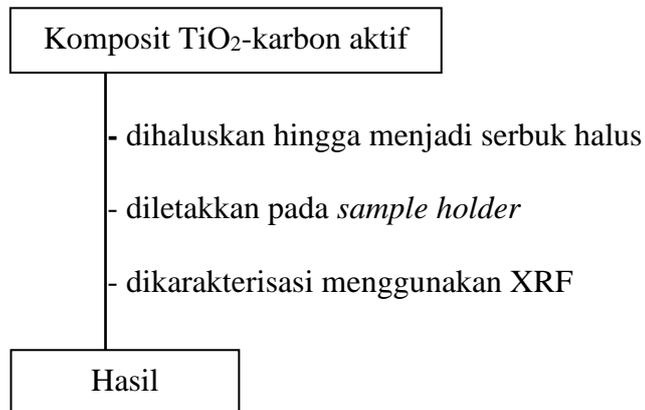
L.2.2. Aktivasi Karbon Aktif



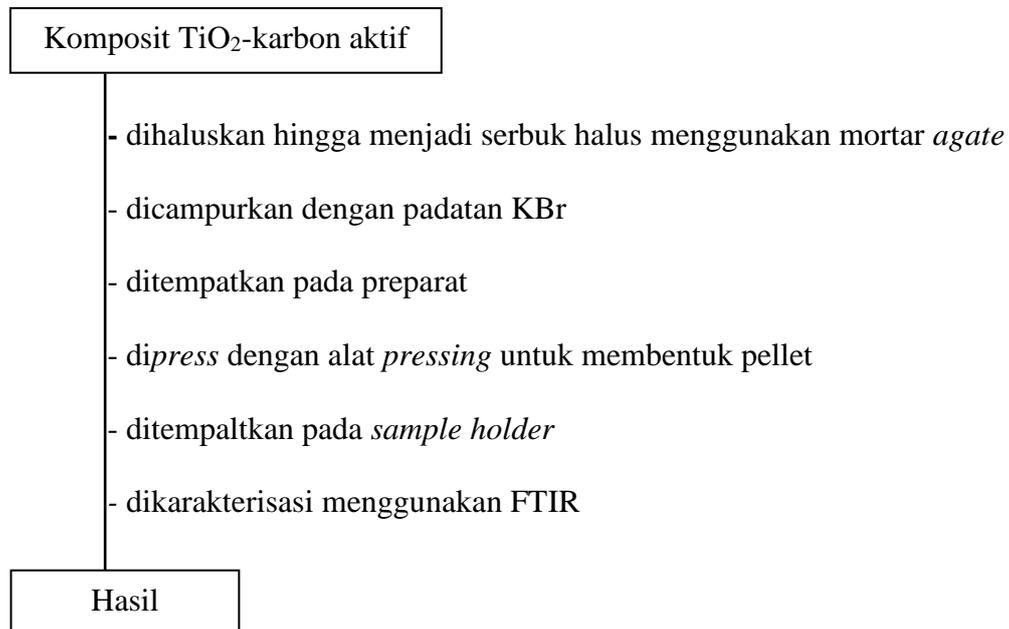
L.2.3. Sintesis Komposit TiO₂-karbon aktif



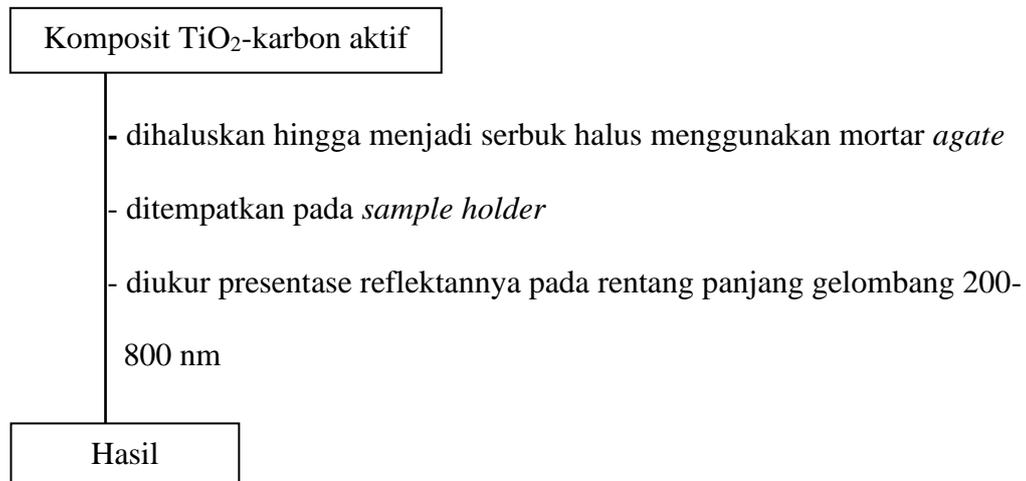
L.2.4. Karakterisasi Komposit TiO₂-karbon aktif dengan XRF



L.2.5. Karakterisasi Komposit TiO₂-karbon aktif dengan FTIR



L.2.6. Karakterisasi Komposit TiO₂-karbon aktif dengan UV-Vis DRS



L.2.7. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum LAS (*Linear Alkylbenzene Sulfonate*)

Larutan LAS 25 ppm

- dipipet 25 mL larutan LAS 25 ppm ke dalam corong pisah 100 mL
- ditambahkan 5 mL CHCl_3
- ditambahkan 12,5 mL reagen *methylene blue*
- dikocok selama 30 detik
- ditambahkan 5 mL isopropil alcohol
- didiamkan sampai terbentuk 2 lapisan
- dipisahkan CHCl_3 dan dimasukkan ke dalam corong pisah lainnya
- diekstraksi sisa air dengan CHCl_3 sebanyak dua kali dengan menambahkan 5 mL CHCl_3 pada tiap ekstraksi
- dikumpulkan lapisan CHCl_3 yang diperoleh
- ditambahkan 25 mL larutan pencuci dan dikocok lagi selama 30 menit
- dipisahkan lapisan CHCl_3 dan dimasukkan ke dalam labu ukur 25 ml
- diencerkan dan ditandabatkan CHCl_3 dalam labu ukur
- diukur serapannya dengan spektrofotometer UV-Vis mulai panjang gelombang 400 sampai 800 nm
- dilihat hasil absorbansi terbesar

Hasil

L.2.8. Penentuan Kurva Standar LAS (*Linear Alkylbenzene Sulfonate*)

Larutan LAS 25 ppm

- dipipet larutan LAS 25 ppm sebanyak 25 mL pada corong pisah 100 mL
- ditambahkan 5 mL CHCl_3
- ditambahkan 12,5 mL reagen *methylene blue*
- dikocok selama 30 detik
- ditambahkan 5 mL isopropil alcohol
- didiamkan sampai terbentuk 2 lapisan
- dipisahkan CHCl_3 dan dimasukkan ke dalam corong pisah lainnya
- diekstraksi sisa air dengan CHCl_3 sebanyak dua kali dengan menambahkan 5 mL CHCl_3 pada tiap ekstraksi
- dikumpulkan lapisan CHCl_3 yang diperoleh
- ditambahkan 25 mL larutan pencuci dan dikocok lagi selama 30 menit
- dipisahkan lapisan CHCl_3 dan dimasukkan ke dalam labu ukur 25 ml dan ditandabatkan
- diencerkan pada konsentrasi 1, 5, 10, 15, dan 20 ppm
- diukur masing-masing absorbansi pada panjang gelombang maksimum

Hasil

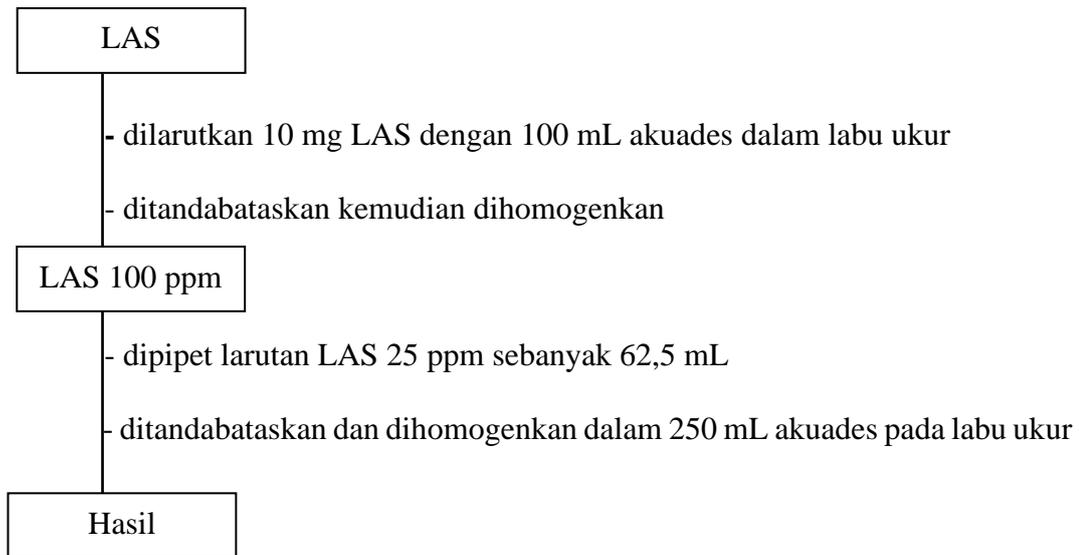
L.2.9. Penentuan Waktu Kestabilan MBAS (*Methylene Blue Active Substances*)

Larutan LAS 25 ppm

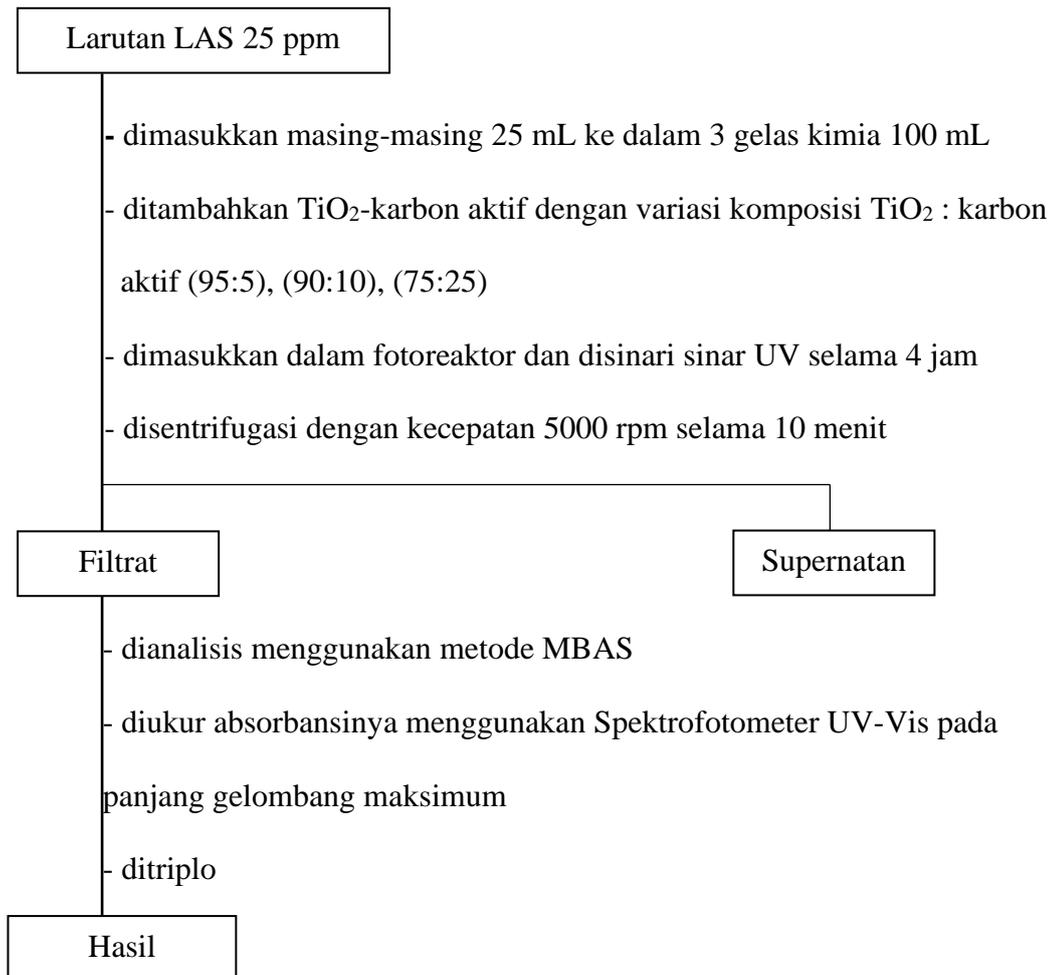
- dipipet larutan LAS 25 ppm sebanyak 25 mL pada corong pisah 100 mL
- ditambahkan 5 mL CHCl_3
- ditambahkan 12,5 mL reagen *methylene blue*
- dikocok selama 30 detik
- ditambahkan 5 mL isopropil alcohol
- didiamkan sampai terbentuk 2 lapisan
- dipisahkan CHCl_3 dan dimasukkan ke dalam corong pisah lainnya
- diekstraksi sisa air dengan CHCl_3 sebanyak dua kali dengan menambahkan 5 mL CHCl_3 pada tiap ekstraksi
- dikumpulkan lapisan CHCl_3 yang diperoleh
- ditambahkan 25 mL larutan pencuci dan dikocok lagi selama 30 menit
- dipisahkan lapisan CHCl_3 dan dimasukkan ke dalam labu ukur 25 ml dan ditandabatkan
- diukur pada waktu 0, 15, 30, 45, dan 60 menit pada panjang gelombang maksimum

Hasil

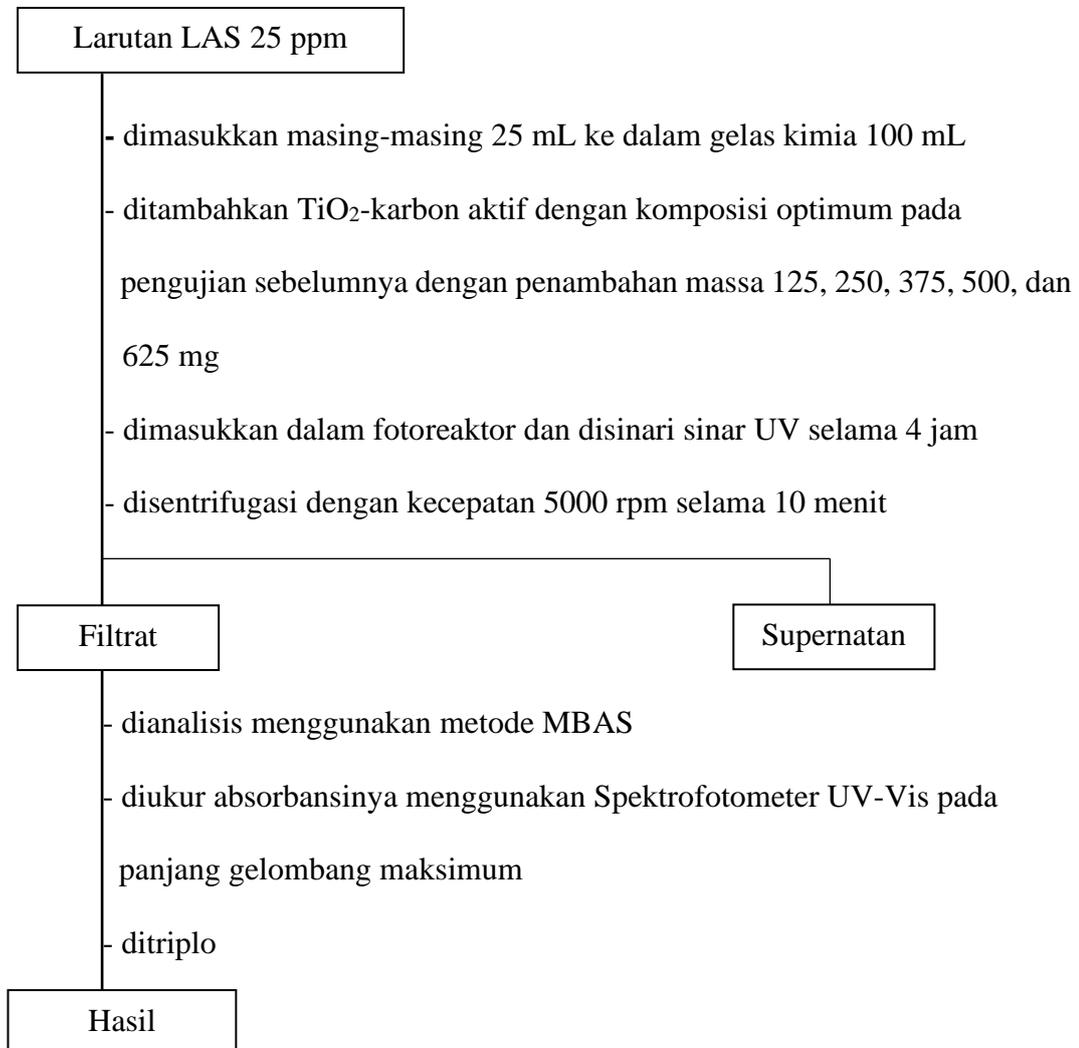
L.2.10. Pembuatan Larutan Induk LAS (*Linear Alkylbenzene Sulfonate*)



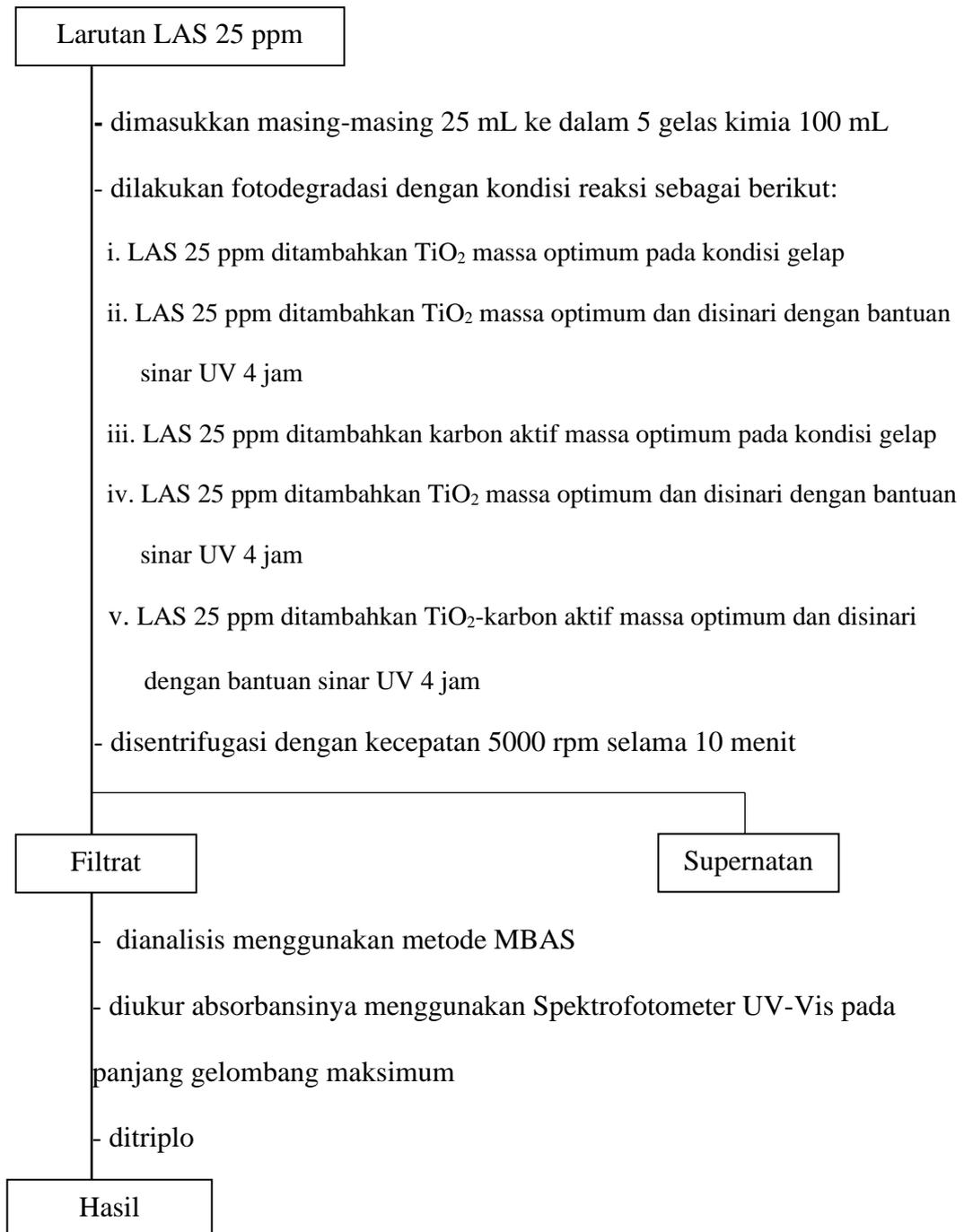
L.2.11. Penentuan Komposisi Optimum Karbon Aktif pada Fotokatalis TiO₂-karbon aktif untuk Fotodegradasi Surfaktan pada Limbah *Laundry*



L.2.12. Penentuan Massa Optimum Komposit TiO₂-karbon aktif untuk Fotodegradasi Surfaktan pada Limbah *Laundry*



L.2.13. Pengujian Efektivitas Komposit TiO₂-karbon aktif untuk Fotodegradasi Surfaktan pada Limbah *Laundry*



L.2.14. Analisis MBAS

Larutan LAS hasil fotodegradasi

- dimasukkan 10 mL larutan sampel ke dalam corong pemisah 50 mL
- ditetesi dengan larutan NaOH 1 N
- ditetesi 2-3 tetes indikator *fenolftalein*
- ditetesi larutan H₂SO₄ 1 N secara hati-hati hingga warna merah muda hilang
- ditambahkan 2 mL CHCl₃
- ditambahkan 5 mL reagen *methylene blue*
- dikocok selama 30 detik
- ditambahkan 2 mL isopropil alcohol
- didiamkan sampai terbentuk 2 lapisan
- dipisahkan CHCl₃ dan dimasukkan ke dalam corong pisah lainnya
- diekstraksi sisa air dengan CHCl₃ sebanyak dua kali dengan menambahkan 2 mL CHCl₃ pada tiap ekstraksi
- dikumpulkan lapisan CHCl₃ yang diperoleh
- ditambahkan 10 mL larutan pencuci dan dikocok lagi selama 30 menit
- dipisahkan lapisan CHCl₃ dan dimasukkan ke dalam labu ukur 10 ml
- diencerkan dan ditandabatkan CHCl₃ dalam labu ukur
- diukur absorbansi larutan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum

Hasil

Lampiran 3 Perhitungan

L.3.1. Pembuatan Larutan HCl 6 M

Diketahui: BJ HCl pekat = 1,267 g/mL
 Konsentrasi = 37% = $\frac{37 \text{ g HCl}}{100 \text{ g larutan}}$
 BM HCl = 36,5 g/mol

Ditanya: V HCl pekat 37% yang dibutuhkan?

Jawab: Mol = $\frac{\text{g HCl}}{\text{Mr HCl}} = \frac{37 \text{ g}}{36,5 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{ larutan}} = 1,014 \text{ mol}$
 100 gram larutan = $\frac{100 \text{ g}}{1,267 \text{ g/mL}} = 78,9 \text{ mL} = 0,0789 \text{ L}$
 Molaritas = $\frac{\text{mol}}{\text{L}} = \frac{1,014 \text{ mol}}{0,0789 \text{ L}} = 12,85 \text{ M}$
 $M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$
 $12,85 \text{ M} \times V_1 = 6 \text{ M} \times 100 \text{ mL}$
 $V_1 = 46,7 \text{ mL}$

Adapun prosedur pembuatan larutan HCl 6 M adalah diambil larutan HCl pekat 37% sebanyak 46,7 mL, lalu dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditandabatkan dengan akuades. Selanjutnya, dikocok hingga homogen.

L.3.2. Pembuatan Larutan LAS (*Linear Alkylbenzene Sulfonate*)

- Pembuatan larutan LAS (*Linear Alkylbenzene Sulfonate*) 100 ppm

Diketahui: Konsentrasi LAS = 100 ppm
 V = 100 mL

Ditanya: massa LAS?

Jawab: $1 \text{ ppm} = \frac{1 \text{ mg}}{1 \text{ L}}$
 $100 \text{ ppm} = \frac{\text{massa}}{0,1 \text{ L}}$
 Massa = 100 ppm x V
 = 100 ppm x 0,1 L
 = 10 mg

- **Pembuatan larutan sampel LAS (*Linear Alkylbenzene Sulfonate*)**

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

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 25 \text{ ppm} \times 250 \text{ mL}$$

$$V_1 = 62,5 \text{ mL}$$

L.3.3. Pembuatan Larutan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) Kurva Standar

- Larutan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) konsentrasi 1 ppm

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

$$25 \text{ ppm} \times V_1 = 1 \text{ ppm} \times 5 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,2 \text{ mL}$$

- Larutan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) konsnetrasi 5 ppm

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

$$25 \text{ ppm} \times V_1 = 5 \text{ ppm} \times 5 \text{ mL}$$

$$V_1 = 1 \text{ mL}$$

- Larutan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) konsnetrasi 10 ppm

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

$$25 \text{ ppm} \times V_1 = 10 \text{ ppm} \times 5 \text{ mL}$$

$$V_1 = 2 \text{ mL}$$

- Larutan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) konsnetrasi 15 ppm

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

$$25 \text{ ppm} \times V_1 = 15 \text{ ppm} \times 5 \text{ mL}$$

$$V_1 = 3 \text{ mL}$$

- Larutan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) konsnetrasi 20 ppm

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

$$25 \text{ ppm} \times V_1 = 20 \text{ ppm} \times 5 \text{ mL}$$

$$V_1 = 4 \text{ mL}$$

- Larutan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) konsnetrasi 25 ppm

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

$$25 \text{ ppm} \times V_1 = 25 \text{ ppm} \times 5 \text{ mL}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

L.3.4. Sintesis TiO₂-karbon aktif

Diketahui: Target sintesis = 8 gram

Ditanya: massa TiO₂ dan massa karbon aktif?

Jawab:

a. Komposisi TiO₂-karbon aktif 95:5

- Massa TiO₂

$$\begin{aligned} \text{Massa TiO}_2 &= \frac{95}{100} \times 8 \text{ gram} \\ &= 7,6 \text{ gram} \end{aligned}$$

- Massa karbon aktif

$$\begin{aligned} \text{Massa TiO}_2 &= \frac{5}{100} \times 8 \text{ gram} \\ &= 0,4 \text{ gram} \end{aligned}$$

b. Komposisi TiO₂-karbon aktif 90:10

- Massa TiO₂

$$\begin{aligned} \text{Massa TiO}_2 &= \frac{90}{100} \times 8 \text{ gram} \\ &= 7,2 \text{ gram} \end{aligned}$$

- Massa karbon aktif

$$\begin{aligned} \text{Massa TiO}_2 &= \frac{10}{100} \times 8 \text{ gram} \\ &= 0,8 \text{ gram} \end{aligned}$$

c. Komposisi TiO₂-karbon aktif 75:25

- Massa TiO₂

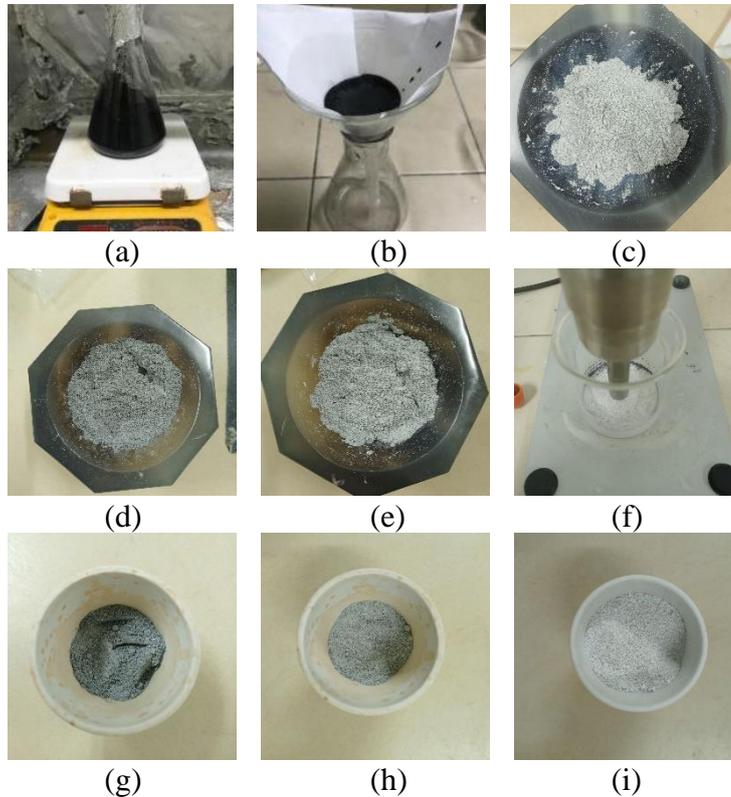
$$\begin{aligned} \text{Massa TiO}_2 &= \frac{75}{100} \times 8 \text{ gram} \\ &= 6 \text{ gram} \end{aligned}$$

- Massa karbon aktif

$$\begin{aligned} \text{Massa TiO}_2 &= \frac{25}{100} \times 8 \text{ gram} \\ &= 2 \text{ gram} \end{aligned}$$

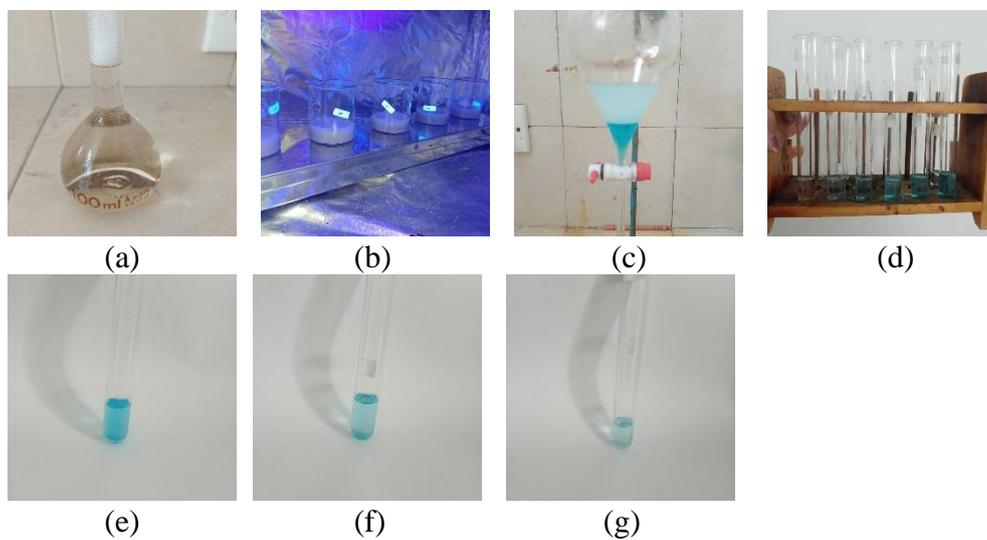
Lampiran 4 Dokumentasi

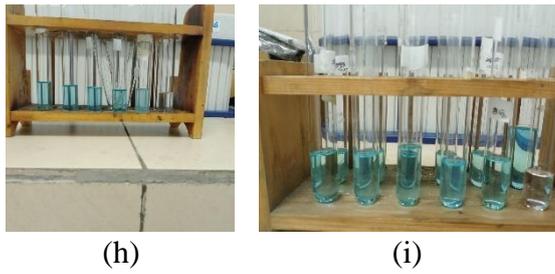
L.4.1 Preparasi Komposit TiO₂-Karbon Aktif



Gambar 4.1 Proses aktivasi karbon aktif dengan HCl 6N (a), pencucian dengan akuades (b), pencampuran TiO₂ dengan karbon aktif 95:5 (c), pencampuran TiO₂ dengan karbon aktif 90:10 (d), pencampuran TiO₂ dengan karbon aktif 75:25 (e), proses sonikasi komposit TiO₂-karbon aktif (f), hasil kalsinasi komposit TiO₂-karbon aktif 75:25 (g), hasil kalsinasi komposit TiO₂-karbon aktif 90:10 (h), hasil kalsinasi komposit TiO₂-karbon aktif 95:5 (i)

L.4.2 Fotodegradasi LAS

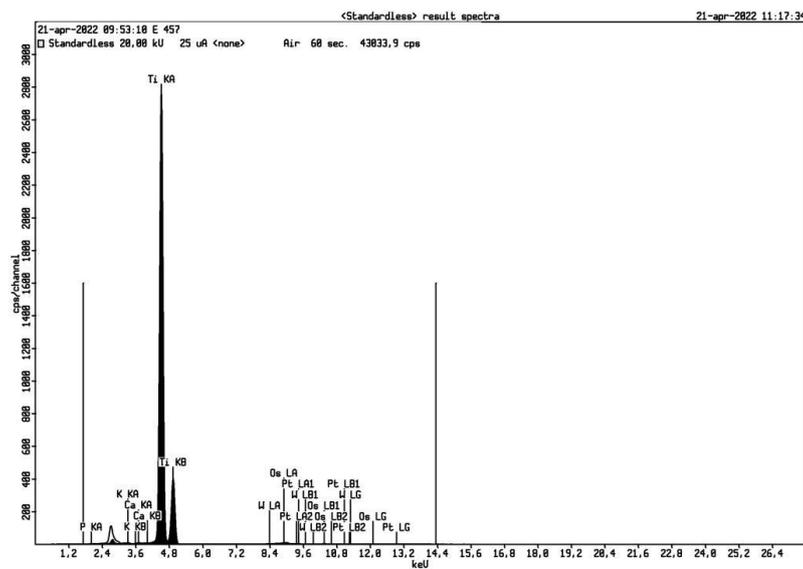




Gambar 4.2 Larutan induk LAS (a), proses fotodegradasi (b), pengompleksan LAS dengan *methylene blue* (c), penentuan kurva standar (d), hasil fotodegradasi variasi komposisi komposit TiO_2 -karbon aktif 75:25 (e), hasil fotodegradasi variasi komposisi komposit TiO_2 -karbon aktif 90:10 (f), hasil fotodegradasi variasi komposisi komposit TiO_2 -karbon aktif 95:5 (g), hasil fotodegradasi variasi massa (h), hasil fotodegradasi uji efektivitas (i)

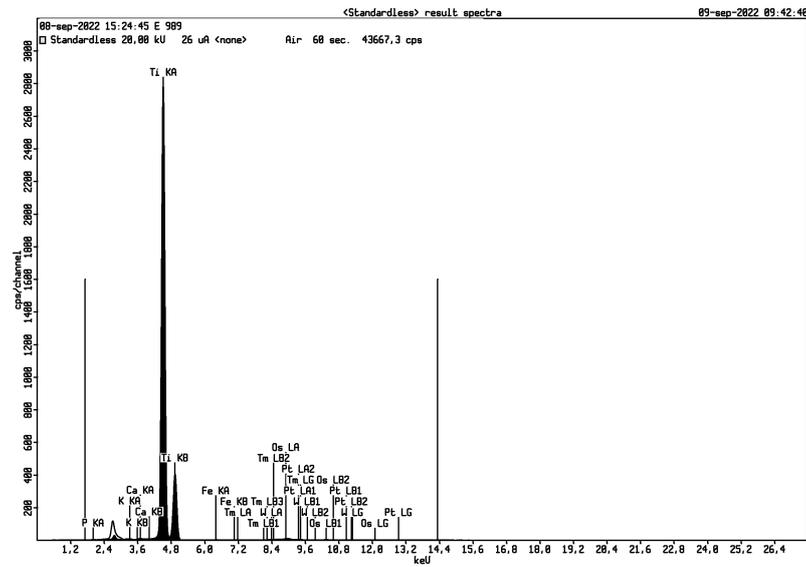
Lampiran 5 Hasil Karakterisasi XRF

L.5.1 TiO_2 Anatas



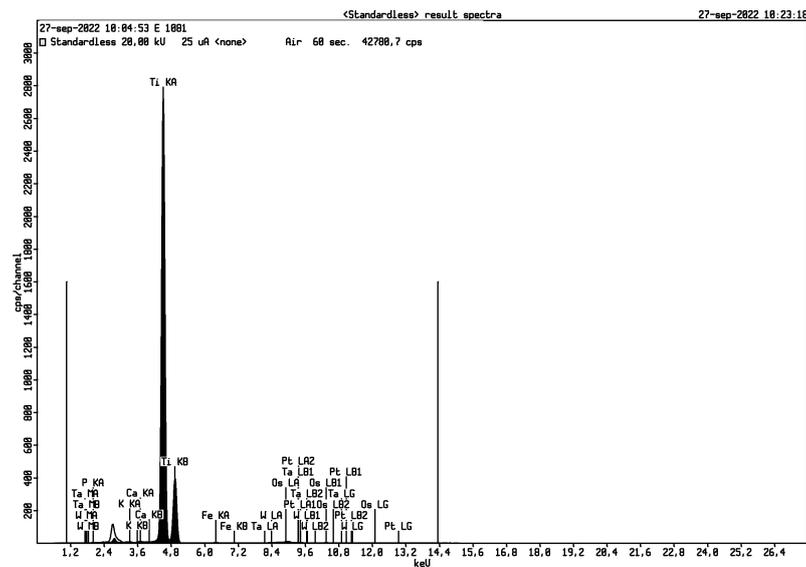
Gambar L.5.1 Spektra XRF TiO_2 anatas

L.5.2 TiO₂-Karbon Aktif 95:5



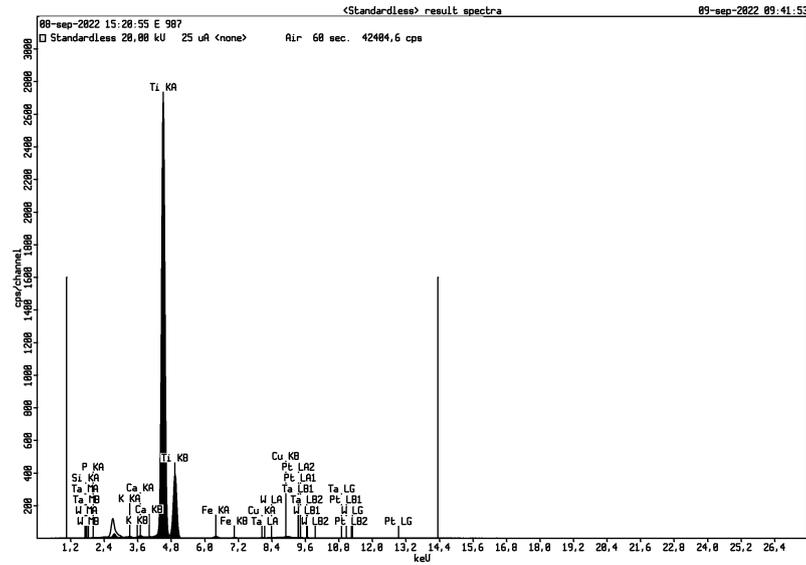
Gambar L.5.2 Spektra XRF TiO₂-karbon aktif 95:5

L.5.3 TiO₂-Karbon Aktif 90:10



Gambar L.5.3 Spektra XRF TiO₂-karbon aktif 90:10

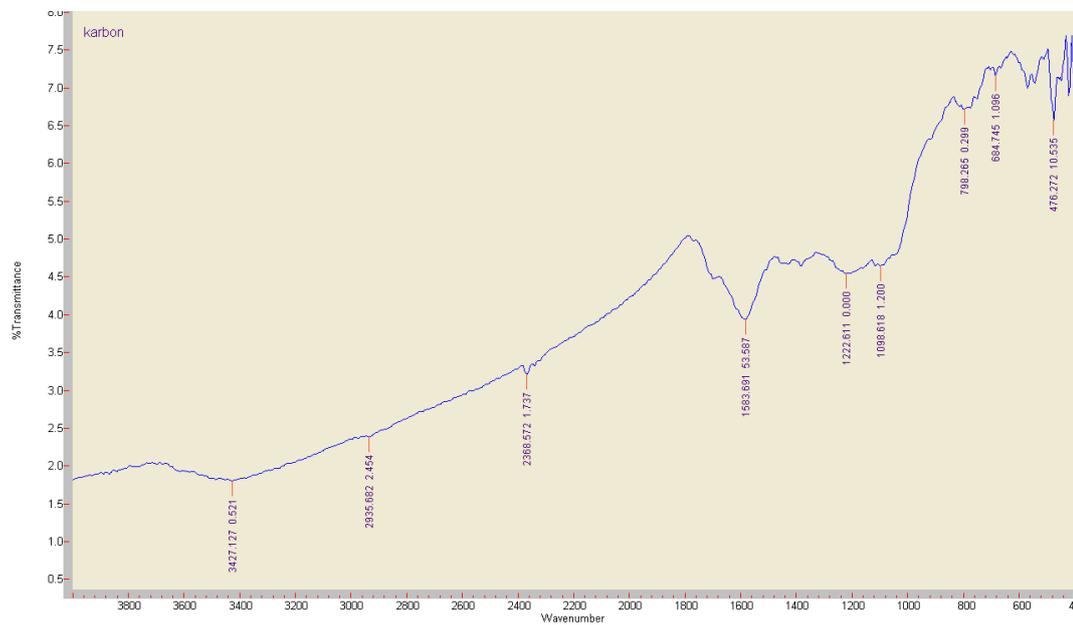
L.5.4 TiO₂-Karbon Aktif 75:25



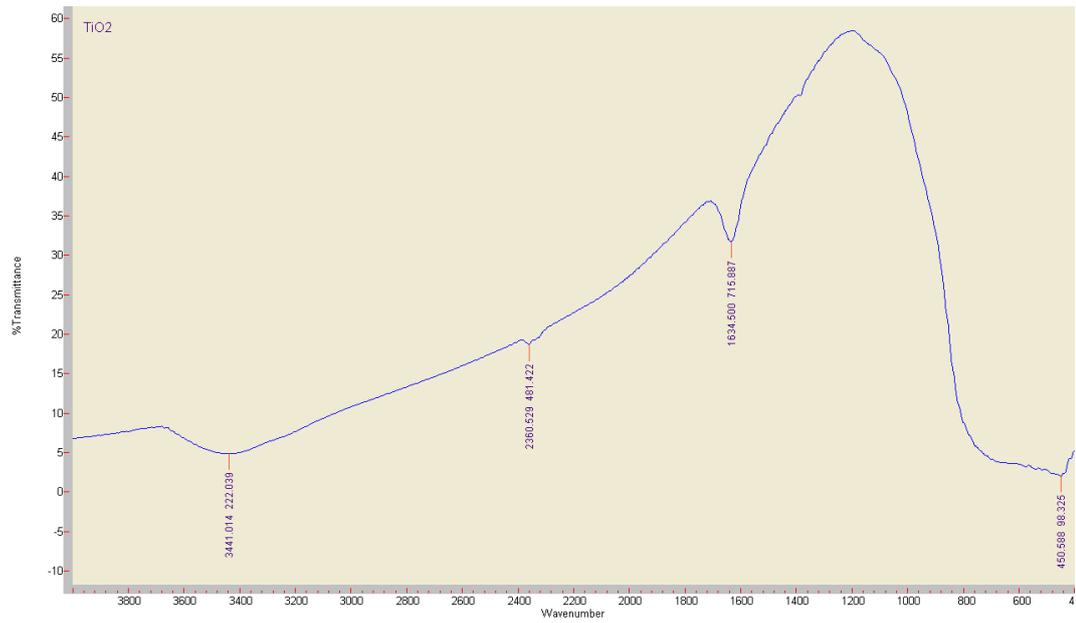
Gambar L.5.3 Spektra XRF TiO₂-karbon aktif 75:25

Lampiran 6 Hasil Karakterisasi FTIR

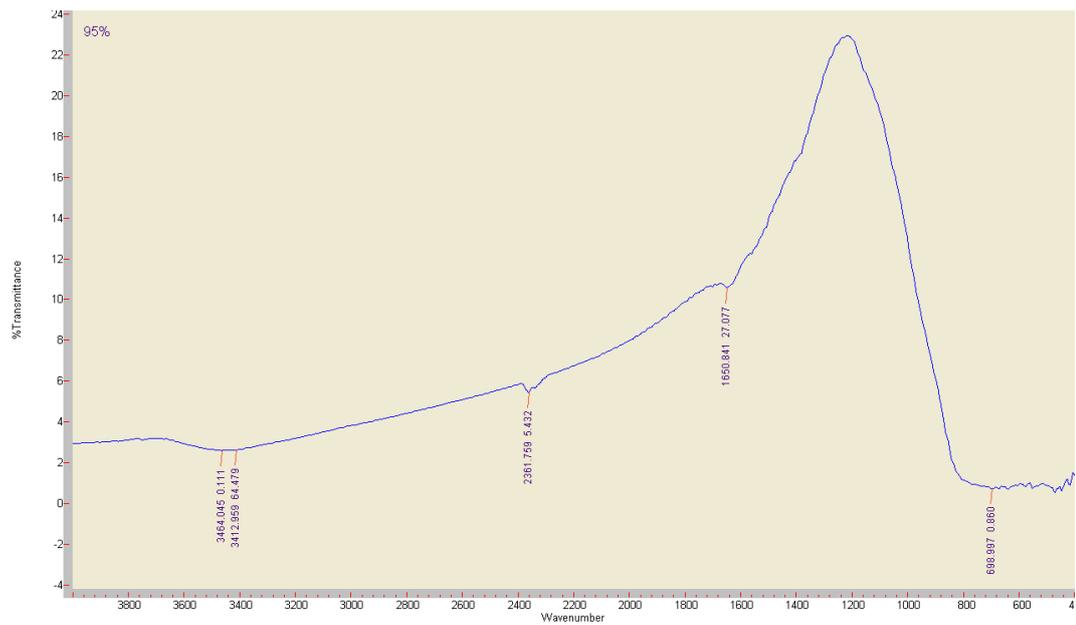
L.6.1 Spektra FTIR Karbon Aktif



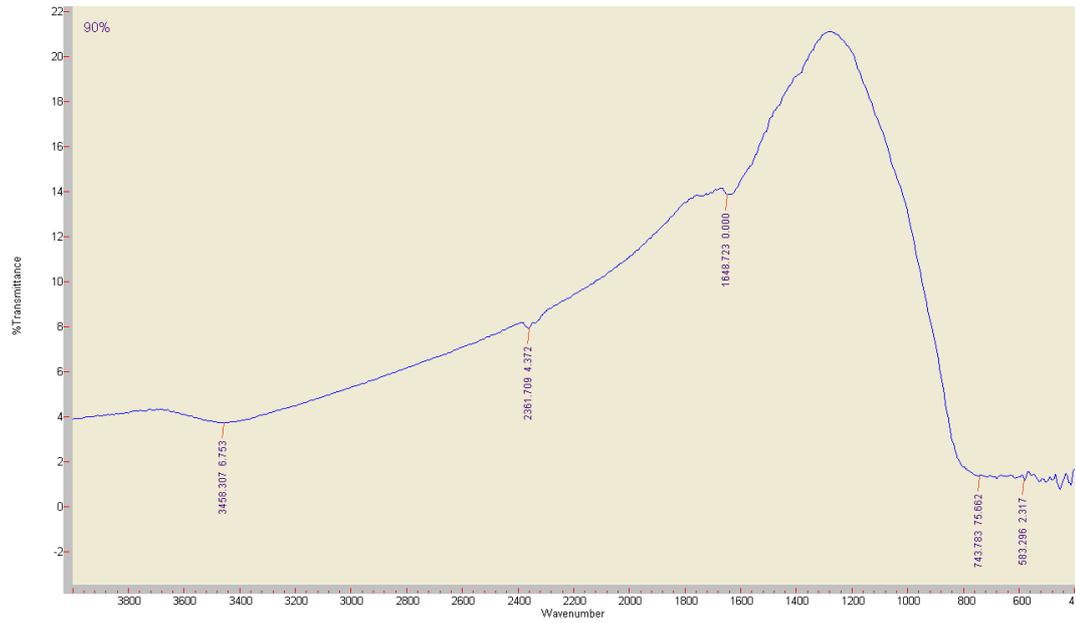
L.6.2 Spektra FTIR TiO₂ Anatas



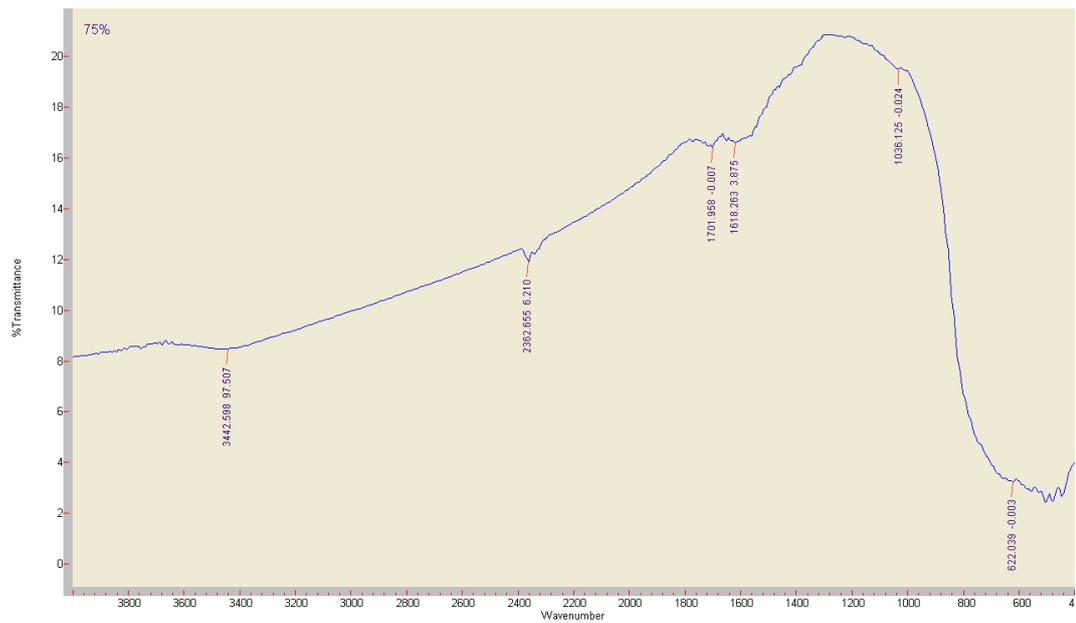
L.6.3 Spektra FTIR TiO₂-Karbon Aktif 95:5



L.6.4 Spektra FTIR TiO₂-Karbon Aktif 90:10

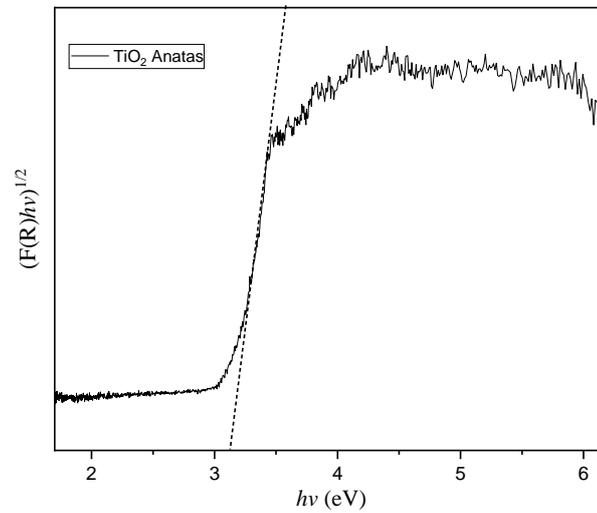


L.6.5 Spektra FTIR TiO₂-Karbon Aktif 75:25



Lampiran 7 Hasil Karakterisasi UV-Vis DRS

L.7.1 TiO₂ Anatas



Gambar 7.1 Nilai *band gap* TiO₂ anatas

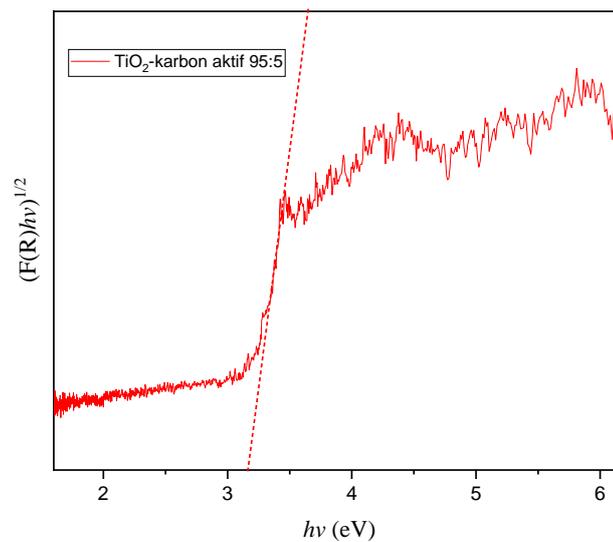
$$E_g = 3.20 \text{ eV}$$

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

Nilai *band gap* pada saat $y = 0$

$$\lambda = \frac{h \times c}{E} = \frac{(4,13608 \times 10^{-15}) \text{ eV.s} \times (3 \times 10^{17}) \text{ nm/s}}{3.20 \text{ eV}} = 387,76 \text{ nm}$$

L.7.2 TiO₂-Karbon Aktif 95:5



Gambar 7.2 Nilai *band gap* TiO₂-karbon aktif 95:5

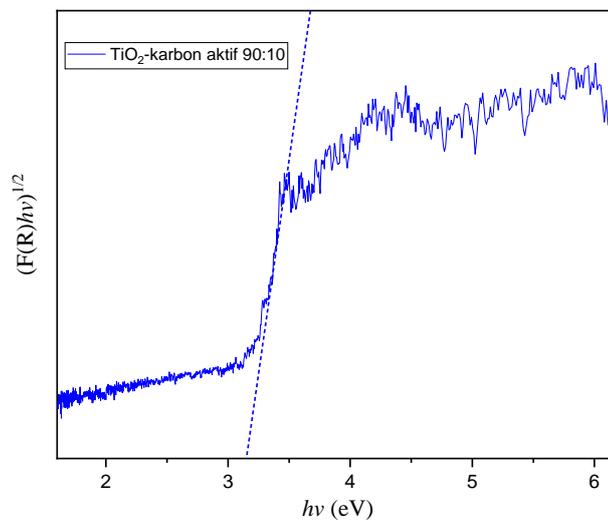
$$E_g = 3.16 \text{ eV}$$

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

Nilai *band gap* pada saat $y = 0$

$$\lambda = \frac{h \times c}{E} = \frac{(4,13608 \times 10^{-15}) \text{ eV.s} \times (3 \times 10^{17}) \text{ nm/s}}{3.16 \text{ eV}} = 392,67 \text{ nm}$$

L.7.3 TiO₂-Karbon Aktif 90:10



Gambar 7.3 Nilai *band gap* TiO₂-karbon aktif 90:10

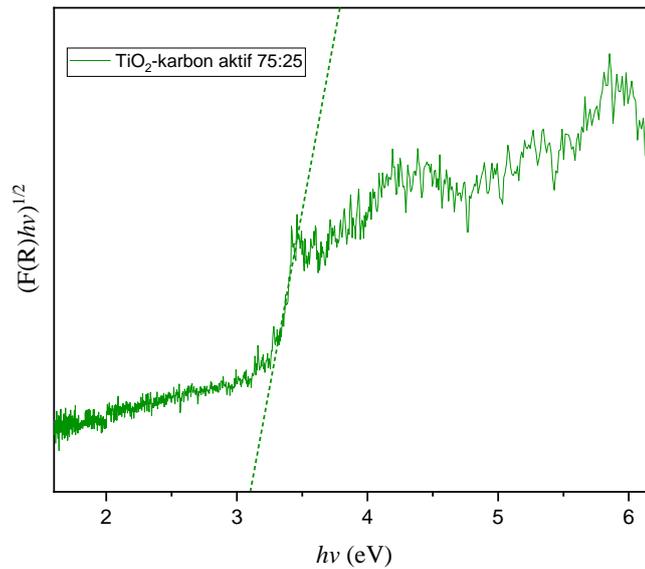
$$E_g = 3.15 \text{ eV}$$

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

Nilai *band gap* pada saat $y = 0$

$$\lambda = \frac{h \times c}{E} = \frac{(4,13608 \times 10^{-15}) \text{ eV.s} \times (3 \times 10^{17}) \text{ nm/s}}{3.15 \text{ eV}} = 393,91 \text{ nm}$$

L.7.4 TiO₂-Karbon Aktif 75:25



Gambar 7.4 Nilai *band gap* TiO₂-karbon aktif 75:25

$$E_g = 3.10 \text{ eV}$$

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

Nilai *band gap* pada saat $y = 0$

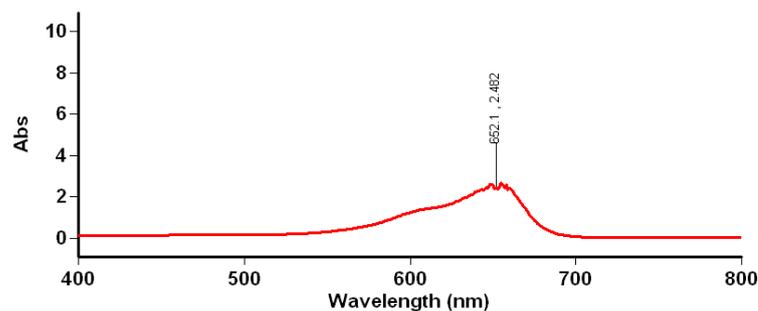
$$\lambda = \frac{h \times c}{E} = \frac{(4,13608 \times 10^{-15}) \text{ eV}\cdot\text{s} \times (3 \times 10^{17}) \text{ nm/s}}{3.15 \text{ eV}} = 400,27 \text{ nm}$$

Lampiran 8 Uji Aktivitas Fotodegradasi LAS

L.8.1 Panjang Gelombang Maksimum LAS

Lamdha Maks MBAS

Tanggal Analisa : 15 September 2022



Scan Analysis Report

Report Time : Thu 15 Sep 11:26:15 AM 2022
 Method:
 Batch: D:\Mahasiswa On Going\Della\Lamdha Maks LAS (15-09-2022).DSW
 Software version: 3.00(339)
 Operator: Rika

Sample Name: LAS 25 ppm

Collection Time 9/15/2022 11:26:37 AM

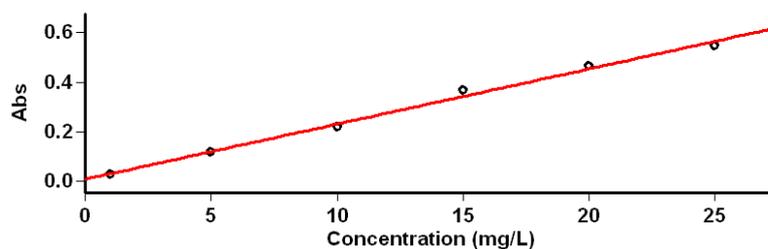
Peak Table
 Peak Style Peaks
 Peak Threshold 0.0100
 Range 800.0nm to 199.9nm

Wavelength (nm)	Abs
659.9	2.409
658.0	2.620
655.0	2.675
652.1	2.482
649.0	2.613
645.9	2.449
643.0	2.376

L.8.2 Penentuan Kurva Standar LAS

Kurva Standar LAS

Tanggal Analisa : 23 September 2022



Concentration Analysis Report

Report time 9/23/2022 9:36:45 AM
 Method
 Batch name D:\Mahasiswa On Going\Della\Kurva Standar LAS (23-09-2022).BCN
 Application Concentration 3.00(339)
 Operator Rika

Instrument Settings

Instrument Cary 50
 Instrument version no. 3.00
 Wavelength (nm) 652.1
 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	(0.1109)	652.1

Calibration

Collection time 9/23/2022 9:37:02 AM

Standard	Concentration mg/L	F	Mean	SD	%RSD	Readings
Std 1						0.0275 0.0277 0.0290
	1.0		0.0281	0.0008	2.84	
Std 2						0.1203 0.1196 0.1194
	5.0		0.1198	0.0004	0.37	
Std 3						0.2202 0.2195 0.2198
	10.0		0.2198	0.0004	0.17	
Std 4						0.3652 0.3678 0.3688
	15.0		0.3673	0.0019	0.51	
Std 5						0.4658 0.4654 0.4644
	20.0		0.4652	0.0007	0.16	
Std 6						0.5487 0.5477 0.5479
	25.0		0.5481	0.0006	0.10	

Calibration eqn Abs = 0.02225*Conc +0.00954
 Correlation Coefficient 0.99434
 Calibration time 9/23/2022 9:38:32 AM

Results Flags Legend

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

L.8.3 Penentuan Waktu Kestabilan MBAS**Absorbansi Waktu Kestabilan MBAS**

Tanggal Analisa : 08 September 2022

Advanced Reads Report

Report time 9/8/2022 8:56:33 AM
 Method
 Batch name D:\Mahasiswa On Going\Della\Absorbansi Waktu
 Kestabilan MBAS (08-09-2022).BAB
 Application Advanced Reads 3.00 (339)
 Operator Rika

Instrument Settings

Instrument Cary 50
 Instrument version no. 3.00
 Wavelength (nm) 652.0

$$0,184 = 0,0222x + 0,0095$$

$$0,184 - 0,0095 = 0,0222x$$

$$0,1745 = 0,0222x$$

$$x = 7,86 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} \text{\% degradasi} &= \frac{(C_o - C_t)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(25 - 7,86)}{25} \times 100\% \\ &= 68,54\% \end{aligned}$$

- Komposisi 90:10

$$y = 0,0222x + 0,0095$$

$$0,388 = 0,0222x + 0,0095$$

$$0,388 - 0,0095 = 0,0222x$$

$$0,3785 = 0,0222x$$

$$x = 17,05 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} \text{\% degradasi} &= \frac{(C_o - C_t)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(25 - 17,05)}{25} \times 100\% \\ &= 31,8\% \end{aligned}$$

- Komposisi 75:25

$$y = 0,0222x + 0,0095$$

$$0,472 = 0,0222x + 0,0095$$

$$0,472 - 0,0095 = 0,0222x$$

$$0,4625 = 0,0222x$$

$$x = 20,83 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} \text{\% degradasi} &= \frac{(C_o - C_t)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(25 - 20,83)}{25} \times 100\% \\ &= 16,68\% \end{aligned}$$

2. Perhitungan Variasi Massa TiO₂-Karbon Aktif

Massa (mg)	C ₀ (ppm)	Absorbansi				C _t (ppm)	% degradasi	Stdev
		I	II	III	\bar{X}			
125	25	0,484	0,476	0,516	0,492	21,73	13,08%	3,75
250	25	0,369	0,350	0,361	0,360	15,79	36,84%	1,74
375	25	0,192	0,187	0,174	0,184	7,86	68,54%	1,66
500	25	0,262	0,266	0,267	0,265	11,51	53,96%	0,49
625	25	0,389	0,388	0,389	0,389	17,09	31,64%	0,29

Perhitungan nilai % degradasi :

- Massa komposit 125 mg
 $y = 0,0222x + 0,0095$
 $0,492 = 0,0222x + 0,0095$
 $0,492 - 0,0095 = 0,0222x$
 $0,4825 = 0,0222x$
 $x = 21,73 \text{ ppm}$
 $\% \text{ degradasi} = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100\%$
 $= \frac{(25 - 21,73)}{25} \times 100\%$
 $= 13,08\%$
- Massa komposit 250 mg
 $y = 0,0222x + 0,0095$
 $0,360 = 0,0222x + 0,0095$
 $0,360 - 0,0095 = 0,0222x$
 $0,3505 = 0,0222x$
 $x = 15,79 \text{ ppm}$
 $\% \text{ degradasi} = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100\%$
 $= \frac{(25 - 15,79)}{25} \times 100\%$
 $= 36,84\%$
- Massa komposit 375 mg
 $y = 0,0222x + 0,0095$
 $0,184 = 0,0222x + 0,0095$

$$0,184 - 0,0095 = 0,0222x$$

$$0,1745 = 0,0222x$$

$$x = 7,86 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ degradasi} &= \frac{(C_o - C_t)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(25 - 7,86)}{25} \times 100\% \\ &= 68,54\% \end{aligned}$$

- Massa komposit 500 mg
 $y = 0,0222x + 0,0095$

$$0,265 = 0,0222x + 0,0095$$

$$0,265 - 0,0095 = 0,0222x$$

$$0,2555 = 0,0222x$$

$$x = 11,51 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ degradasi} &= \frac{(C_o - C_t)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(25 - 11,51)}{25} \times 100\% \\ &= 53,96\% \end{aligned}$$

- Massa komposit 625 mg
 $y = 0,0222x + 0,0095$

$$0,389 = 0,0222x + 0,0095$$

$$0,389 - 0,0095 = 0,0222x$$

$$0,3795 = 0,0222x$$

$$x = 17,09 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ degradasi} &= \frac{(C_o - C_t)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(25 - 17,09)}{25} \times 100\% \\ &= 31,64\% \end{aligned}$$

3. Perhitungan Uji Efektifitas Komposit TiO₂-Karbon Aktif

Kondisi	C ₀ (ppm)	Absorbansi				C _t (ppm)	% degradasi	Stdev
		I	II	III	\bar{X}			
i	25	0,413	0,408	0,415	0,412	18,13	27,48%	1,03
ii	25	0,367	0,368	0,367	0,367	16,10	35,6%	0,13
iii	25	0,352	0,360	0,363	0,358	15,7	37,2%	0,99
Iv	25	0,332	0,330	0,331	0,331	14,48	42,08%	0,22
v	25	0,192	0,187	0,174	0,184	7,86	68,54%	1,66

Keterangan: i = LAS + TiO₂ kondisi gelap, ii = LAS + TiO₂ + UV, iii = LAS + karbon aktif kondisi gelap, iv = LAS + karbon aktif + UV, v = LAS + TiO₂- karbon aktif + UV

Perhitungan nilai % degradasi :

- Kondisi i

$$y = 0,0222x + 0,0095$$

$$0,412 = 0,0222x + 0,0095$$

$$0,412 - 0,0095 = 0,0222x$$

$$0,4025 = 0,0222x$$

$$x = 18,13 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ degradasi} &= \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{(25 - 18,13)}{25} \times 100\% \\ &= 27,48\% \end{aligned}$$

- Kondisi ii

$$y = 0,0222x + 0,0095$$

$$0,367 = 0,0222x + 0,0095$$

$$0,367 - 0,0095 = 0,0222x$$

$$0,3575 = 0,0222x$$

$$x = 16,10 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ degradasi} &= \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{(25 - 15,79)}{25} \times 100\% \\ &= 35,6\% \end{aligned}$$

- Kondisi iii

$$y = 0,0222x + 0,0095$$

$$0,358 = 0,0222x + 0,0095$$

$$0,358 - 0,0095 = 0,0222x$$

$$0,3485 = 0,0222x$$

$$x = 15,7 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} \text{\% degradasi} &= \frac{(C_o - C_t)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(25 - 15,7)}{25} \times 100\% \\ &= 37,2\% \end{aligned}$$

- Kondisi iv

$$y = 0,0222x + 0,0095$$

$$0,331 = 0,0222x + 0,0095$$

$$0,331 - 0,0095 = 0,0222x$$

$$0,3215 = 0,0222x$$

$$x = 14,48 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} \text{\% degradasi} &= \frac{(C_o - C_t)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(25 - 14,48)}{25} \times 100\% \\ &= 42,08\% \end{aligned}$$

- Kondisi v

$$y = 0,0222x + 0,0095$$

$$0,184 = 0,0222x + 0,0095$$

$$0,184 - 0,0095 = 0,0222x$$

$$0,1745 = 0,0222x$$

$$x = 7,86 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} \text{\% degradasi} &= \frac{(C_o - C_t)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(25 - 7,86)}{25} \times 100\% \\ &= 68,54\% \end{aligned}$$