

TUGAS AKHIR – TL184834

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR PIROLISIS PADA
AKTIVASI *SPENT BLEACHING EARTH* (SBE) TERHADAP
KEMAMPUAN MATERIAL KOMPOSIT ZnO/SBE UNTUK
DEGRADASI *RHODAMINE B***

SHAFIRA MARELIA ARIFA
NRP. 02511840000115

Dosen Pembimbing
Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197701162003122007
Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 1992202012023

Program Studi Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



TUGAS AKHIR – TL184834

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR PIROLISIS PADA
AKTIVASI *SPENT BLEACHING EARTH* (SBE) TERHADAP
KEMAMPUAN MATERIAL KOMPOSIT ZnO/SBE UNTUK
DEGRADASI *RHODAMINE B***

SHAFIRA MARELIA ARIFA
NRP. 02511840000115

Dosen Pembimbing
Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197701162003122007
Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 1992202012023

Program Studi Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL184834

**ANALYSIS OF PYROLYSIS TEMPERATURE EFFECT ON
SPENT BLEACHING EARTH (SBE) ACTIVATION TO
ZnO/SBE COMPOSITE MATERIALS ABILITY FOR
RHODAMINE B DEGRADATION**

SHAFIRA MARELIA ARIFA
NRP. 02511840000115

Advisor

Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197701162003122007

Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D.

NIP. 1992202012023

Study Program of Materials Engineering
Departement of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

(This page is intentionally blank)

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR PIROLISIS PADA AKTIVASI *SPENT BLEACHING EARTH* (SBE) TERHADAP KEMAMPUAN MATERIAL KOMPOSIT ZnO/SBE UNTUK DEGRADASI *RHODAMINE B*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Teknik Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **SHAFIRA MARELIA ARIFA**
NRP. 0251184000115

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.
2. Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D.
3. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
4. Lukman Noerochiem, S.T., M.Sc. (Eng.), Ph.D.



Pembimbing



Ko-Pembimbing



Penguji



Penguji

SURABAYA
Juli, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

ANALYSIS OF PYROLYSIS TEMPERATURE EFFECT ON SPENT BLEACHING EARTH (SBE) ACTIVATION TO ZnO/SBE COMPOSITE MATERIALS ABILITY FOR RHODAMINE B DEGRADATION

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree of bachelor of engineering at
Undergraduate Study Program of Materials Engineering
Departement of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : SHAFIRA MARELIA ARIFA
NRP. 02511840000115

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph. D.



Advisor

2. Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D.



Co-Advisor

3. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.



Examiner

4. Lukman Noerochiem, S.T., M.Sc. (Eng.), Ph.D.



Examiner

SURABAYA
July, 2022

(This page is intentionally blank)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Shafira Marelia Arifa / 0251184000115
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing/NIP : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph. D. / 197701162003122007

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR PIROLISIS PADA AKTIVASI *SPENT BLEACHING EARTH* (SBE) TERHADAP KEMAMPUAN MATERIAL KOMPOSIT ZnO/SBE UNTUK DEGRADASI *RHODAMINE B*” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 25 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing



(Diah Susanti, S.T., M.T., Ph. D.)
NIP. 197701162003122007

Mahasiswa



(Shafira Marelia Arifa)
NRP.0251184000115

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

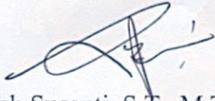
The undersigned below:

Name of student/NRP : Shafira Marelia Arifa / 02511840000115
Departement : Materials and Metallurgical Engineering
Advisor/NIP : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph. D. / 197701162003122007

Hereby declare that the Final Project with the title of "ANALYSIS OF PYROLYSIS TEMPERATURE EFFECT ON SPENT BLEACHING EARTH (SBE) ACTIVATION TO ZnO/SBE COMPOSITE MATERIALS ABILITY FOR RHODAMINE B DEGRADATION" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

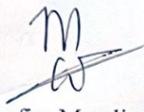
If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Acknowledged
Advisor


(Diah Susanti, S.T., M.T., Ph. D.)
NIP.197701162003122007

Surabaya, 25 July 2022

Student


(Shafira Marelia Arifa)
NRP. 02511840000115

(This page is intentionally blank)

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR PIROLISIS PADA AKTIVASI *SPENT BLEACHING EARTH* (SBE) TERHADAP KEMAMPUAN MATERIAL KOMPOSIT ZnO/SBE UNTUK DEGRADASI *RHODAMINE B*

Nama Mahasiswa / NRP : Shafira Marelia Arifa / 02511840000115
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Pembimbing : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph. D.
Ko-Pembimbing : Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph. D.

Abstrak

Spent Bleaching Earth (SBE) merupakan limbah dari material penjernih dalam industri kelapa sawit yang dapat dimanfaatkan dalam pengolahan limbah berwarna seperti Rhodamine B. Namun, luas permukaan aktif pada SBE perlu ditingkatkan dengan aktivasi. Aktivasi pada SBE dapat dilakukan dengan metode pirolisis. Pirolisis digunakan agar luas permukaan SBE dan persentase degradasi Rhodamine B meningkat. Temperatur pirolisis menjadi faktor yang penting pada pembentukan pori-pori. Dalam proses pengolahan limbah, SBE hanya berlaku sebagai adsorben, yang belum efektif dalam mendegradasi limbah Rhodamine B, sehingga perlu dikompositkan dengan material semikonduktor ZnO sebagai material fotodegradasi. Tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisis pengaruh temperatur pirolisis pada aktivasi material SBE terhadap morfologi dan struktur komposit ZnO/SBE dan kemampuan komposit ZnO/SBE untuk degradasi Rhodamine B. Metode penelitian ini adalah eksperimental, dimulai dari proses aktivasi SBE dengan metode pirolisis dan sintesis komposit ZnO/SBE dengan metode sol-gel. Variasi temperature pirolisis yang digunakan adalah 450, 500 dan 550 °C Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu karakterisasi material yang terdiri dari uji XRD, FTIR, SEM-EDX, BET, dan Volatile Matter serta spektrofotometri UV-Vis dan GC-MS untuk pengujian fotokatalitik. Hasil menunjukkan bahwa material SBE dengan temperatur aktivasi 500 °C menunjukkan luas permukaan dan volume pori terbaik yaitu 106.851 m²/g dan 0.119 cm³/g. Morfologi permukaan komposit ZnO/SBE menunjukkan ZnO yang menempel pada permukaan SBE. Didapatkan hasil efisiensi degradasi komposit ZnO/SBE teraktivasi 450, 500 dan 550 °C, untuk waktu penyinaran selama 10 jam yaitu 42.34%, 67.8%, dan 48.69%.

Kata Kunci: *pirolisis, Rhodamine B, SBE, temperatur, ZnO*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALYSIS OF PYROLYSIS TEMPERATURE EFFECT ON SPENT BLEACHING EARTH (SBE) ACTIVATION TO ZnO/SBE COMPOSITE MATERIALS ABILITY FOR RHODAMINE B DEGRADATION

Student Name / NRP : Shafira Marelia Arifa
Department : Material and Metallurgical Engineering
Advisor : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph. D.
Co-Advisor : Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph. D.

Abstract

Spent Bleaching Earth (SBE) is a waste of cleaning material in the palm oil industry that can be used to treat colored waste such as Rhodamine B. However, the active surface area of SBE needs to be increased by activation. Activation of SBE can be done by the pyrolysis method. Pyrolysis was used to increase the surface area of SBE and the percentage of Rhodamine B degradation. Pyrolysis temperature is an essential factor in the formation of pores. In the waste treatment process, SBE only acts as an adsorbent, which is not yet effective in degrading Rhodamine B waste, so it needs to be composited with ZnO semiconductor material as a photodegradation material. This study aimed to analyze the effect of pyrolysis temperature on the activation of SBE material on the morphology and structure of the ZnO/SBE composite and the ability of the ZnO/SBE composite to degrade Rhodamine B. This research method was experimental, starting from the activation process of SBE with the pyrolysis and synthesis of ZnO/SBE with the sol-gel method. The pyrolysis temperature variations used were 450, 500, and 550°C. The tests carried out in this study were material characterization consisting of XRD, FTIR, SEM-EDX, BET, and Volatile Matter tests as well as UV-Vis spectrophotometry and GC-MS for photocatalytic testing. . The results showed that the SBE material with an activation temperature of 500°C showed the best surface area and pore volume, namely 106,851 m²/g and 0.119 cm³/g. The surface morphology of the ZnO/SBE composite showed that ZnO adhered to the SBE surface. The results of the degradation efficiency of activated ZnO/SBE composites were 450, 500, and 550°C for 10 hours of irradiation time, namely 42.34%, 67.8%, and 48.69%.

Keywords: *pyrolysis, Rhodamine B, SBE, temperature, ZnO*

(This page is intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir yang berjudul “Analisis Pengaruh Temperatur Pirolisis Pada Aktivasi *Spent Bleaching Earth* (SBE) Terhadap Kemampuan Material Komposit *Zinc Oxide/Spent Bleaching Earth* (ZnO/SBE) Untuk Degradasi *Rhodamine B*”. Selama proses penelitian, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu dan memberi dukungan kepada penulis, diantaranya adalah:

1. Ibu Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D dan Ibu Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph. D. yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS.
3. Ibu Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. selaku dosen wali penulis yang senantiasa memberikan arahan selama masa perkuliahan.
4. Bapak/Ibu Dosen yang telah membimbing dan memberikan ilmu selama menempuh masa perkuliahan.
5. Orang tua, keluarga, dan teman dekat penulis yang selalu memberikan dukungan dan motivasi.

Penulis menyadari penyusunan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat berguna bagi penulis dan semua pihak yang terkait.

Surabaya, 25 Juli 2022

Penulis

Shafira Marelia Arifa

(This page is intentionally blank)

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan.....	iii
Abstrak	xiii
Abstract.....	xv
KATA PENGANTAR.....	xvii
DAFTAR ISI	xix
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Semikonduktor <i>Zinc Oxide</i> (ZnO)	3
2.2 <i>Spent Bleaching Earth</i> (SBE)	3
2.3 Aktivasi <i>Spent Bleaching Earth</i>	6
2.4 <i>Rhodamine B</i> (RhB).....	7
2.5 Adsorpsi.....	8
2.6 Fotokatalis.....	9
2.7 Sintesis Komposit ZnO/SBE	12
2.8 Penelitian Sebelumnya (<i>State of The Art</i>).....	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Bahan Penelitian	15
3.2 Alat Penelitian.....	15
3.3 Metode Penelitian	16
3.3.1 Karakterisasi SBE Sebelum Eksperimen.....	16
3.3.2 Proses Aktivasi <i>Spent Bleaching Earth</i>	17
3.3.3 Sintesis Komposit ZnO/SBE	20
3.4 Pengujian.....	21
3.4.1 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD).....	21
3.4.2 Pengujian Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)	22
3.4.3 Pengujian <i>Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray</i> (<i>SEM-EDX</i>).....	23
3.4.4 Pengujian <i>Volatile Matter</i>	24
3.4.5 Pengujian <i>Brunauer-Emmett-Teller</i> (BET).....	25
3.4.6 Pengujian UV-Vis.....	26
3.4.7 Pengujian <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometer</i> (GC-MS)	26
3.4.8 Pengujian Fotokatalitik	28
3.5 Rancangan Penelitian.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil Pengujian <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	31
4.2 Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffractometry</i> (XRD)	33
4.3 Hasil Pengujian <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	35
4.4 Hasil Pengujian (BET).....	41
4.5 Hasil Pengujian <i>Volatile Matter</i>	42
4.6 Hasil Pengujian UV-Vis	42

4.7 Hasil Pengujian Fotokatalitik.....	43
4.8 Hasil GC-MS	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	49
DAFTAR PUSTAKA.....	55
LAMPIRAN.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur <i>Zinc Oxide</i> (ZnO)	3
Gambar 2.2 Struktur <i>Montmorillonite</i>	4
Gambar 2.3 <i>Spent Bleaching Earth</i>	4
Gambar 2.4 Hasil pengujian SEM SBE Murni	5
Gambar 2.5 Hasil FTIR pada SBE Murni	5
Gambar 2.6 Hasil XRD SBE Murni	5
Gambar 2.7 Struktur Molekul <i>Rhodamine B</i> (RhB)	7
Gambar 2.8 Mekanisme Fotokatalisis <i>Rhodamine B</i> Oleh ZnO	10
Gambar 2.9 Kurva nilai absorbansi dan waktu pada proses degradasi <i>Rhodamine B</i> ..	13
Gambar 2.10 Kurva nilai absorbansi dan waktu pada proses degradasi <i>Rhodamine B</i>	13
Gambar 3.1 Diagram alir karakterisasi SBE non aktivasi	17
Gambar 3.2 Diagram alir aktivasi <i>spent bleaching earth</i>	19
Gambar 3.3 Sintesis Komposit ZnO/SBE	20
Gambar 3.4 Skema Sistem Difraktometer	21
Gambar 3.5 Instrumen FTIR	22
Gambar 3.6 Skema instrumen FTIR	23
Gambar 3.7 Alat SEM	23
Gambar 3.8 Skema alat SEM-EDX	24
Gambar 3.9 Alat uji <i>Volatile Matter</i>	25
Gambar 3.10 Alat Uji BET	25
Gambar 3.11 Instrumen UV Vis	26
Gambar 3.12 Skema Mekanisme GC-MS	27
Gambar 3.13 Diagram alir pengujian fotokatalitik	28
Gambar 3.14 Pengujian fotokatalitik	29
Gambar 4.1 Hasil pengujian FTIR SBE, ASBE1, ASBE2, DAN ASBE3	31
Gambar 4.2 Hasil pengujian FTIR ZnO, KSBE1, KSBE2, dan KSBE3	32
Gambar 4.3 Hasil pengujian XRD pada SBE 450°C, SBE 500°C, dan SBE 550°C ...	33
Gambar 4.4 Hasil pengujian XRD pada ZnO/SBE 450°C, ZnO/SBE 500°C, dan ZnO/SBE 550°C	34
Gambar 4.5 Hasil pengujian SEM untuk perbesaran 1000x (a) SBE Murni, (b) SBE 450°, (c) SBE 500°, (d) SBE 550°	36
Gambar 4.6 Hasil pengujian SEM untuk (a) ZnO, (b) ZnO/SBE 450°, (c) ZnO/SBE 500°, (d) ZnO/SBE 550°	37
Gambar 4.7 Hasil pengujian EDX SBE sebelum diaktivasi	37
Gambar 4.8 Hasil pengujian EDX SBE 450°C	38
Gambar 4.9 Hasil pengujian EDX SBE 500°C	38
Gambar 4.10 Hasil pengujian EDX SBE 550°C	38
Gambar 4.11 Hasil pengujian EDX ZnO/SBE 450°	39
Gambar 4.12 Hasil pengujian EDX ZnO/SBE 500°C	40
Gambar 4.13 Hasil pengujian EDX ZnO/SBE 500°C	40
Gambar 4.14 Hasil pengujian UV-Vis <i>Rhodamine B</i>	42
Gambar 4.15 Kurva regresi linier	43
Gambar 4.16 Grafik <i>Trendline</i> Nilai Absorbansi Sampel ZnO, SBE, ZnO/SBE 450°C, ZnO/SBE 500°C, dan ZnO/SBE 550°C	44
Gambar 4.17 Grafik <i>Trendline</i> hubungan antara perubahan konsentrasi dengan waktu penyinaran pada fotokatalisis	45

Gambar 4. 18 Diagram batang perbandingan persentase efisiensi degradasi sampel ZnO, SBE, ZnO/SBE 450°C, ZnO/SBE 500°C, dan ZnO/SBE 550°C setelah 10 jam waktu penyinaran 46

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia <i>Spent Bleaching Earth</i> (SBE)	4
Tabel 2.2 Perbedaan Adsorpsi Fisika dan Kimia(Papers, 2014).....	8
Tabel 2.3 Fotokatalis Semikonduktor	10
Tabel 2.4 Penelitian Sebelumnya	14
Tabel 4. 1 Absorpsi beberapa gugus fungsi	31
Tabel 4. 2 Absorpsi dari gugus fungsi.....	32
Tabel 4. 3 Hasil perhitungan ukuran kristal	35
Tabel 4. 4 Komposisi penyusun SBE Murni, SBE 450°, SBE 500°, dan SBE 550°	39
Tabel 4. 5 Komposisi penyusun ZnO, ZnO/SBE 450°C, ZnO/SBE 500°C, ZnO/SBE 550°C	40
Tabel 4. 6 Hasil pengujian BET SBE, SBE 450°C, SBE 500°C, dan SBE 550°C	41
Tabel 4. 7 Persentase zat terbang SBE 450°, SBE 500°, dan SBE 550°	42
Tabel 4. 8 Nilai absorbansi <i>Rhodamine B</i> pada setiap variasi konsentrasi	43
Tabel 4. 9 Nilai absorbansi setelah degradasi larutan <i>Rhodamine b</i> dengan sampel ZnO, SBE, ZnO/SBE 450°C, ZnO/SBE 500°C, dan ZnO/SBE 550°C	44
Tabel 4. 10 Hasil pengujian GC-MS setelah proses degradasi pada larutan <i>Rhodamine B</i>	47

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tekstil menjadi penghasil limbah dimana pada tahun 2019, di seluruh dunia setiap harinya memproduksi kain hingga 8000 kg. Proses produksi ini menghasilkan limbah air yang mengandung pewarna (Pinto et al., 2019). Pewarna tekstil mengandung senyawa organik yang sulit terdegradasi secara alami (Dianggoni et al., 2011). *Rhodamine B* merupakan pewarna sintesis yang sering digunakan pada industri tekstil karena mudah diperoleh dan harga terjangkau (Aristanti et al., 2019). Namun pewarna ini dapat menyebabkan iritasi kulit dan bersifat karsinogenik sehingga berbahaya. Diperlukan upaya yang tepat untuk mengolah limbah tanpa mencemari lingkungan. Metode yang paling efektif dan tidak menimbulkan dampak negatif adalah adsorpsi (Bahram et al., 2014).

Adsorpsi adalah proses pengikatan molekul yang terdapat pada fluida menuju zat padat (Yustinah et al., 2019). Adsorpsi terjadi ketika adsorptif (zat terlarut) terakumulasi pada adsorben (Králik, 2014). Namun metode ini memiliki kelemahan karena rendahnya tingkat selektifitas pada limbah pewarna dan sulit diregenerasi. Adsorpsi hanya menyerap zat warna tanpa proses penguraian, sehingga diperlukan proses lain agar ramah lingkungan. Metode fotodegradasi dapat menjadi salah satu solusi membantu penguraian zat warna (Trivana et al., 2015).

Fotodegradasi merupakan proses degradasi dari molekul *photodegradable* yang disebabkan oleh penyerapan foton (Haddad, 2015). Penggunaan fotokatalis yang tepat dapat membantu proses fotodegradasi. Salah satu semikonduktor yang bisa menjadi fotokatalis adalah ZnO (Khan et al., 2022). Berbagai kelebihan ZnO meliputi biaya produksi rendah, tidak beracun (Nayara et al., 2019) energi celah (*band gap*) sebesar 3,17 eV, dan kemampuan fotokatalis yang baik. Namun, ZnO memiliki kelemahan yaitu kemampuan adsorpsi yang rendah (Ayu et al., 2015). Sehingga dibutuhkan material adsorben yang baik yaitu SBE (Nurulita et al., 2020).

Spent Bleaching Earth (SBE) merupakan material baru yang digunakan untuk proses adsorpsi. *Bleaching Earth* dimanfaatkan untuk pemurniaan warna pada minyak nabati (Liu et al., 2021a). Pada permukaan SBE terdapat minyak tak jenuh yang membuat limbah tidak stabil (Angie et al., 2020) dan merusak lingkungan (Elyza & Gofar, 2015). Sehingga diperlukan penanganan khusus pada limbah SBE. Peraturan Pemerintah (PP) No. 22 Tahun 2021 menegaskan bahwa SBE menjadi limbah non B3 jika minyak yang terkandung $\leq 3\%$ (Siami et al., 2021). Kondisi tersebut memungkinkan adanya berbagai pilihan dan peluang untuk mengolah limbah SBE. SBE dapat digunakan untuk menjadi adsorben pada limbah (Science, n.d.) karena tergolong dalam material berpori. Namun, dibutuhkan aktivasi untuk meningkatkan kemampuan adsorpsinya dengan menggunakan asam mineral seperti HCL, H₂SO₄, HNO₃ (Nurulita et al., 2020). Aktivasi pada material SBE dapat dilakukan dengan metode pirolisis (Liu et al., 2021a).

Pirolisis adalah metode dekomposisi termal dimana material dengan berat molekul yang besar terurai untuk menghasilkan *primary volatiles* (Ibrahim, 2017). Selanjutnya, pirolisis dilakukan dengan membakar biomassa dalam keadaan tanpa oksigen. Dari proses tersebut, zat terbang (*volatile matter*) dari biomassa akan hilang. Pori-pori pada material yang melewati aktivasi dengan proses pirolisis akan terbuka dan memperbesar luas permukaan aktif (Siti Jamilatun et al., 2015). Temperatur berperan penting karena menentukan laju pirolisis dan jumlah *volatile matter* yang hilang (Hu & Gholizadeh, 2019).

Terdapat penelitian-penelitian yang sudah dilakukan mengenai aktivasi SBE dengan metode pirolisis. Degradasi yang dilakukan Liu et al. (2020) menunjukkan luas permukaan SBE sebesar 158,7 m²/g dengan temperatur pirolisis 500°C (Liu et al., 2021a). Kemudian material tersebut diaktivasi dengan KOH dan tingkat adsorpsi untuk ion Pb²⁺ sebesar 206.65 mg/g. Chen et al (2021) melakukan aktivasi *iron-based* SBE dengan temperatur 700°C dan mendapatkan

luas permukaan $90.98 \text{ m}^2/\text{g}$ dan persen degradasi *tetracycline hydrochloride* sebesar 91,0 % (Chen et al., 2021).

Penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan terdapat perbedaan temperatur aktivasi SBE dengan metode pirolisis. Sedangkan sangat penting untuk mengetahui temperatur yang tepat agar mendapatkan degradasi yang maksimal. Sehingga penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh temperatur pada aktivasi material SBE dengan metode pirolisis terhadap kemampuan komposit ZnO/SBE untuk degradasi RhB.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan, rumusan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh temperatur pirolisis pada aktivasi material SBE terhadap morfologi dan struktur komposit ZnO/SBE ?
2. Bagaimana pengaruh temperatur pirolisis pada aktivasi material SBE terhadap kemampuan komposit ZnO/SBE untuk mendegradasi *Rhodamine B*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tekanan udara dianggap konstan
2. Konsentrasi RhB dianggap sama
3. Fluktuasi temperatur pada *furnace* diabaikan
4. *Impurities* diabaikan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh temperatur pirolisis pada aktivasi material SBE terhadap morfologi dan struktur komposit ZnO/SBE
2. Menganalisis pengaruh temperatur pirolisis pada aktivasi material SBE terhadap kemampuan komposit ZnO/SBE untuk degradasi *Rhodamine B*

1.5 Manfaat Penelitian

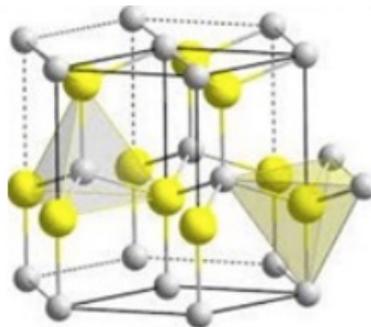
Manfaat dari penelitian adalah menghasilkan material yang dapat digunakan untuk mengurangi dampak negatif dari limbah hasil industri tekstil yaitu *Rhodamine B*

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Semikonduktor *Zinc Oxide* (ZnO)

Zinc Oxide atau ZnO adalah senyawa organik (Rangkuti et al., 2018) dan semikonduktor dengan eksitasi energi ikat yang lebih besar dibandingkan material semikonduktor lain yaitu 60 meV. Material ini termasuk golongan II-VI (Afrilia et al., 2019) dan nilai celah pita lebar atau *band-gap value* sebesar 3,37 eV (Setianto et al., 2017). Nanopartikel ZnO murni memiliki kinerja yang baik pada daerah sinar ultraviolet yaitu 200-400 nm (Nguyen et al., 2022). Dari sifat yang dimiliki, ZnO tepat diaplikasikan pada berbagai bidang seperti pemancar sinar UV (Adhikari & Madras, 2014), sensor gas, fotoanoda pada sel surya, nanogenerator, *photodetector* dan fotokatalis (Raganata & Arionang, 2019).

Penggunaan ZnO sebagai fotokatalis lebih baik dibandingkan TiO₂ atau titanium oksida karena kemampuan adsorpsinya lebih besar. Selain itu ZnO tidak memberikan efek toksik, memiliki stabilitas termal yang baik, harga terjangkau, dan mudah disintesis. ZnO memiliki struktur *wurtzite* yang stabil ketika didalam suhu ruang (Sabouni, 2019). Penelitian yang dilakukan oleh M. Kita et al (2016) menunjukkan bahwa struktur *wurtzite* ZnO stabil hingga temperature 1673°K atau 1399.85°C. (Kita et al., 2016) Dibawah ini merupakan gambar dari struktur ZnO :

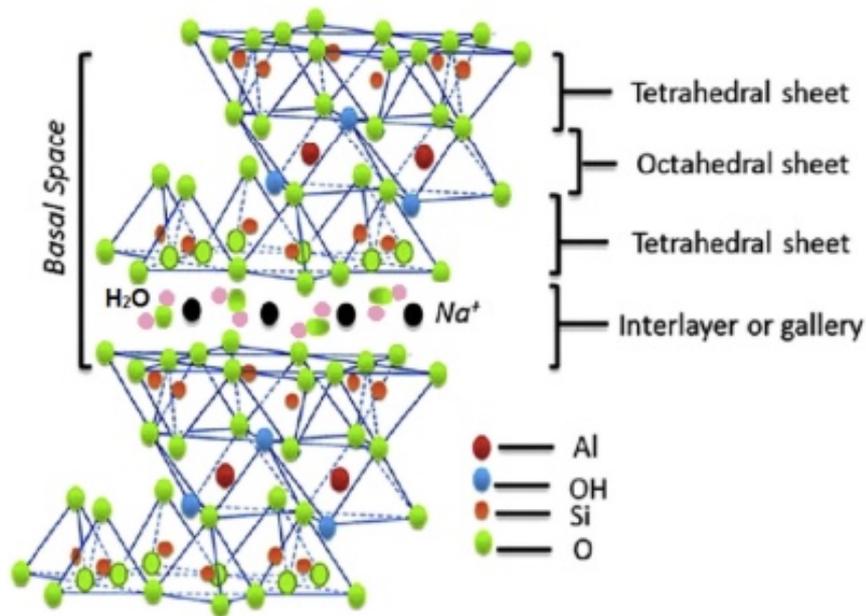


Gambar 2.1 Struktur *Zinc Oxide* (ZnO) (Rangkuti et al., 2018)

2.2 *Spent Bleaching Earth* (SBE)

Penggunaan *Crude Palm Oil* (CPO) banyak dimanfaatkan pada industri pangan salah satunya produksi minyak nabati (Sukma et al., 2020). Terdapat berbagai tahapan dalam proses produksi minyak nabati, salah satunya adalah proses pemurnian CPO yang menggunakan *bleaching earth*. *Bleaching Earth* merupakan istilah umum untuk tanah liat dengan struktur *montmorillonite* seperti bentonit. Bentonit dimanfaatkan sebagai adsorben atau katalis karena sifat kation yang dapat ditukarkan dan luas permukaan yang besar

Spent Bleaching Earth (SBE) adalah limbah padat hasil proses *bleaching* (Elyza & Gofar, 2015). *Spent Bleaching Earth* (SBE) merupakan campuran lempung dan senyawa hidrokarbon dari CPO. SBE dikategorikan sebagai mineral lempung *montmorillonite*. Mineral ini mengandung SiO₂, Al₂O₃, air terikat, CaO, MgO, dan Fe₂O₃. *Montmorillonite* banyak digunakan sebagai katalis, penyangga katalis dan *reinforcement* (Saputra & Hindryawati, 2018). Struktur *montmorillonite* ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Struktur *Montmorillonite* (Rangkuti et al., 2018)

Berikut adalah tabel komposisi kimia dari SBE murni :

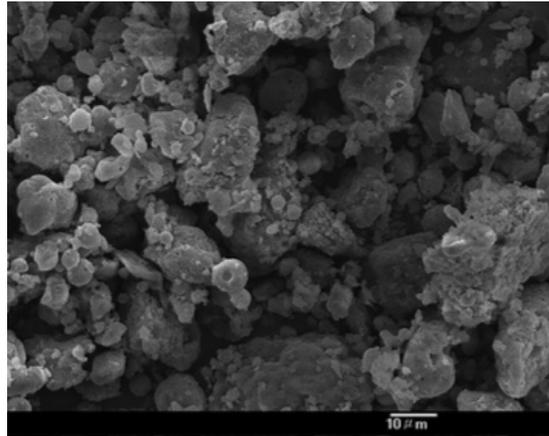
Tabel 2. 1 Komposisi Kimia *Spent Bleaching Earth* (SBE) (Mana et al., 2011)

Komposisi Kimia	Persentase (%)
SiO ₂	37,45
Al ₂ O ₃	8,01
Fe ₂ O ₃	0,83
MgO	1,28
CaO	0,78
Na ₂ O	1,68
K ₂ O	0,89
C	26,99



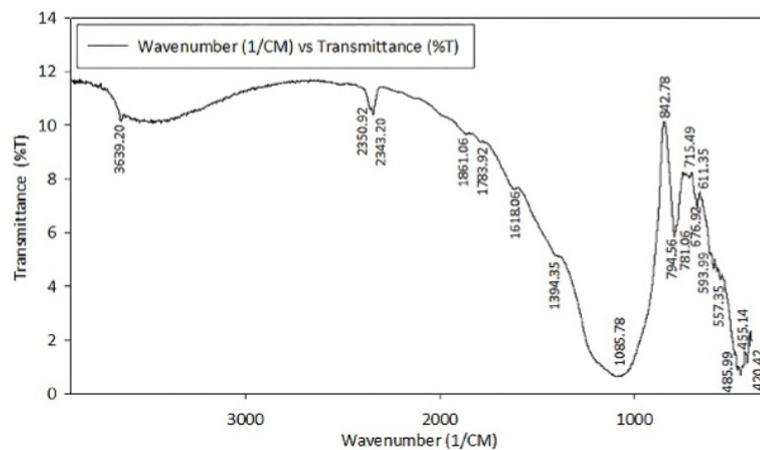
Gambar 2.3 *Spent Bleaching Earth*

Sudah terdapat penelitian yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik SBE murni maupun SBE yang sudah diaktivasi. Berikut adalah hasil pengujian SEM oleh Liu et al (2020) pada sampel SBE murni dan SBE teraktivasi.



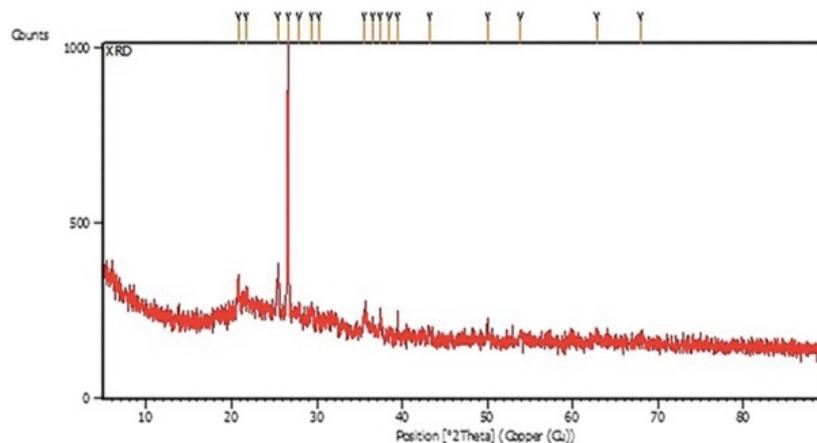
Gambar 2. 4 Hasil pengujian SEM SBE Murni

Dapat dilihat SEM SBE murni dimana permukaannya tidak teratur, berbentuk *sphere* dan memiliki pori. Kemudian di bawah ini dapat dilihat hasil FTIR SBE murni yang sudah dilakukan .



Gambar 2. 5 Hasil FTIR pada SBE Murni

Pada gambar diatas dapat diketahui bahwa terdapat panjang gelombang 1085 cm^{-1} , $751\text{-}794\text{ cm}^{-1}$, $611\text{-}676\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan gugus fungsi Si-O. Kemudian pada panjang gelombang pita 1618 cm^{-1} menunjukkan gugus fungsi O-H. Setelah itu terdapat panjang gelombang pita $1783\text{-}1861\text{ cm}^{-1}$ dan $2343\text{-}2350\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan gugus fungsi C-H dan C=C. Berikutnya terdapat hasil pengujian XRD dari penelitian yang sudah dilakukan oleh Yulikasari et al (2022).



Gambar 2. 6 Hasil XRD SBE Murni

Dari hasil diatas terlihat puncak SiO₂ pada 20.8299°, 21.7561°, 25.4454°, 26.6214°, 36.5271°, 39.4329°, 62.7940°, and 67.8940°. Kemudian, didapatkan pula puncak yag menunjukkan *montmorillonite* pada puncak 35.5537°, 43.2784°, 50,0869°, and 53.8783°.

Limbah SBE dikategorikan dalam limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) menurut Peraturan Pemerintah (PP) No. 101 Tahun 2014, dengan kode limbah B-413 (Bleaching et al., 2020). Peraturan tersebut digantikan oleh Peraturan Pemerintah (PP) No. 22 Tahun dimana SBE menjadi limbah non B3 jika minyak yang terkandung $\leq 3\%$. Sehingga diperlukan upaya tertentu untuk mengolah limbah SBE (Siami et al., 2021).

Terdapat berbagai aplikasi SBE di dunia industri. Sophonpong, et al (2007) telah memanfaatkan limbah dari SBE untuk bahan baku batu bata semen-tanah liat. Dari hasil percobaan diketahui bahwa penambahan SBE meningkatkan kekuatan tekan dari batu bata (Wangrakdiskul & Khonkaew, 2015). Kemudian, SBE digunakan sebagai sumber pengisi pupuk NPK untuk meningkatkan efektivitas pertumbuhan tanaman (Purba et al., 2020). Selain itu SBE dapat melakukan adsorpsi dengan pertukaran ion. Gaya Van der Waals digunakan pada proses adsorpsi oleh SBE dengan memutuskan ikatan hidrogen (Pranowo et al., 2020).

2.3 Aktivasi *Spent Bleaching Earth*

Spent bleaching earth terdiri dari *inactivated bleaching earth* dan 30-40% residu minyak sehingga menjadi sumber karbon yang terjangkau. Beberapa peneliti telah menemukan bahwa karbon aktif yang diberi perlakuan kombinasi antara karbonisasi hidrotermal dan aktivasi secara kimia dapat meningkatkan luas permukaan serta kemampuan adsorpsi yang lebih baik. Hal tersebut menunjukkan karbonisasi berperan penting dalam sintesis karbon aktif. Hasil yang diinginkan dari proses aktivasi *Spent Bleaching Earth* memiliki kesamaan terhadap aktivasi karbon aktif yaitu meningkatkan luas permukaan. Terdapat beberapa penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa adsorben berbasis SBE telah diaktivasi dengan metode pirolisis pada temperatur tinggi (Liu et al., 2021).

Proses aktivasi karbon dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu :

1. Dehidrasi

Dehidrasi adalah proses untuk menghilangkan kandungan air pada bahan baku material. Proses ini dilakukan dengan pemanasan sampai 170°C

2. Karbonisasi

Karbonisasi merupakan memecahkan material organik menjadi karbon pada temperatur diatas 170°C yang akan menghasilkan CO dan CO₂. Pada temperature 275°C akan menyebabkan dekomposisi yang memproduksi methanol, abu dan produk tambahan lain. Kemudian ketika temperatur sudah mencapai antara 400-600°C, karbon akan terbentuk. Pembuatan karbon dapat dilakukan menggunakan material yang mengandung selulosa maupun biomassa. Proses ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan energi termal seperti proses pirolisis (Saputro et al., 2020).

Pirolisis adalah degradasi termal yang berlangsung pada temperature tinggi tanpa oksigen (tanpa proses oksidasi) (Isna et al., 2018) yang menyebabkan senyawa organik terdekomposisi secara termokimia. Pirolisis merupakan proses *irreversibel* yang terdapat perubahan komposisi kimia dan kondisi secara fisika pada senyawa organik. Pirolisis memiliki perbedaan dengan pembakaran sempurna dimana menggunakan oksigen serta menghasilkan karbondioksida dan air (Fahmy, 2018).

Secara umum proses pirolis menghasilkan tiga fasa. Produk yang dihasilkan meliputi gas seperti karbon monoksida, hidrogen, metana, *short hydrocarbon chain gases* dan karbon dioksida. Selain itu terdapat pula produk dalam bentuk cair seperti bio-oil, fenol, *aldehydes*, *levoglucosan*, *hydroxyacetaldehyde*, rantai hidro-karbon dan air. Kemudian arang merupakan produk pirolisis dalam bentuk padatan. Dari fasa ini terdapat kemungkinan kandungan pengotor

seperti senyawa aromatik (Fahmy, 2018). Salah satu aplikasi dari metode pirolisis ini adalah pembakaran biomassa untuk menghasilkan energi. Biomassa akan diubah menjadi gas, cair dan arang. Gas yang diproduksi akan diubah kembali dalam bentuk cairan dan arang yang dihasilkan menjadi energi alternatif (Isna et al., 2018).

3. Aktivasi

Proses aktivasi karbon terjadi saat dekomposisi. Penambahan ukuran pori-pori dapat dilakukan dengan uap maupun CO₂ sebagai aktivatornya. Aktivasi karbon dapat dilakukan secara fisika maupun kimia (Saputro et al., 2020).

- Aktivasi Fisika

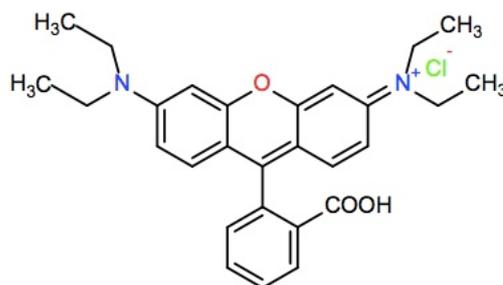
Aktivasi secara fisika menggunakan dua langkah pembuatan. Langkah pertama adalah karbonisasi bahan baku, dan langkah kedua merupakan aktivasi arang berkarbonisasi dengan temperature tinggi. Pada langkah kedua terdapat reaksi oksidasi menggunakan uap, karbon oksida, dan udara (Bubanale, 2017).

- Aktivasi Kimia

Aktivasi secara kimia hanya membutuhkan satu langkah, baik untuk proses karbonisasi maupun aktivasi. Untuk proses aktivasi, prekursor dicampur dengan *chemical agent* dan disimpan dalam temperatur tinggi. *Chemical agent* yang digunakan merupakan oksidan dan *dehydrating agent*. Terdapat banyak keuntungan pada proses aktivasi secara kimia dibandingkan aktivasi secara fisika. Kelebihan tersebut meliputi proses yang singkat, temperatur aktivasi dibawah 800 °C dan karakteristik pori yang lebih baik (Bubanale, 2017).

2.4 Rhodamine B (RhB)

Rhodamine B (RhB) merupakan zat pewarna dasar kationik yang sering digunakan (Xu & Ma, 2021). Penggunaannya meliputi pewarna pada berbagai industri seperti industri tekstil, kertas, dan cat warna (Arabia, 2021). Zat pewarna ini merupakan zat sintetis yang tidak berbau, memiliki warna merah keunguan dan memiliki warna terang (Reza & Sapriyanto, 2017). *Rhodamine B* bersifat stabil terhadap panas, cahaya, dan oksidasi. Berat molekul dari *Rhodamine B* adalah 479,017 g/mol dimana memiliki rumus molekul C₂₈H₃₁ClN₂O₃. Kemampuan penyerapan maksimum dari *Rhodamine B* diketahui sebesar 545 nm. Berikut adalah gambar struktur molekul dari RhB :



Gambar 2.7 Struktur Molekul *Rhodamine B* (RhB) (Arabia, 2021)

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa *Rhodamine B* bersifat karsinogenik pada manusia (Arabia, 2021). Sehingga RhB dapat berbahaya untuk sistem pernapasan, mata, dan kulit (Nguyen et al., 2022). Jika zat pewarna *Rhodamine B* terakumulasi di dalam tubuh manusia akan menimbulkan gangguan fungsi pada hati dan ginjal. Dengan adanya dampak negatif yang ditimbulkan, diperlukan pengolahan limbah *Rhodamine B* (Oktapiani et al., 2021). Namun *Rhodamine B* tidak mudah terdegradasi dengan metode konvensional untuk pengolahan limbah cair karena sifatnya sangat stabil (Lin & Hsiao, 2022). Selain itu terdapat gugus inti benzene dan gugus amino yang bersifat basa pada *Rhodamine B* (Oktapiani et al., 2021).

2.5 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses dimana atom, ion atau molekul yang ada pada larutan diserap oleh zat penyerap melalui permukaannya (Saputri & Akademi, 2020). Selain itu, adsorpsi didefinisikan sebagai proses perpindahan material dari cair ke padat. Terdapat beberapa istilah dalam proses adsorpsi, yaitu adsorben dan adsorbat. Adsorben adalah material dimana pada permukaannya terjadi proses adsorpsi. Sedangkan adsorbat adalah zat yang diserap adsorben. Adsorben diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu :

1. Senyawa berbasis polimer, bersifat polar atau non polar
2. Senyawa berbasis karbon, bersifat non polar dan hidrofobik, seperti material karbon aktif dan grafit.
3. Senyawa yang mengandung oksigen, bersifat hidrofilik dan polar, seperti material silika gel dan zeolite (Gawande et al., 2017).

Proses adsorpsi melewati berbagai tahapan, berikut adalah mekanisme tersebut :

1. Massa molekul adsorbat berpindah menuju lapisan film pada permukaan adsorben
2. Terjadi proses difusi adsorbat dalam lapisan film
3. Proses difusi berlanjut dengan menggunakan pori-pori pada adsorben
4. Adsorbat terserap pada dinding permukaan adsorben (Sediawan & Mindaryani, 2017).

Semakin luas permukaan dari adsorben, maka semakin banyak molekul dari adsorbat yang dapat diserap (Wijayanti & Kurniawati, 2019).

Berdasarkan gaya yang digunakan, proses adsorpsi dapat dibagi menjadi adsorpsi kimia (kemisorpsi) dan adsorpsi fisika (fisorpsi). Kemisorpsi (*chemisorption*) adalah adsorpsi yang terjadi akibat pembentukan ikatan kimia yang kuat antara adsorbat dan adsorben di permukaan. Fisorpsi (*physisorption*) atau adsorpsi Van der Waals menggunakan gaya Van der Waals yang lemah, meliputi dipol-dipol, *dipole induced dipole* dan gaya London (*instantaneous induced dipole-induced dipole*) (Dobrota & Pašti, 2020). Berikut adalah perbedaan dari adsorpsi fisika dan kimia,

Tabel 2.2 Perbedaan Adsorpsi Fisika dan Kimia (Králik, 2014)

Sifat	Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
Jenis ikatan	Van der Waals	Sama dengan ikatan kimia
Tingkat penyerapan terhadap panas	Rendah, 10-40 kJmol ⁻¹	Tinggi, 20-400 kJmol ⁻¹
Perubahan secara kimia pada proses adsorpsi	Tidak ada	Terbentuknya senyawa di permukaan
Energi aktivasi	Sangat rendah	Tinggi, sama dengan reaksi kimia yang terjadi
Pengaruh temperatur	Tidak ada	Pada temperatur positif tertentu, terdapat adsorpsi aktif
<i>Reversibility</i>	<i>Reversible</i>	<i>Irreversible</i>
Pembentukan lapisan yang berlapis	Iya	Tidak
Spesifisitas interaksi antara adsorbat dan adsorben	Sangat rendah	Tinggi

Proses adsorpsi juga dipengaruhi oleh beberapa faktor di bawah ini :

1. Waktu Kontak

Waktu kontak optimum pada proses adsorpsi ditentukan untuk mengetahui berapa lama adsorben dapat menyerap adsorbat. Penelitian oleh Elsayed (2020) menunjukkan peningkatan degradasi polutan seiring dengan lamanya waktu kontak.

2. pH

Pada proses adsorpsi, pH menjadi faktor penting karena H^+ merupakan adsorben yang kuat. Selain itu ketika pH diatur lebih dari 7 dapat mempengaruhi presipitasi adsorben dan sifat dari ion yang akan terdegradasi. Beberapa penelitian yang sudah dilakukan mengamati bahwa saat pH mengalami kenaikan dapat meningkatkan adsorpsi ion logam.

3. Jumlah Adsorben

Jumlah adsorben digunakan untuk menentukan kapasitas adsorben untuk sejumlah adsorbat dalam larutan. Tersedianya *exchange sites* atau luas permukaan dapat mempengaruhi jumlah adsorben pada kapasitas adsorpsi (Ayob et al., 2021).

4. Luas Permukaan

Zat yang teradsorpsi oleh adsorben meningkat seiring dengan luas permukaannya. Jumlah adsorben dan besarnya partikel dapat menentukan seberapa luas permukaan adsorben.

5. Jenis Adsorbat

Kemampuan adsorpsi molekul polat akan meningkat akibat dari peningkatan polarisabilitas adsorbat. Sedangkan berat molekul adsorbat yang meningkat dapat memperbaiki efektivitas adsorpsi.

6. Konsentrasi Adsorbat

Konsentrasi adsorbat yang besar dapat meningkatkan jumlah substansi di permukaan adsorben

7. Temperatur

Pori-pori adsorben yang diberikan pemanasan akan terbuka sehingga dapat meningkatkan efektivitas adsorpsi. Tetapi jika pemanasan dilakukan pada temperature yang terlalu tinggi akan merusak adsorben dan menurunkan efektivitas adsorpsi (Syauqiah et al., 2011).

2.6 Fotokatalis

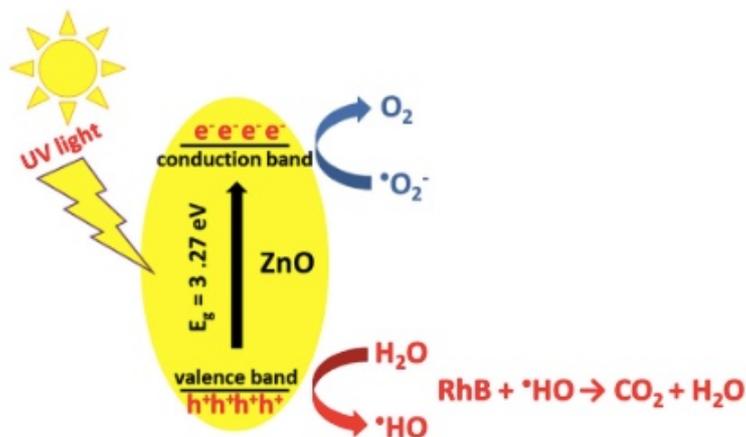
Fotokatalis adalah material yang menyerap cahaya agar dapat berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi dan membuat reaksi kimia terjadi (Srivastava et al., 2022). Fotokatalis memiliki kemampuan untuk mempercepat reaksi tanpa terkonsumsi (Umar & Aziz, 2013). Fotokatalis merubah energi kimia dari energi cahaya dan menghasilkan radikal hidroksil dalam prosesnya. Radikal ini akan bereaksi dengan polutan organik (reaksi redoks), menghasilkan kejernihan pada air yang terkena limbah (Sucharya et al., 2016).

Saat ini berbagai material nanopartikel semikonduktor dengan luas permukaan besar dimanfaatkan untuk reaksi fotokatalitik (Bhagat, 2017). Sejak penemuan *Honda-Fujishima effect*, menyatakan bahwa air dapat diuraikan menjadi hidrogen dan oksigen menggunakan semikonduktor. Setelah itu banyak penelitian yang sudah dilakukan untuk menerapkan fotokatalis semikonduktor dalam produksi hidrogen dari pemisahan air. Kriteria yang dibutuhkan oleh semikonduktor untuk proses pemisahan air adalah stabilitas tinggi, cahaya yang cukup, celah pita yang sesuai, dan biaya yang terjangkau. Terdapat banyak semikonduktor yang sesuai untuk aplikasi fotokatalisis. Tetapi hanya beberapa yang dapat bekerja secara efisien pada aplikasi degradasi polutan organik. Secara umum semikonduktor yang digunakan, *band gap energy* sesuai dengan nilai absorbansinya. Di bawah ini merupakan tabel fotokatalis semikonduktor yang sering digunakan.

Tabel 2.3 Fotokatalis Semikonduktor

Semikonduktor	Band gap (eV)	Panjang gelombang (nm)
SnO ₂ (Elayaperumal et al., 2018)	3.9	320
TiO ₂ (Elayaperumal et al., 2018)	3.2	388
ZnO (Nguyen et al., 2022)	3.37	388
BiVO ₄ (Elayaperumal et al., 2018)	2.4	516
CdS (Elayaperumal et al., 2018)	2.582	516
In ₂ O ₃ (Elayaperumal et al., 2018)	2.5	496
WO ₃ (Elayaperumal et al., 2018)	2.8	443

2.6.1 Mekanisme Fotokatalisis



Gambar 2.8 Mekanisme Fotokatalisis *Rhodamine B* Oleh ZnO (Rajendrachari et al., 2021)

Mekanisme ZnO sebagai fotokatalis yaitu ketika disinari oleh sinar energi dengan celah pita yang lebih lebar, elektron dari ZnO bergerak dari pita valensi ke pita konduksi. Pada proses tersebut terbentuk lubang elektron (h^+) dan pasangan elektron (e^-) di permukaan. Proton dan air membentuk radikal-radikal hidroksil OH. Disamping itu, oksigen dan elektron akan bergabung menghasilkan ion-ion radikal O_2^- . Oksigen sebagai oksidator yang kuat akan memutus ikatan dari senyawa-senyawa karbon dengan reaksi oksidasi-reduksi (Novarini & Wahyudi, 2011). Reaksi yang terjadi akan merubah senyawa organik seperti polutan menjadi karbondioksida dan

air (Sabouni, 2019). Hal tersebut menunjukkan peran ZnO sebagai fotokatalis. Berikut adalah persamaan fotokatalisis dengan ZnO :



Reaksi redoks pada molekul pewarna disebabkan oleh hidroksil dan ion O_2^- . Reaksi tersebut menghasilkan senyawa dengan ukuran lebih kecil dan terjadi proses dekolorisasi pada zat warna. Radikal anion superoksida (*superoxide anion radicals*) yang terbentuk akan bereaksi dengan ion H^+ dan memproduksi radikal OH dalam jumlah besar (Irfan et al., 2019).

2.6.2 Faktor Yang Mempengaruhi Fotokatalis

Berikut adalah beberapa faktor yang mempengaruhi fotokatalis pada proses degradasi :

1. Konsentrasi pewarna

Dalam proses fotokatalisis hanya pewarna yang teradsorpsi pada permukaan fotokatalis yang dapat terdegradasi. Jika pewarna tersebut terdapat di larutan dan tidak teradsorpsi di permukaan, maka pewarna tersebut tidak dapat didegradasi. Secara umum, semakin banyaknya konsentrasi pewarna maka persentase degradasi akan menurun.

2. pH

Variasi pH larutan dapat mengubah muatan pada permukaan fotokatalis dan menggeser reaksi katalitik. Sehingga proses adsorpsi pewarna dapat beralih dan menyebabkan perubahan laju reaksi.

3. Jumlah Katalis

Fotodegradasi pewarna akan meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah katalis, dimana hal tersebut merupakan karakteristik fotokatalis heterogen. Dengan jumlah katalis meningkat, maka situs aktif (*active sites*) pada permukaan fotokatalis bertambah. Sehingga pembentukan jumlah radikal OH^- meningkatkan diskolorisasi larutan pewarna.

4. Ukuran dan struktur fotokatalis

Morfologi permukaan berperan penting dalam degradasi fotokatalitik karena berhubungan langsung antara senyawa organik dan luas permukaan fotokatalis. Foton yang bertubrukan dengan fotokatalis mengatur lajur reaksi dimana reaksi tersebut hanya berlangsung pada zat yang teradsorpsi dalam fase fotokatalis

5. Luas Permukaan

Luas permukaan menjadi faktor penting karena semua reaksi kimia terjadi di permukaan. Luas permukaan yang besar dapat meningkatkan fotodegradasi karena terdapat lebih banyak situs aktif dibandingkan luas permukaan yang lebih kecil.

6. Temperatur

Peningkatan temperatur pada reaksi pada umumnya dapat menghasilkan aktivitas fotokatalitik yang lebih baik.

7. Konsentrasi dan sumber polutan

Laju degradasi fotokatalitik pada polutan tertentu bergantung pada sifat, konsentrasi dan senyawa lain yang terdapat pada larutan. Selain konsentrasi, struktur kimia senyawa target dapat mempengaruhi kinerja degradasi fotokatalitik (Kumar & Pandey, 2017).

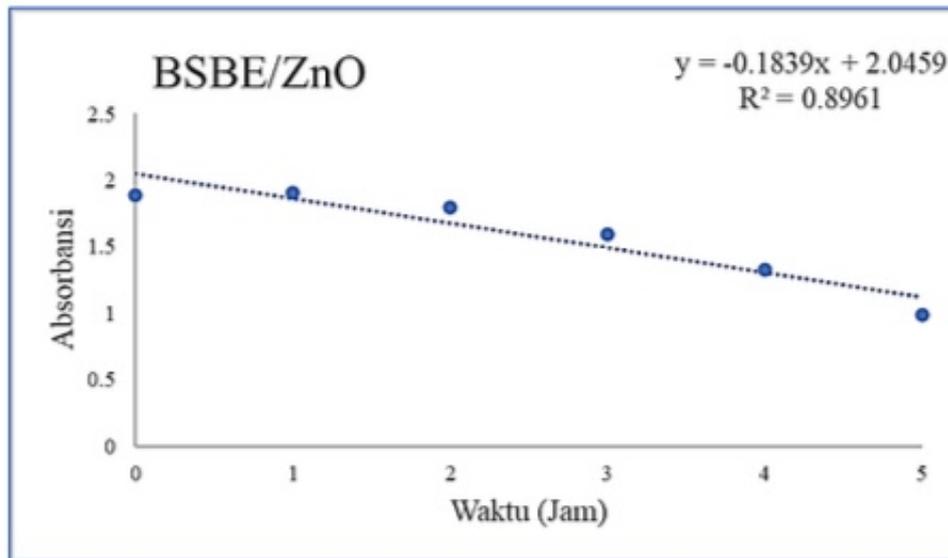
2.7 Sintesis Komposit ZnO/SBE

Sejauh ini belum ditemukan metode mengenai sintesis komposit ZnO/SBE. Salah satu metode yang umum digunakan adalah metode sol gel. Metode sol gel adalah proses untuk membentuk senyawa organik yang dilakukan pada suhu rendah, dengan reaksi kimia dan menggunakan larutan. Selama proses tersebut, terbentuk fasa gel (fasa cair kontinyu) dari fasa sol (suspensi koloid). Metode sol gel memiliki berbagai kelebihan yaitu homogenitas yang baik, pembentukan kristalinitas cepat, kemurnian produk tinggi serta ramah lingkungan (Ningsih et al., 2017).

Penelitian yang dilakukan Hasnidawani et al. (2019) men sintesis ZnO dengan metode sol gel. Material yang dibutuhkan yaitu Seng Asetat Dihidrat atau $(\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ sebagai prekursor, NaOH, ethanol (CH_2COOH) sebagai reagen, dan air suling sebagai pelarutnya. Untuk pembuatan sol, Seng Asetat Dihidrat dilarutkan dengan air suling, begitu pula dengan natrium hidroksida. Setelah itu larutan diaduk dengan kecepatan konstan. Kemudian larutan natrium hidroksida dicampurkan dengan larutan seng asetat dihidrat dan diaduk secara konstan. Etanol diteteskan perlahan ke dalam larutan dan terbentuk endapan putih. Produk akhir pada proses ini memperoleh kesetimbangan antara hidrolisis dan reaksi kondensasi. Seng asetat mengalami hidrolisis akibat dari pemanasan, sehingga membentuk ion asetat dan ion seng (Hasnidawani et al., 2016). Berikut adalah reaksi kimia keseluruhan untuk menghasilkan ZnO: $(\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{ZnO} + 2\text{NaCH}_3\text{COO} + \text{H}_2\text{O}$ (2.8)

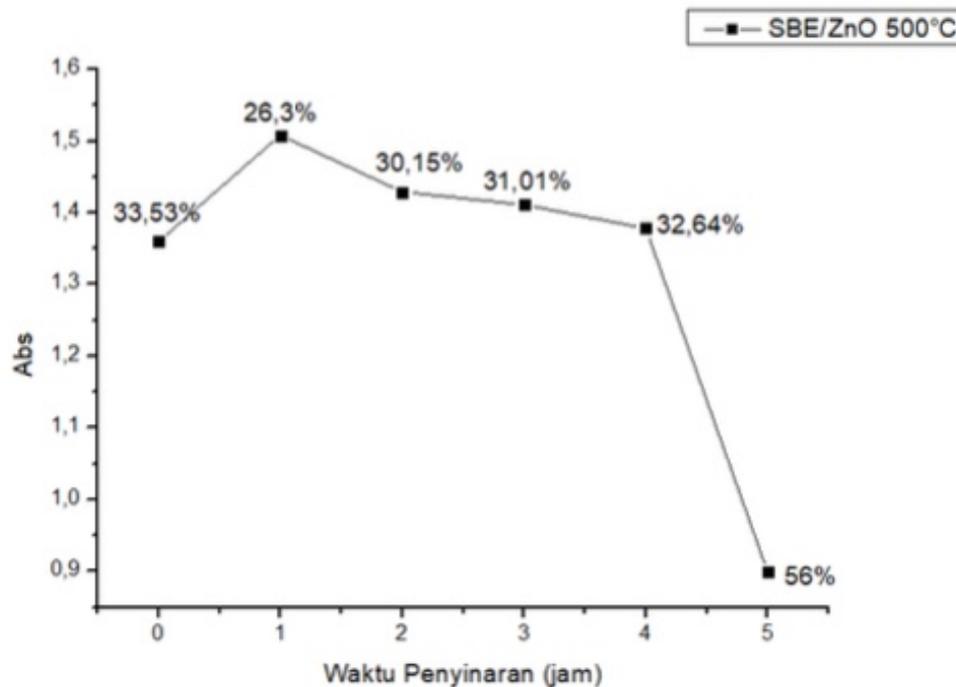
2.8 Penelitian Sebelumnya (*State of The Art*)

Terdapat beberapa penelitian yang sudah dilakukan mengenai aktivasi dari komposit SBE/Semikonduktor untuk proses degradasi zat berbahaya. Wan et al. (2021), telah melakukan penelitian dengan menggunakan material HSBE/C untuk adsorpsi *bisphenol*. Metode aktivasi yang digunakan adalah pirolisis pada temperatur 700°C dengan penambahan *hydrofluoric acid* (HF) sebanyak 15mL. Hasil yang didapatkan berupa luas permukaan material HSBE/C sebesar $18.56 \text{ m}^2/\text{g}$ (Wan et al., 2021). Liu et al. (2020) meneliti aplikasi SBE pada proses adsorpsi Pb^{2+} . Material SBE diaktivasi menggunakan pirolisis pada temperatur $300\text{-}600^\circ\text{C}$ dan dilakukan aktivasi KOH. Hasil yang didapatkan adalah temperature optimum sebesar 500°C dengan luas permukaan SBE sebesar $158.7 \text{ m}^2/\text{g}$. Kapasitas adsorpsi Pb^{2+} yang didapatkan adalah 206.06 mg/g (Liu et al., 2021). Wilsoma dkk (2019) melakukan penelitian aplikasi $\text{WO}_3\text{-SBE}$ untuk degradasi *Methylene Blue* Aktivasi yang digunakan adalah ultrasonikasi pada suhu $50\text{-}60^\circ\text{C}$. Hasil yang didapatkan adalah berat katalis optimum sebanyak 0.15 gram, dengan waktu kontak 15 menit dan persentase degradasi yang didapatkan sebesar 99.12% (Hindryawati et al., 2019). Rizqiyah dkk. (2022) melakukan penelitian material SBE/ZnO untuk degradasi *Rhodamine B*. Sebelumnya dilakukan pengujian SBE murni *Thermogravimetric Analysis* (TGA) dan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) dan didapatkan penurunan massa SBE sebesar 2.26% pada temperatur 620°C dan 2.75% pada temperatur 700°C . Kemudian aktivasi SBE dilakukan dengan menggunakan pirolisis dengan variasi temperatur 400°C , 500°C , dan 600°C . Hasil dari penelitian ini adalah dengan temepnatur aktivasi 500°C dan waktu penyinaran selama 5 jam didapatkan persen degradasi sebesar 52.4% (Rizqiyah et al., 2022). Berikut adalah kurva nilai absorbansi dan waktu pada proses degradasi *Rhodamine B* dengan katalis SBE/ZnO untuk aktivasi SBE pada temperature 500°C :



Gambar 2.9 Kurva nilai absorbansi dan waktu pada proses degradasi *Rhodamine B* (Rizqiyah et al., 2022)

Amanda dkk. (2022) melakukan pengujian terhadap material SBE/ZnO untuk degradasi *Rhodamine B*. Metode *solvent extraction* maserasi digunakan sebagai metode aktivasi SBE dengan variasi temperatur 400°C, 500°C, dan 600°C. Hasil penelitian ini adalah dengan temperatur aktivasi 500°C dan waktu penyinaran selama 5 jam didapatkan persen degradasi sebesar 56%. (Amanda et al., 2022) Berikut adalah kurva nilai absorbansi dan waktu pada proses degradasi *Rhodamine B* dengan katalis SBE/ZnO untuk aktivasi SBE pada temperatur 500°C.



Gambar 2.10 Kurva nilai absorbansi dan waktu pada proses degradasi *Rhodamine B* (Amanda et al., 2022)

Tabel berikut menunjukkan penelitian yang sudah dilakukan mengenai aktivasi komposit SBE/ Semikonduktor pada aplikasi degradasi zat berbahaya

Tabel 2.4 Penelitian Sebelumnya

Peneliti, Tahun dan Penerbit	Material dan Aplikasi	Metode dan Variasi	Hasil
Wan et al. (2021) Springer (Wan et al., 2021)	HSBE/C Adsorpsi <i>bisphenol</i>	Pirolisis pada temperatur 700°C dan pemberian <i>hydrofluoric acid</i> (HF) 15mL	Luas permukaan sebesar 18.56 m ² /g
Liu et al. (2020) Springer (Liu et al., 2021a)	SBE Adsorpsi Pb ²⁺	Pirolisis dengan aktivasi KOH pada temperatur 300-600°C	Didapatkan temperatur optimum sebesar 500°C dengan luas permukaan sebesar 158.7 m ² /g dan kapasitas adsorpsi sebesar 206.65 mg/g
Wilsoma dkk. (2019) Jurnal Atomik (Hindryawati et al., 2019)	WO ₃ -SBE <i>Methylene Blue</i>	Ultrasonikasi pada suhu 50-60°C	Berat katalis optimum 0.15 gram, dengan waktu kontak 15 menit diperoleh degradasi sebesar 99.12%
Rizqiyah dkk. (2022) (Rizqiyah et al., 2022)	SBE/ZnO <i>Rhodamine B</i>	Pirolisis dengan variasi temperatur aktivasi 400°C, 500°C, 600°C	Dengan variasi temperatur 500°C, waktu penyinaran 5 jam didapatkan persen degradasi sebesar 52.4%
Amanda dkk. (2022) (Amanda et al., 2022)	SBE/ZnO <i>Rhodamine B</i>	<i>Solvent extraction</i> maserasi dengan variasi temperatur aktivasi 400°C, 500°C, 600°C	Dengan variasi temperatur 500°C, waktu penyinaran 5 jam didapatkan persen degradasi sebesar 56%

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Spent bleaching earth*
Material ini digunakan sebagai material utama pada proses fotokatalis dengan komposit ZnO/SBE/KA
2. KOH 0.1M
Bahan ini menjadi *activating agent* pada proses aktivasi SBE dengan metode pirolisis.
3. HCl 2M
Bahan ini digunakan untuk menghilangkan kontaminan pada SBE teraktivasi.
4. Karbon
Karbon digunakan untuk menghasilkan *activated carbon* atau karbon aktif
5. *Zinc Acetate Dihidrate* ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Bahan ini dimanfaatkan untuk menghasilkan ZnO sebagai sumber Zn.
6. NaOH 2M
Bahan ini dimanfaatkan untuk membantu proses hidrolisis pada *Zinc Acetate Dihidrate*.
7. Air suling
Bahan ini digunakan sebagai pelarut pada pengujian.
8. Larutan etanol absolut 98%
Bahan ini digunakan sebagai penstabil dan pelarut.
9. *Rhodamine B*
Bahan ini digunakan sebagai zat kontaminan yang akan diuji untuk persentase degradasinya
10. Gas nitrogen
Bahan ini digunakan sebagai gas *inert* untuk proses pemanasan dalam pirolisis. Alat Penelitian

3.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Beaker glass*
Alat ini digunakan sebagai tempat reaksi kimia terjadi.
2. Gelas ukur
Alat ini digunakan untuk mengukur volume pada zat cair.
3. Pipet tetes
Alat ini digunakan untuk mengambil maupun meneteskan zat kimia yang berupa larutan.
4. Neraca analitik
Alat ini digunakan untuk menimbang massa dari zat padat.
5. *Magnetic stirrer*
Alat ini digunakan untuk mengaduk larutan saat dipanaskan di atas *hot plate magnetic stirrer*
6. *Hot plate magnetic stirrer*
Alat ini digunakan untuk mengaduk dan mencampurkan larutan agar homogen dalam temperatur dan kecepatan tertentu.
7. pH meter
Alat ini digunakan untuk mengukur pH pada larutan
8. Termometer
Alat ini digunakan untuk mengukur temperatur larutan.

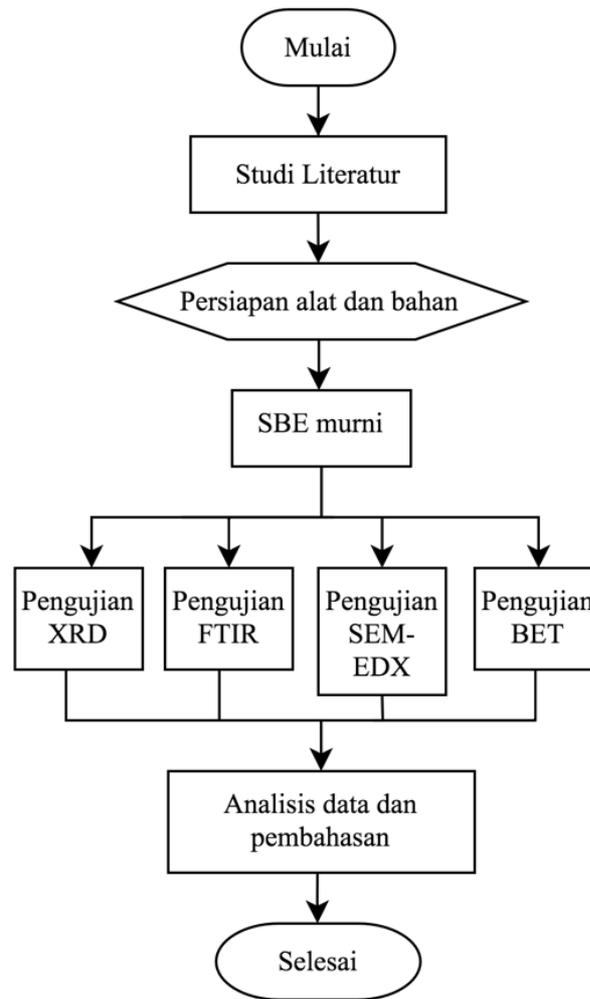
9. Kertas saring 100 mesh
Alat ini digunakan untuk memisahkan larutan dan endapan komposit ZnO/SBE/KA.
10. *Tube furnace*
Alat ini digunakan untuk memanaskan sampel dengan aliran gas nitrogen.
11. *Muffle furnace*
Dengan bantuan oksigen, alat ini digunakan untuk mengeringkan dan memanaskan sampel.
12. *Crucible*
Alat ini digunakan pada proses pemanasan untuk wadah menyimpan sampel.
13. Kotak *Styrofoam*
Alat ini digunakan sebagai reaktor pada pengujian fotokatalitik.
14. Botol sampel
Alat ini digunakan untuk wadah larutan sampel pada saat proses uji fotokatalitik.
15. Kuvet
Alat ini digunakan untuk mengukur konsentrasi reagen yang dibaca pada spektrofotometer.
16. Lampu LED 20 Watt
Lampu ini digunakan sebagai sumber sinar untuk pengujian fotokatalitik.
17. Instrumen karakterisasi material
 - *X-ray diffraction* (XRD) digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan senyawa pada.
 - *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan EDS digunakan untuk menganalisis morfologi permukaan dan ukuran partikel sampel
 - *Fourier Transform Infrared* (FTIR) digunakan untuk mengetahui gugus fungsi pada material.
 - *Thermogravimetry Analysis* (TGA) digunakan untuk mengetahui stabilitas thermal pada material yang terdekomposisi.
 - *Brunaur, Emmett and Teller* (BET) digunakan untuk mengetahui luas permukaan aktif dan volume pori.
 - Spektrofotometri UV-Vis digunakan untuk mengetahui sifat penyerapan cahaya dari sampel yang telah disiapkan.
 - *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GC-MS) digunakan untuk mengetahui jenis senyawa yang terbentuk setelah proses degradasi.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dimana sebelum penelitian dimulai SBE murni dikarakterisasi dengan alat uji XRD, FTIR, SEM, BET, dan TGA seperti pada Gambar 3.1. Eksperimen dimulai dari atas proses aktivasi *spent bleaching earth* (SBE) dengan metode pirolisis yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Kemudian, seperti pada Gambar 3.3 dilakukan sintesis komposit ZnO/SBE dengan metode *sol-gel*.

3.3.1 Karakterisasi SBE Sebelum Eksperimen

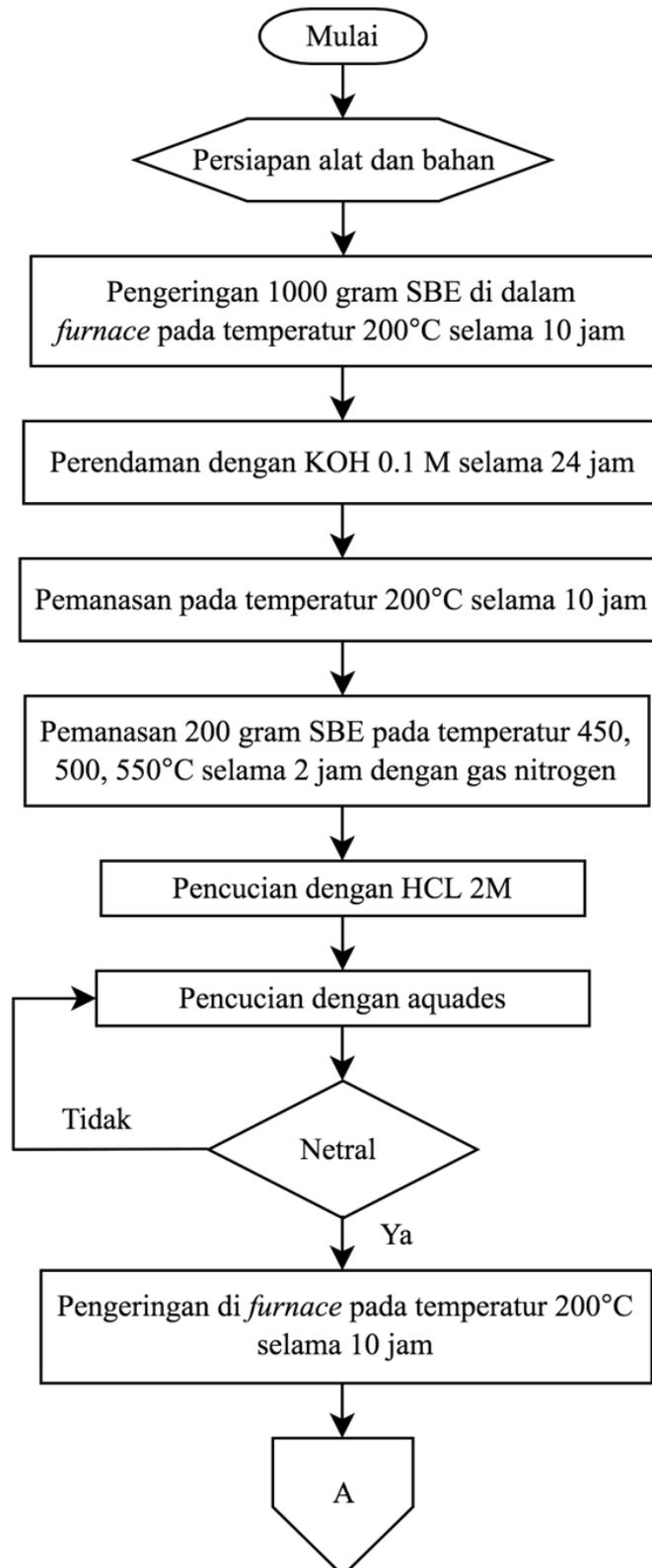
Berikut adalah proses karakterisasi material SBE sebelum digunakan pada penelitian ini seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.1

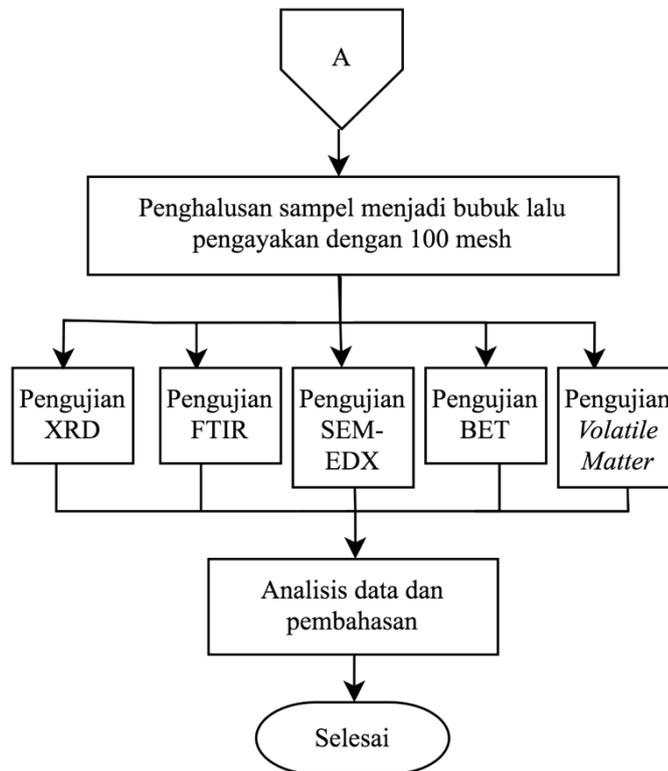


Gambar 3.1 Diagram alir karakterisasi SBE non aktivasi

3.3.2 Proses Aktivasi *Spent Bleaching Earth*

Berikut adalah proses aktivasi *spent bleaching earth* menggunakan metode pirolisis dengan adanya variasi temperature seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.2.





Gambar 3.2 Diagram alir aktivasi *spent bleaching earth*

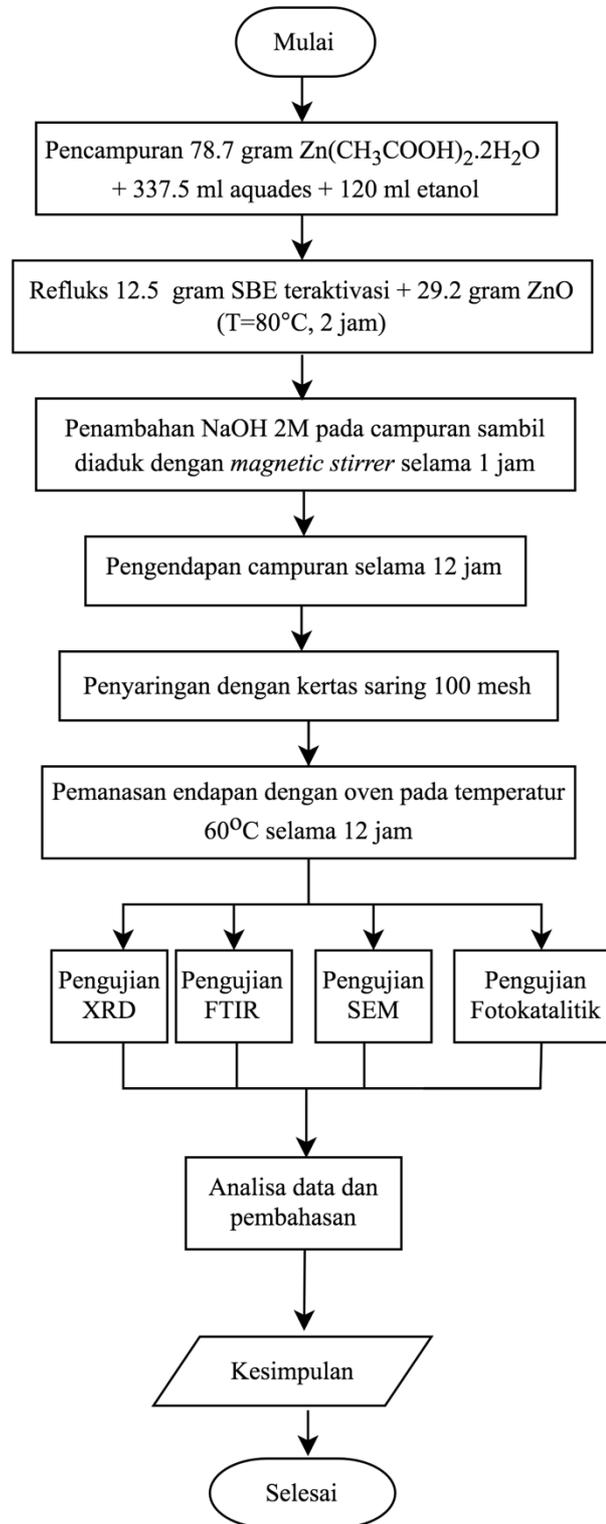
Aktivasi *spent bleaching earth* (SBE) dengan metode pirolisis dimulai dengan mengeringkan 1000 gram SBE dengan temperatur 200°C selama 10 jam di dalam *furnace*. Sampel yang sudah kering, direndam dengan KOH 0.1 M selama 24 jam. Kemudian dilanjutkan pengeringan pada temperatur 200°C selama 12 jam di dalam *vacuum oven*. Selanjutnya yaitu pemanasan dengan bantuan nitrogen selama 2 jam dengan variasi temperatur 450, 500 dan 550°C. Pada saat proses pemanasan, kontaminan di pori-pori menjadi mudah terlepas. Proses pelepasan ini akan menghasilkan karbon aktif dengan meningkatkan kemampuan adsorpsi serta memperluas permukaan. Setelah itu sampel dibilas untuk menghilangkan kontaminan dengan larutan HCl 2M dan *aquades* sampai netral (pH = 7). Setelah itu, sampel dikeringkan lagi pada temperatur 200°C selama 10 jam. Selanjutnya, sampel dihaluskan menjadi serbuk dan diayak dengan ukuran 100 mesh. Sampel pengujian aktivasi SBE diberikan kode sebagai berikut :

Tabel 3.1 Kode sampel dari aktivasi SBE

No	Variasi Temperature (°C)	Kode Sampel
1	450	ASBE1
2	500	ASBE2
3	550	ASBE3

3.3.3 Sintesis Komposit ZnO/SBE

Berikut adalah sintesis komposit ZnO/SBE seperti pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Sintesis Komposit ZnO/SBE

Sintesis komposit ZnO/SBE diawali dengan pelarutan 78.7 gram *Zinc Asetate Dihidrate* dengan *aquades* sebanyak 337.5 mL. Setelah itu larutan dicampurkan dengan etanol sebanyak 120 mL. Selanjutnya, larutan ditambahkan SBE teraktivasi sebanyak 12.5 gram. Perbandingan massa antara ZnO dan SBE adalah 7 : 3. Campuran ini direfluks dalam temperatur 80°C selama 2 jam. Larutan kemudian diletakkan pada *beaker glass* 1000 mL dan ditambahkan NaOH 2M sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 1 jam pada kecepatan konstan. Sampel diendapkan selama 12 jam agar terbentuk *gel*. Kemudian endapan dipisahkan dengan menyaring menggunakan kertas saring 100 mesh. Lalu endapan dipanaskan dalam oven pada temperatur 60°C selama 12 jam. Setelah itu komposit ZnO/SBE telah terbentuk. Berikut adalah persamaan rekasi dari sintesis komposit ZnO/SBE :

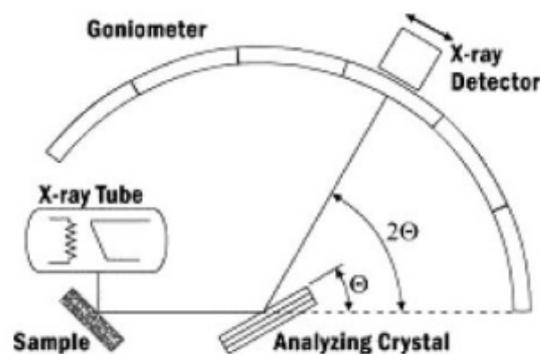


3.4 Pengujian

Berikut ini adalah beberapa pengujian yang digunakan pada penelitian ini:

3.4.1 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

XRD (*X-Ray Diffraction*) merupakan metode tanpa merusak atau *nondestructive* untuk mengkarakterisasi kristal mulai dari tekstur, fase, struktur dan parameter struktural (kristalinitas, regangan, ukuran butir, dan cacat kristal). XRD terdiri dari tiga elemen dasar yaitu tabung sinar-X, detektor sinar-X dan tempat sampel (*sample holder*). Sinar-X dihasilkan dari tabung sinar katoda dengan pemanasan filamen untuk menghasilkan elektron. Kemudian laju elektron meningkat dan dapat mencapai target dengan tegangan. Karakteristik spektrum sinar-X dapat dihasilkan ketika elektron memiliki energi yang cukup untuk melepaskan elektron di kulit terdalam target. Komponen umum pada spektrum ini meliputi $K\alpha$ dan $K\beta$ (Bunaciu & Aboul-enein, 2015).



Gambar 3. 4 Skema Sistem Difraktometer (Bunaciu & Aboul-enein, 2015)

Mekanisme dari XRD ditunjukkan oleh gambar 3.(). Ketika sinar-X mengenai material akan dihamburkan oleh elektron yang berputar di sekitar inti atom. Gelombang ini akan dipancarkan ke berbagai arah dan menimbulkan interferensi secara konstruktif ataupun destruktif. Difraksi merupakan interferensi konstruktif yang tersebar. (Ali et al., 2021). Difraksi dan puncak intensitas dapat terjadi ketika sinar-X yang datang bertubrukan dengan sampel dan memenuhi hukum Bragg,

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (3.2)$$

dimana,

n = orde difraksi

λ = panjang gelombang sinar-X (m)

d = jarak antara bidang yang menghasilkan difraksi (Å)

θ = sudut difraksi (radian)

Detektor menyimpan dan memproses sinyal sinar-X untuk diubah menjadi *count rate*. Setelah itu hasil yang sudah dikonversi dapat dicetak (Bunaciu & Aboul-enein, 2015).

Periodisitas dari struktur atom mempengaruhi interferensi konstruktif yang terjadi. Sehingga grafik XRD dari zat kristal lebih mudah ditafsirkan daripada amorf. Terdapat korelasi antara difraksi dan periodisitas dimana periodisitas yang lebih singkat dapat diamati dengan sudut difraksi yang lebih besar. Intensitas puncak difraksi dapat menentukan nomor atom dan posisi atom pada *cel* tertentu. Sedangkan ukuran dan bentuk *unit cel* dapat diketahui dari posisi puncak difraksi. Pada persamaan *Scherrer* dapat diperkirakan ukuran dari partikel, (Ali et al., 2021).

$$D = \frac{K \lambda}{B \cos \theta} \quad (3.3)$$

dimana,

D = ukuran partikel

K = Konstanta *Scherrer* (0.9)

λ = Panjang gelombang

B = FWHM (radian)

θ = sudut difraksi (radian)

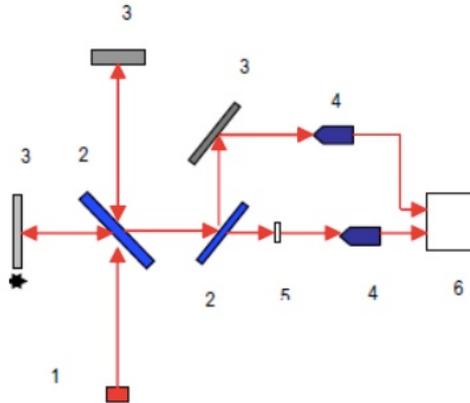
3.4.2 Pengujian Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

FTIR menggunakan prinsip spektroskopi dalam cara kerjanya. Spektroskopi merupakan spektroskopi inframerah dimana terdapat transformasi fourier yang digunakan untuk mendeteksi dan menganalisis spektrum. Setiap kelompok fungsional dapat menyerap sinar inframerah dengan frekuensi yang berbeda-beda. Sehingga komposisi umum dari suatu zat dapat diketahui dari jenis gugus fungsinya. Selain itu spektroskopi inframerah dapat mengidentifikasi senyawa organik dengan spektrum yang kompleks (Silviah et al., 2014).



Gambar 3.5 Instrumen FTIR

Mekanisme instrumen FTIR meliputi identifikasi zat seperti molekul maupun atom. Sinar yang berasal dari sinar inframerah dilewatkan melalui 2 berkas yaitu sampel dan pembanding. Setelah itu, sinar inframerah melewati *chopper*. Ketika melewati prisma, berkas akan bertemu dengan detector dan dikonversikan menjadi sinyal listrik yang akan terekam oleh recorder (Pambudi et al., 2017).



Gambar 3.6 Skema instrumen FTIR(Silviah et al., 2014)

Dari Gambar 3.6 dapat dilihat skema instrument FTIR dimana, (Silviah et al., 2014)

1. Sumber inframerah
2. *Beam splitter* (pembagi berkas)
3. Kaca pemantul
4. Sensor inframerah
5. Sampel
6. *Display*

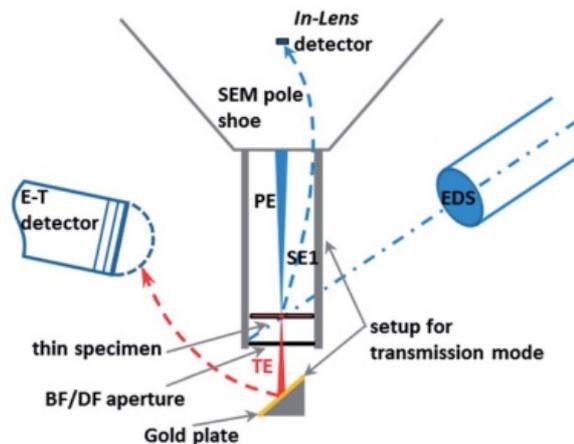
3.4.3 Pengujian *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan mikroskop elektron yang memindai sampel dengan elektron dengan energi tinggi. Resolusi elektron bisa mencapai 0.1 – 0.2 nm, sedangkan cahaya hanya bisa mencapai 200 nm. SEM terintegrasi dengan *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX)* (Julinawati et al., 2015). Pada SEM terdapat interaksi antara atom-atom dengan elektron yang menyebabkan sampel dapat menghasilkan sinyal untuk mengetahui komposisi, topografi permukaan dan konduktivitas listrik dari sampel. Sedangkan, EDX digunakan untuk mengamati komposisi unsur kimia secara kuantitatif maupun kualitatif (Sihite, 2019) Instrumen utama dari SEM meliputi pistol elektron, lensa, dan sistem vakum. Pistol elektron digunakan untuk melepaskan elektron. Kemudian lensa elektron yang bersifat magnetis agar elektron dapat dibelokkan oleh medan magnet. Setelah itu sistem vakum yang digunakan untuk menghilangkan molekul udara yang menuju target (Wijayanto & Bayuseno, 2014).



Gambar 3.7 Alat SEM

Prinsip kerja SEM dimulai dari pistol elektron yang menghasilkan sinar elektron dan dipercepat dengan menggunakan anoda. Elektron difokuskan ke permukaan sampel menggunakan lensa magnetik. Setelah itu sinar elektron yang sudah difokuskan akan memindai sampel dengan arah koil pemindai. Kemudian, jika elektron sudah mengenai sampel maka sampel akan menghasilkan elektron baru yang diterima oleh detektor. Terdapat beberapa pantulan yang dihasilkan oleh SEM seperti pantulan elastis dan inelastis. Pantulan elastis berasal dari *backscattered electron* (BE), sedangkan pantulan inelastis didapatkan dari *secondary electron* (Wijayanto & Bayuseno, 2014). Interaksi yang terjadi ketika sinar elektron mengenai sampel akan diubah oleh SEM dalam bentuk gambar dan dalam bentuk grafik oleh EDX. (Julinawati et al., 2015) Berikut adalah skema alat SEM-EDX :



Gambar 3.8 Skema alat SEM-EDX (Rades et al., 2014)

3.4.4 Pengujian *Volatile Matter*

Volatile matter atau zat terbang adalah zat yang dapat menguap sebagai hasil dekomposisi senyawa-senyawa yang masih terdapat di dalam briket selain air, karbon dan abu. Uji kandungan volatile matter (Zat Terbang) bertujuan untuk mengetahui kandungan zat terbang dalam briket yang dihasilkan. Tinggi rendahnya kadar zat menguap/volatile matter pada briket disebabkan oleh kesempurnaan proses karbonisasi dan juga di pengaruhi oleh waktu dan suhu pada proses pengarangan. Pengujian *volatile matter* dilakukan dengan mengikuti standar American Society for Testing Materials (ASTM) D-3174. Berikut adalah mekanisme pengujian *volatile matter*

1. Cawan Porselin yang telah bersih dipanaskan di oven pada suhu 105°C selama 2 jam.
2. Sampel didinginkan dalam desikator selama ½ jam kemudian ditimbang.
3. Sampel diletakkan pada cawan porselin kemudian ditimbang sampai 1 gram.
4. Dipanaskan pada tanur dengan temperatur 900°C selama 7 menit, kemudian didinginkan dalam desikator selama ½ jam kemudian ditimbang.



Gambar 3. 9 Alat uji *Volatile Matter*

3.4.5 Pengujian *Brunauer-Emmett-Teller (BET)*

Metode BET digunakan untuk mengetahui luas permukaan, ukuran dan volume pori dari suatu sampel. BET didasarkan pada teori BET yang menggunakan prinsip adsorpsi isotherm. Pada proses adsorpsi yang terjadi melibatkan fasa gas dan padat. Adsorbat atau zat yang diadsorpsi adalah gas, dan adsorbent atau material penyerapnya berupa zat padat. Semakin banyak jumlah gas yang teradsorpsi, maka semakin luas pula ukuran dari pori adsorbennya (Ekawati et al., 2010).



Gambar 3. 10 Alat Uji BET

Selain menganalisis ukuran dari pori, BET juga digunakan untuk mengetahui *specific surface area* atau luas permukaan yang spesifik. Hasil yang didapatkan dari pengujian BET meliputi tabel dan grafik data isotherm, diameter pori, luas permukaan spesifik dan *multiple BET plot*. Pengujian BET pada *Spent Bleaching Earth (SBE)* dimulai dari preparasi sampel. Setelah itu serbuk *activated SBE* diletakkan pada *sample cell*. Kemudian, massa aktif ditimbang dan diletakkan ke *degasser*. *Degassing* dilakukan untuk membuang kontaminan pada sampel. Terdapat kenaikan temperature selama 5 menit dari 80°C, 120°C, 200°C, dan 270°C. Pada taha terakhir, temperature dinaikkan ke suhu 300°C untuk 3 jam. Setelah proses *degassing* selesai, *sample cell* dikeluarkan dan bergabung bersama *BET analyzer*. Sampe didinginkan pada *BET analyzer*, dan analisis dimulai sampai karakterisasi selesai dilakukan. Hasil data dapa dilihat di komputer.

3.4.6 Pengujian UV-Vis

Spektrofotometri sinar ultra violet dan *visible* atau spektrofotometri UV-Vis adalah metode untuk mengetahui senyawa yang didasarkan pada absorpsi foton (Irawan, 2019). Prinsip kerja spektrofotometri UV-Vis didasarkan pada energi cahaya zat kimia di panjang gelombang tertentu (Iskandar, 2017). Spektrofotometer digunakan untuk menghasilkan sinar pada panjang gelombang tertentu. Sedangkan fotometer mengukur intensitas cahaya yang di absorpsi. Hasil absorpsi dan transmitansi yang didapatkan akan dianalisis secara kuantitatif maupun kualitatif (Sistesya & Sutanto, 2013).



Gambar 3. 11 Instrumen UV Vis

Sampel yang akan dianalisis dengan spektrofotometri UV-Vis harus diberi perlakuan tertentu, salah satunya yaitu dengan ditambahkan Reagen seperti garam kompleks. Hal tersebut disebabkan foton dapat diserap oleh sampel pada panjang gelombang foton 200 nm – 700 nm (daerah UV-Vis) (Irawan, 2019). Terdapat hukum yang menjadi acuan dalam metode ini yaitu hukum Lambert-Beer dimana mengatur hubungan antara absorpsi dengan konsentrasi. Pada hukum ini diketahui juga sinar yang harus digunakan adalah monokromatik. Berikut adalah persamaan dari hukum Lambert-Beer, (Sistesya & Sutanto, 2013)

$$A = \epsilon \cdot b \cdot C \quad (3.4)$$

dimana,

A = absorpsi (arb. units)

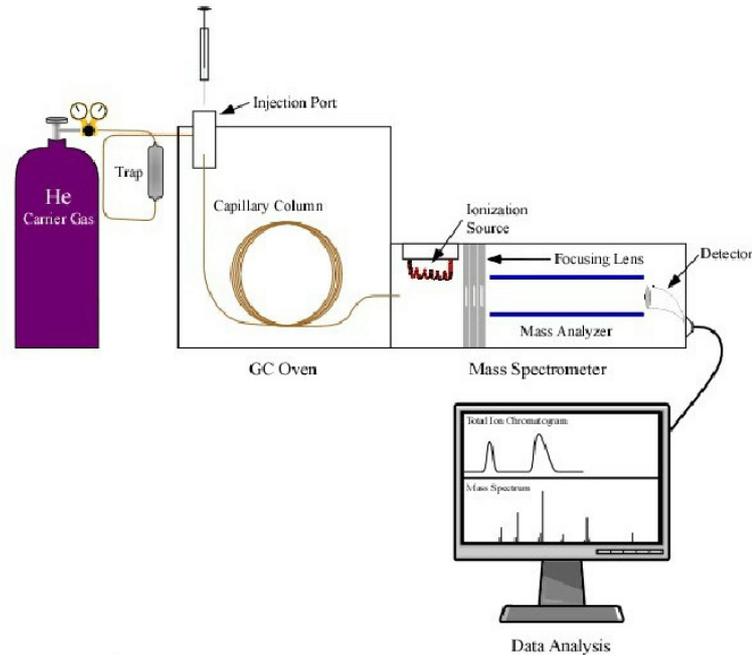
ϵ = absorptivitas molar ($M^{-1}cm^{-1}$)

b = tebal kuvet (cm)

C = Konsentrasi larutan (M)

3.4.7 Pengujian *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GC-MS)

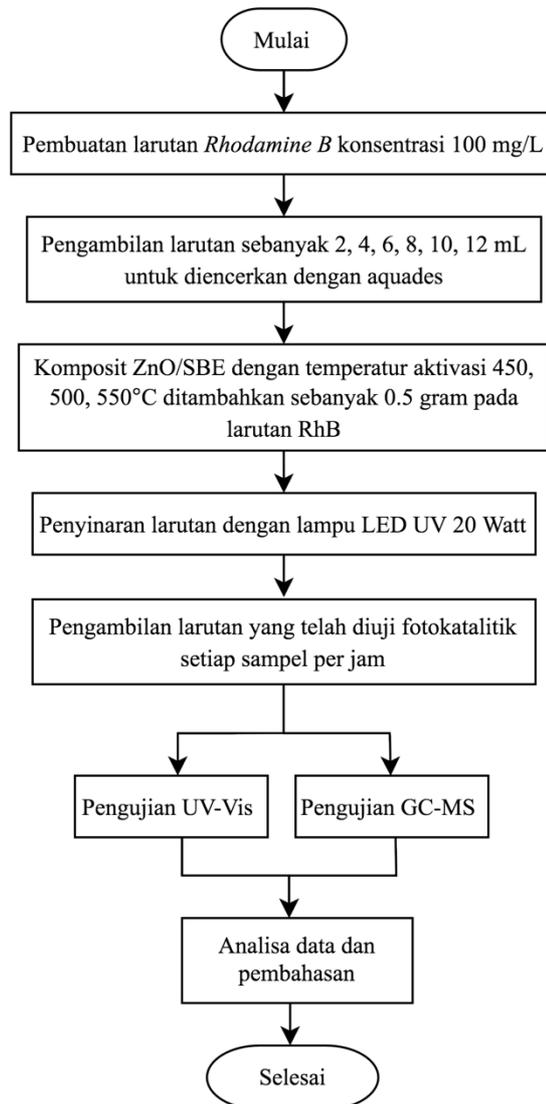
GCMS menerapkan dua metode yaitu gas kromatografi (GC) dan spektrometri massa (MS). GC adalah bagian dari teknik kromatografi dimana hanya bisa mendeteksi senyawa yang mudah menguap. Namun dengan teknologi yang semakin berkembang, GC digunakan bersama dengan MS atau *Mass-Spectrometer*. MS berperan sebagai penentu berat dan rumus molekul untuk identifikasi senyawa (Darmapatni et al., 2016). Dengan penggabungan antara GC dan MS, senyawa yang dipisahkan oleh GC dapat lebih cepat terdeteksi oleh MS (Widelia et al., 2012).



Gambar 3. 12 Skema Mekanisme GC-MS (Wu et al., 2012)

Prinsip metode GC adalah sampel yang telah dimasukkan ke dalam injektor dan berubah menjadi uap akan masuk ke kolom pemisah dengan bantuan gas. Komponen yang terpisah disebabkan perbedaan daya adsorpsi antara fasa diam. Setelah itu komponen yang terpisah akan bergerak dengan bantuan fasa gerak. Konsentrasi setiap komponen akan dideteksi dengan detektor. Mekanisme MS dimulai dari penguapan sampel di keadaan vakum dan sampel akan berpindah menuju ruang pengion. Setelah itu sampel diberi arus partikel energy tinggi dan radikal ion terbentuk menjadi ion induk (ion yang bisa memecah) dan ion yang tidak bisa memecah. Ion induk akan terbagi menjadi ion positif, negatif dan netral. Kemudian hanya ion positif yang bisa dideteksi oleh MS. Hasilnya akan berupa tabel atau grafik dengan puncak m/z (massa/muatan) dengan intensitas yang menyesuaikan seberapa banyak ion yang ada (Widelia et al., 2012).

3.4.8 Pengujian Fotokatalitik



Gambar 3. 13 Diagram alir pengujian fotokatalitik

- Pembuatan larutan uji *Rhodamine B* dan penentuan panjang gelombang maksimum
Rhodamine B dalam bentuk serbuk ditimbang sampai dengan massa 0,01 gram. Setelah itu serbuk *Rhodamine B* dilarutkan dengan 100 mL aquades sehingga terbentuk larutan *Rhodamine B* 100 mg.L⁻¹. Kemudian larutan, dipipet ke dalam gelas ukur 100 mL, masing-masing 2; 4; 6; 8; 10 dan 12 mL. Aquades diberikan ke setiap larutan sampai diperoleh volume 100mL. Kemudian didapatkan konsentrasi 2; 4; 6; 8; 10; dan 12 mg.L⁻¹. Tahap berikutnya, panjang gelombang maksimum larutan ditentukan oleh alat uji spektrofotometer UV-Vis.
- Penentuan kurva standar *Rhodamine B*
Larutan *Rhodamine B* yang sudah dipreparasi sebelumnya, dihitung nilai absorbansinya dengan panjang gelombang maksimum yang sudah diketahui. Pembuatan kurva dilakukan untuk mengetahui korelasi antara konsentrasi dan nilai absorbansi.
- Pengujian degradasi *Rhodamine B* dengan variasi temperatur yang sudah ditentukan pada proses aktivasi SBE

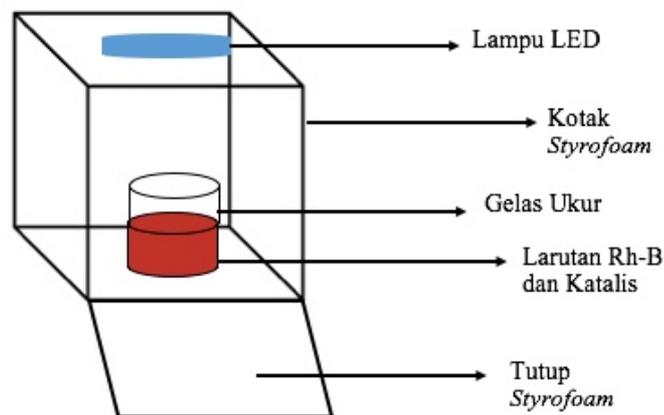
Pengujian degradasi *Rhodamine B* menggunakan variasi temperatur aktivasi SBE yaitu 450 °C, 500 °C, dan 550 °C. Sebelum proses pengujian fotokatalitik, larutan *Rhodamine B* ditambahkan komposit ZnO/SBE pada gelas kimia. Setelah itu reaktor disinari dengan lampu LED 20 Watt untuk variasi waktu 0 jam, 2 jam, 4 jam, 6 jam, 8 jam dan 10 jam. Kemudian, degradasi *Rhodamine B* dianalisis nilai absorbansinya dengan alat uji spektrofotometer dengan panjang gelombang maksimum 540 nm. Selanjutnya, presentase degradasi *Rhodamine B* diketahui dengan persamaan :

$$(\%D) = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (3.5)$$

dimana,

C_0 = konsentrasi mula-mula zat warna sebelum iradiasi,

C_t = konsentrasi zat warna pada t.



Gambar 3. 14 Pengujian fotokatalitik

3.5 Rancangan Penelitian

Rancangan dari penelitian dan pengujian ini ditunjukkan pada tabel berikut,

Tabel 3.2 Rancangan pengujian

Sampel	Pengujian							
	XRF	XRD	FTIR	SEM - EDX	BET	TGA	UV- Vis	GC- MS
MSBE	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-
ASBE1	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	-
ASBE2	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	-
ASBE3	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	-
KSBE1	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	-
KSBE2	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	-
KSBE3	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	-
LRhB1	-	-	-	-	-	-	✓	✓
LRhB2	-	-	-	-	-	-	✓	✓

Keterangan :

MSBE : SBE non aktivasi

ASBE1 : SBE teraktivasi pada temperatur pirolisis 450°C

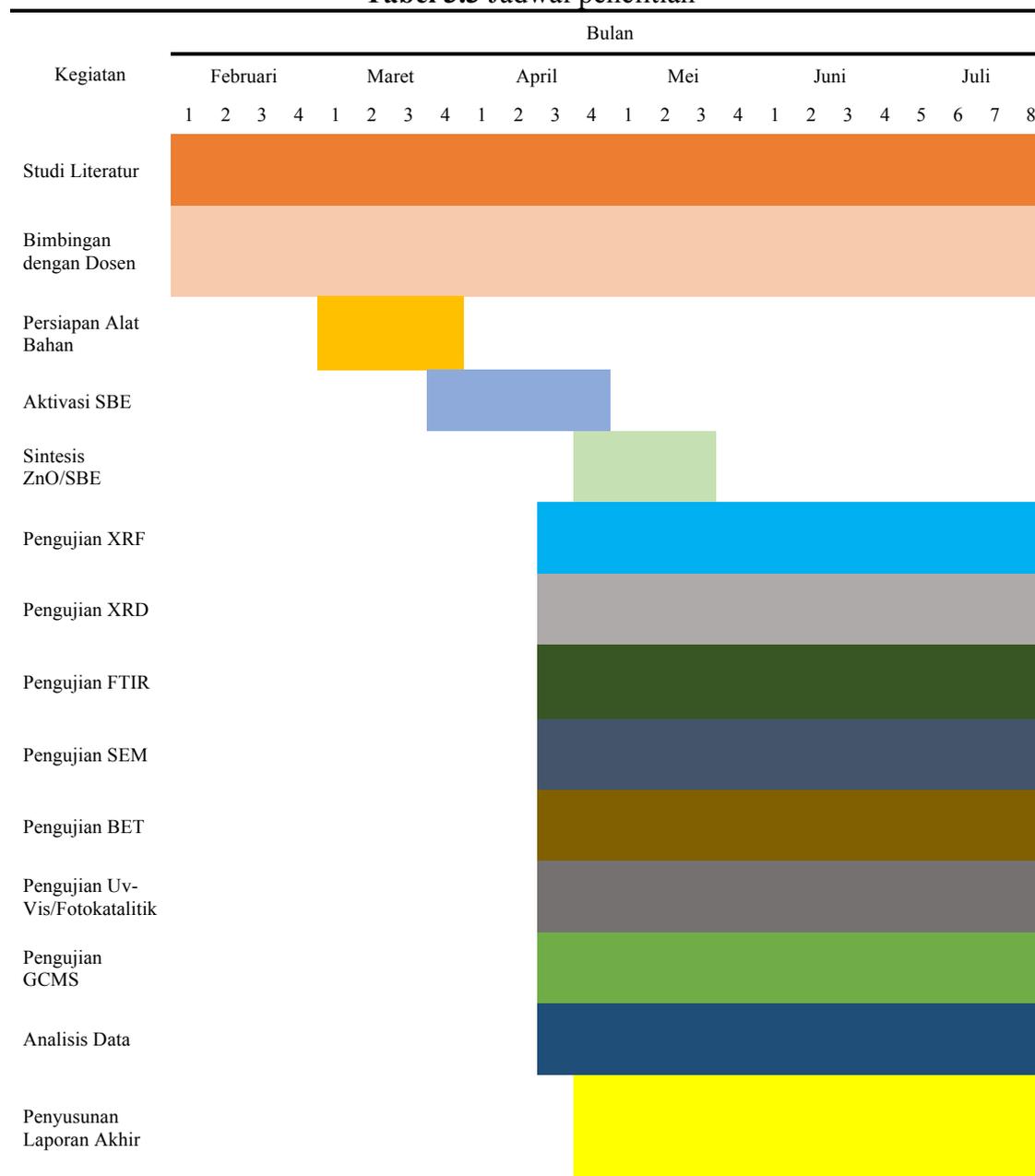
ASBE2 : SBE teraktivasi pada temperatur pirolisis 500°C

ASBE3 : SBE teraktivasi pada temperatur pirolisis 550°C

- KSBE1 : Komposit dari ZnO dan ASBE1
 KSBE2 : Komposit dari ZnO dan ASBE2
 KSBE3 : Komposit dari ZnO dan ASBE3
 LRhB1 : Larutan Rhodamine B sebelum proses degradasi
 LRhB2 : Larutan Rhodamine B setelah proses degradasi

Jadwal dari penelitian ini akan ditunjukkan pada tabel berikut :

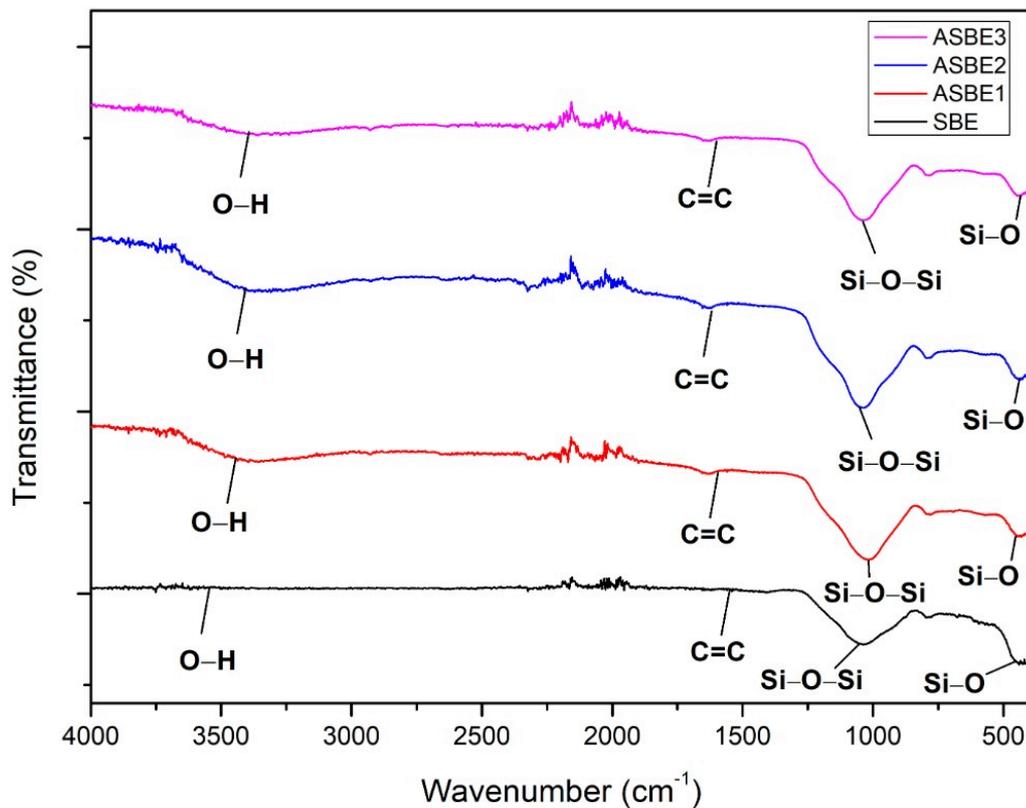
Tabel 3.3 Jadwal penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Sampel *Spent Bleaching Earth* (SBE) murni maupun yang sudah diaktivasi dengan temperatur 450°C (ASBE1), 500°C (ASBE2), dan 550°C (ASBE3) dilakukan karakterisasi dengan FTIR. Selain itu karakterisasi menggunakan FTIR juga dilakukan pada komposit ZnO/SBE 450°C (KSBE1), ZnO/SBE 500°C (KSBE2), dan ZnO/SBE 550°C (KSBE3). Pengujian FTIR dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS. Gugus fungsi yang terdapat dan terbentuk pada SBE murni, SBE hasil aktivasi dan komposit dari ZnO dan SBE teraktivasi dapat diketahui dari hasil FTIR. Berikut merupakan Gambar 4.1 hasil dari pengujian FTIR untuk SBE murni, ASBE1, ASBE2 dan ASBE3 :



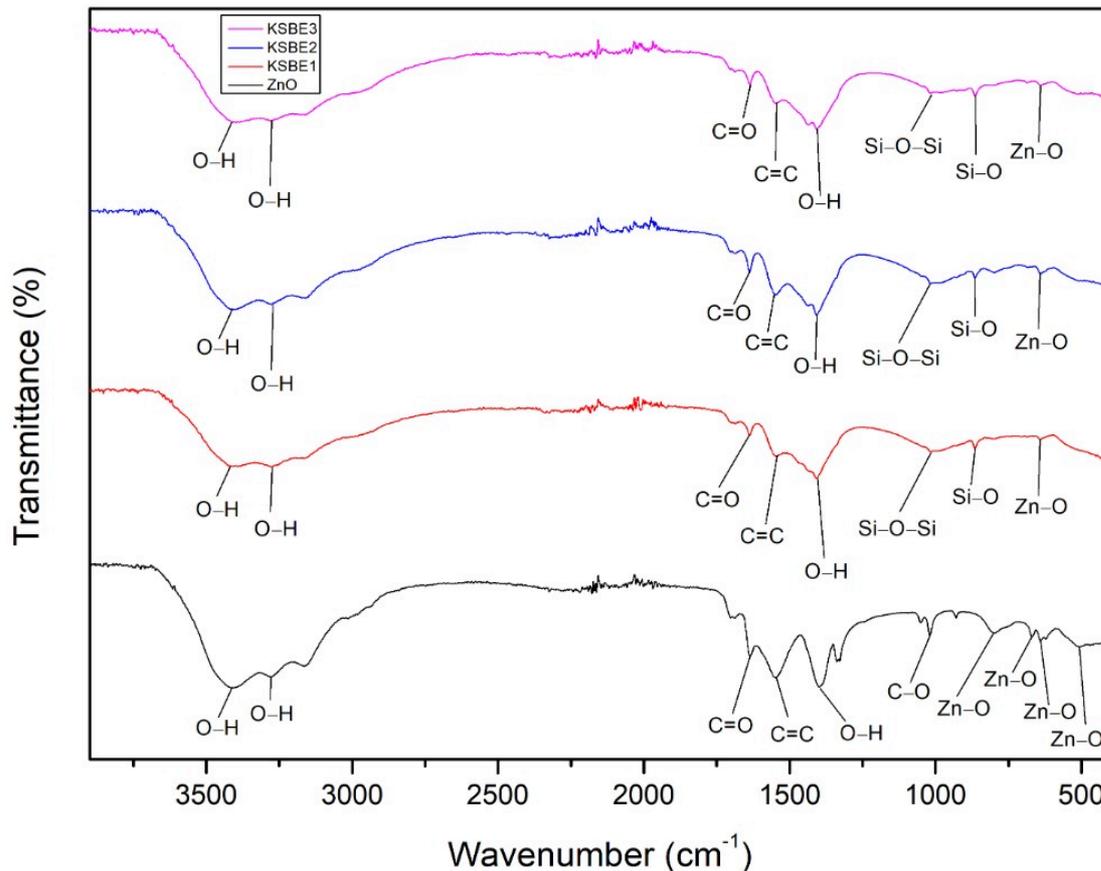
Gambar 4. 1 Hasil pengujian FTIR SBE, ASBE1, ASBE2, dan ASBE3

Tabel 4. 1 Absorpsi beberapa gugus fungsi

No	Gugus Fungsi	Karakteristik Absorpsi (cm ⁻¹)	Intensitas
1	O-H	3200 - 3650	O-H
2	C=C	1600 - 1680	C=C
3	Si-O-Si	830 - 1110	Si-O-Si
4	Si-O	420 - 485	Si-O

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa SBE sebelum dan setelah diaktivasi memiliki gugus fungsi –OH pada panjang gelombang pita 3392 cm⁻¹ (Majid & Mat, 2017). Kemudian terdapat gugus fungsi Si-O pada *wavenumber* 420 – 485 cm⁻¹ dan pada panjang gelombang 1017 cm⁻¹ terbentuk gugus fungsi Si-O-Si . Setelah itu ikatan C=C terdapat pada

SBE sebelum dan setelah proses aktivasi di panjang gelombang pita 1636 cm^{-1} (Yulikasari et al., 2022). Dari hasil pengujian FTIR diatas dapat dilihat bahwa tidak terdapat perubahan dari gugus fungsi untuk material SBE ketika tidak diaktivasi maupun setelah diaktiavasi dengan variasi temperatur 450°C, 500°C dan 550°C. Untuk material SBE, gugus fungsi yang ditunjukkan sesuai dengan penelitian yang sudah dilakukan oleh Yulikasari et al (2022)., dimana menunjukkan rentang panjang gelombang struktur *montmorillonite* (Yulikasari et al., 2022).



Gambar 4. 2 Hasil pengujian FTIR ZnO, KSBE1, KSBE2, dan KSBE3

Tabel 4. 2 Absorpsi dari gugus fungsi

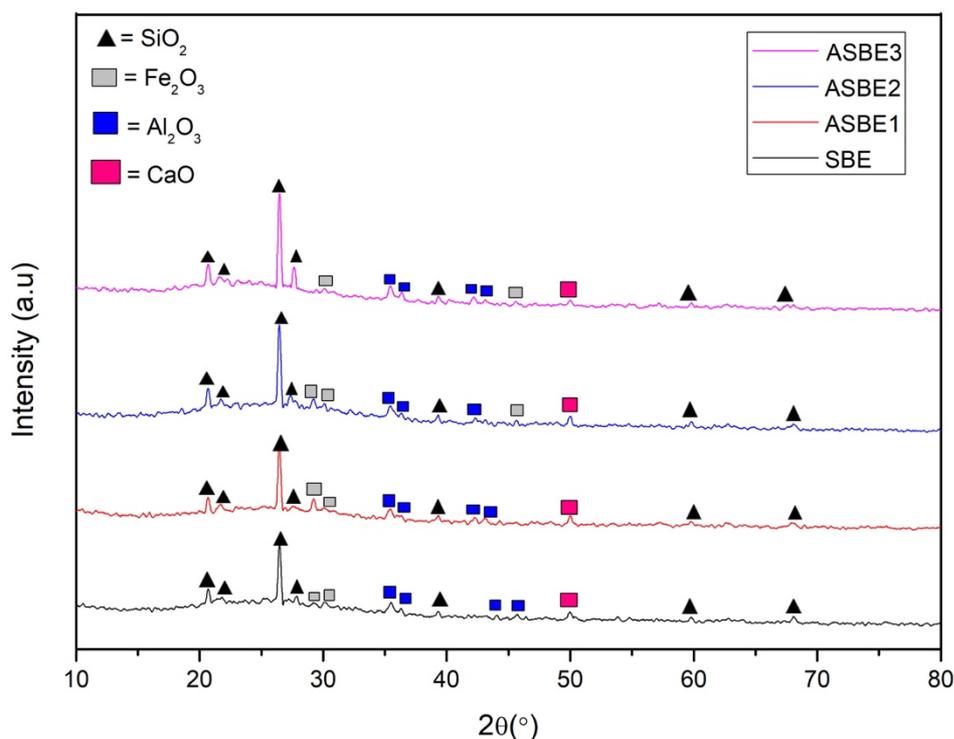
No	Gugus Fungsi	Karakteristik Absorpsi (cm^{-1})	Intensitas
1	O-H	3200 - 3650	O-H
2	C=O	1700 - 1500	C=O
3	C=C	1600 - 1680	C=C
4	O-H	1440 - 1395	O-H
5	Si-O-Si	830 - 1110	Si-O-Si
6	Zn-O	300 - 650	Zn-O

Pada pengujian FTIR yang ditunjukkan Gambar 4.2, komposit KSBE memiliki gugus fungsi Si-O pada panjang gelombang 420 – 485 cm^{-1} (Yulikasari et al., 2022). Setelah itu terbentuk gugus fungsi Zn-O pada komposit KSBE pada panjang gelombang 640 nm (Hernández et al., 2007) . Pada hasil FTIR ZnO terdapat gugus fungsi selain Zn-O yaitu O-H,

C=O, dan C=C. Hal tersebut disebabkan oleh proses sintesis ZnO yang menggunakan Seng Asetat Dihidrat atau $(\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ sebagai prekursor, NaOH, ethanol (CH_2COOH) sebagai reagen, dan air suling sebagai pelarutnya. Pada panjang gelombang 3277 cm^{-1} dan 1408 cm^{-1} terbentuk gugus fungsi $-\text{OH}$. Kemudian gugus fungsi Si-O-Si muncul pada pita 1016 cm^{-1} . Disamping itu, terbentuk gugus fungsi C=O dan C=C pada panjang gelombang 1637 cm^{-1} (Yulikasari et al., 2022).

4.2 Hasil Pengujian X-Ray Diffractometry (XRD)

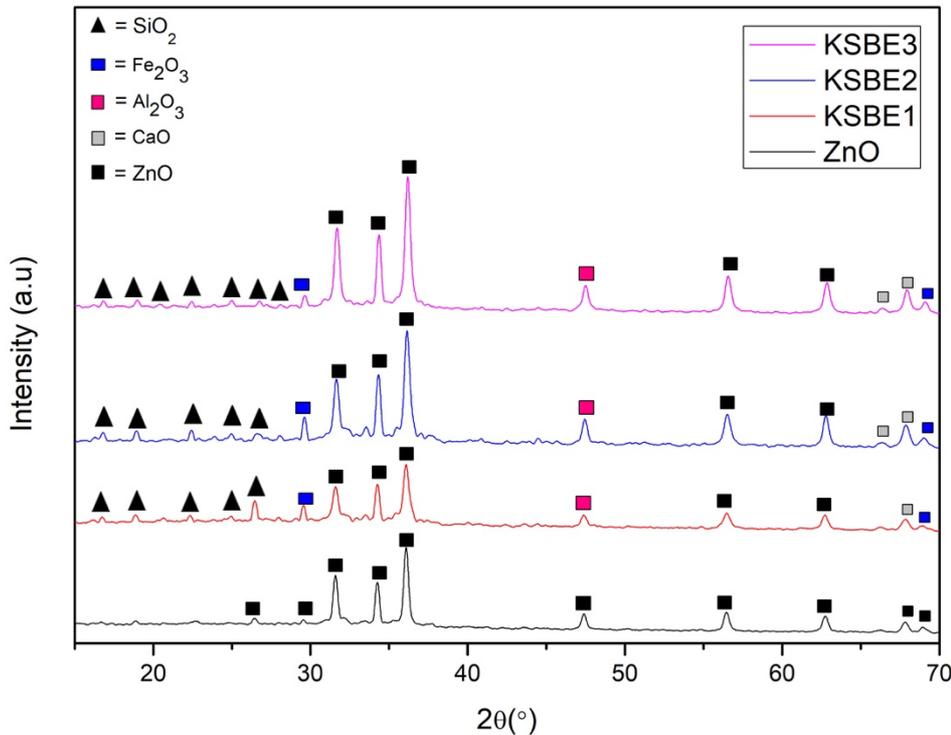
Material SBE, SBE aktivasi, ZnO dan komposit KSBE dilakukan pengujian XRD dengan menggunakan parameter sudut 2θ dari 5° sampai 90° . Karakterisasi XRD dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS. Pengujian XRD ini dapat mendeteksi fasa kristal dan amorf dari material SBE dan komposit ZnO/SBE aktivasi (KSBE).



Gambar 4. 3 Hasil pengujian XRD pada SBE 450°C , SBE 500°C , dan SBE 550°C

Pada Gambar 4.3 dapat diketahui beberapa puncak difraksi dari material SBE, ASBE1, ABSE2, dan ASBE3 yang memperlihatkan fasa *quartz* dan *montmorillonite* pada SBE. Fasa *montmorillonite* menunjukkan komposisi dari SBE yang terdiri dari Al_2O_3 , SiO_2 , CaO dan Fe_2O_3 (Yulikasari et al., 2022). Untuk material SBE dan SBE yang sudah diaktivasi terdapat puncak difraksi 2θ yaitu 20.7° (020) planar, 21.5° (110) planar, 26.5° (002) planar, 27.3° (022) planar, 39.3° (141) planar, 59.7° (321) planar, dan 68° (262) planar. Puncak tersebut menunjukkan fasa *quartz* dari SBE yang mengandung SiO_2 (Fajrudin et al., 2016). Hal tersebut sesuai dengan JCPDS atau *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* 46-1045. Selain itu, hasil XRD diatas dapat mengetahui fasa *montmorillonite* lain yang terbentuk seperti Al_2O_3 , CaO dan Fe_2O_3 . Pada puncak difraksi 35.4° (200) planar, 42.2° (202) planar, 43.1° (024) planar, 47.3° (213) planar menunjukkan Al_2O_3 sesuai dengan JCPDS 12-0219 (Yulikasari et al., 2022). Kemudian Fe_2O_3 ditunjukkan pada puncak difraksi 27.6° (121) planar, 29.1° (112) planar, dan 45.7° (231) planar sesuai dengan *International Crystallographic Diffraction Data* (ICDD) no.

01-089-0597 (Ilmi et al., 2021). Untuk senyawa CaO, puncak difraksi ditunjukkan oleh 49.9° (143) planar (Lesbani et al., 2013). Puncak difraksi tersebut sesuai dengan JCPDS atau *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* no. 82-1691 (Singh et al., 2018).



Gambar 4. 4 Hasil pengujian XRD pada ZnO/SBE 450°C, ZnO/SBE 500°C, dan ZnO/SBE 550°C

Berikutnya pada Gambar 4.4 terdapat puncak difraksi dari ZnO, ZnO/SBE 450°C, ZnO/SBE 500°C, dan ZnO/SBE 550°C. Puncak difraksi dari ZnO ditunjukkan pada sudut 2θ yaitu 28.7° (130) planar, 30.9° (040) planar, 31.71° (200) planar, 34.3° (211) planar, 36.14° (200) planar, 47.34° (213) planar, 56.51° (310) planar, dan 62.67° (330) planar (Sari et al., 2017). Penentuan puncak difraksi dengan fasa yang terbentuk sudah sesuai dengan JCPDS card 36-1451. Kemudian puncak difraksi untuk SiO₂ ditunjukkan pada 16.8° (020) planar, 18.9° (110) planar, 20.5° (002) planar, 22.7° (022) planar, 26.5° (121) planar, dan 28.1° (112) planar (Yulikasari et al., 2022). Hal tersebut sesuai dengan *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* atau JCPDS 46-1045. Untuk senyawa Fe₂O₃ dapat diketahui dari puncak difraksi 33.6° (132) planar dan 69.1° (080) planar sesuai dengan *International Crystallographic Diffraction Data* (ICDD) no. 01-089-0597 (Ilmi et al., 2021). Setelah itu puncak difraksi 66.2° (145) planar dan 67.8° (262) planar menunjukkan senyawa CaO (Malau, 2021). Penentuan puncak difraksi dengan fasa yang terbentuk sudah sesuai dengan JCPDS no. 82-1691 (Singh et al., 2018).

Ketika puncak difraksi dari SBE, ZnO dan komposit yang terbentuk dapat diidentifikasi, ukuran kristal dapat dihitung dengan persamaan Scherrer untuk memberikan informasi mengenai bagaimana proses fotokatalisis dipengaruhi oleh ukuran kristal material yang digunakan.

Tabel 4. 3 Hasil perhitungan ukuran kristal

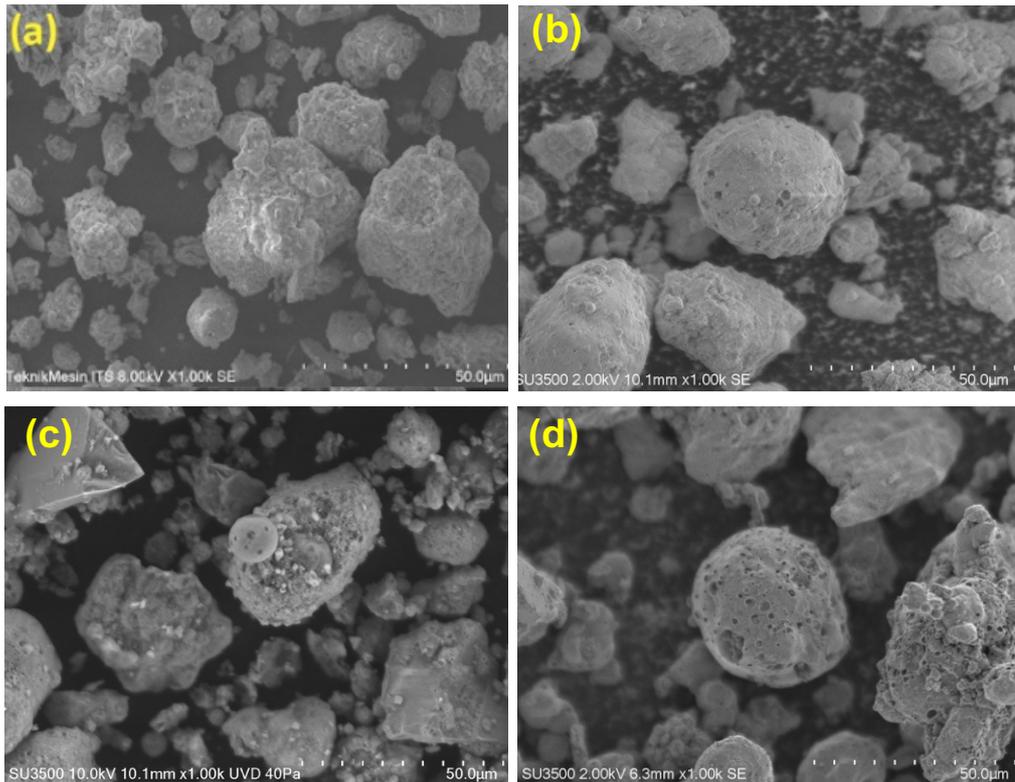
No	Sampel	2θ (°)	FWHM (rad)	Ukuran Kristal (nm)
1	SBE	26.6214	0.0669	12.2
2	SBE 450°C	26.4618	0.1171	7.0
3	SBE 500°C	26.4396	0.1506	5.4
4	SBE 550°C	26.4480	0.0836	9.8
5	ZnO	36.2141	0.1428	5.9
6	ZnO/SBE 450°C	36.0449	0.1338	5.8
7	ZnO/SBE 500°C	36.0696	0.1506	5.5
8	ZnO/SBE 550°C	36.1714	0.1506	5.6

Terdapat perubahan dari ukuran kristal setelah SBE dilakukan aktivasi dengan variasi temperatur 450°C, 500°C dan 550°C. Selain itu, hasil komposit dari ZnO dan SBE aktivasi menghasilkan ukuran kristal yang berbeda. Hasil perhitungan ukuran kristal dapat dilihat pada Tabel 4.3. Dapat dilihat dari tabel diatas bahwa terdapat kenaikan dan penurunan ukuran kristal dari material SBE sebelum dan sesudah proses aktivasi. Selain itu, ketika material SBE di aktivasi dengan variasi temperatur 450°C, 500°C dan 550°C dapat memperkecil ukuran kristal jika dibandingkan dengan ukuran kristal material SBE murni. Ukuran kristal material SBE murni diketahui sebesar 12.2 nm. Ketika diaktivasi dengan temperatur 450°C, 500°C dan 550°C, ukuran kristal berturut-turut menjadi 7.0 nm, 5.4 nm, dan 9.8 nm. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang sudah dilakukan oleh (Rissa & Priatmoko, 2012), (Amanda et al., 2022), dan (Rizqiyah et al., 2022). Penelitian tersebut menunjukkan pengaruh temperatur dari kalsinasi terhadap ukuran kristal. Semakin besar temperatur yang digunakan pada proses kalsinasi, dapat menyebabkan penurunan ukuran kristal.

Selain ukuran kristal pada material SBE, diamati juga ukuran kristal pada ZnO sebelum dan setelah dikompositkan dengan SBE hasil proses aktivasi. Ukuran kristal dari material ZnO sebelum dikompositkan didapatkan hasil sebesar 5.9 nm. Setelah dikompositkan dengan SBE teraktivasi temperatur 450°C, 500°C dan 550°C, hasil XRD menunjukkan ukuran kristal sebesar 5.8 nm, 5.5 nm dan 5.6 nm. Terdapat penurunan ukuran kristal yang berpengaruh pada luas permukaan (Pardede, 2018). Hal tersebut terjadi pada proses sintesis komposit ZnO/SBE aktivasi. Pada permukaan SBE teraktivasi, material tersebut mengurangi kemungkinan terjadinya tubrukan antar ZnO dan memperluas ukuran permukaan (Septiani et al., 2014).

4.3 Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

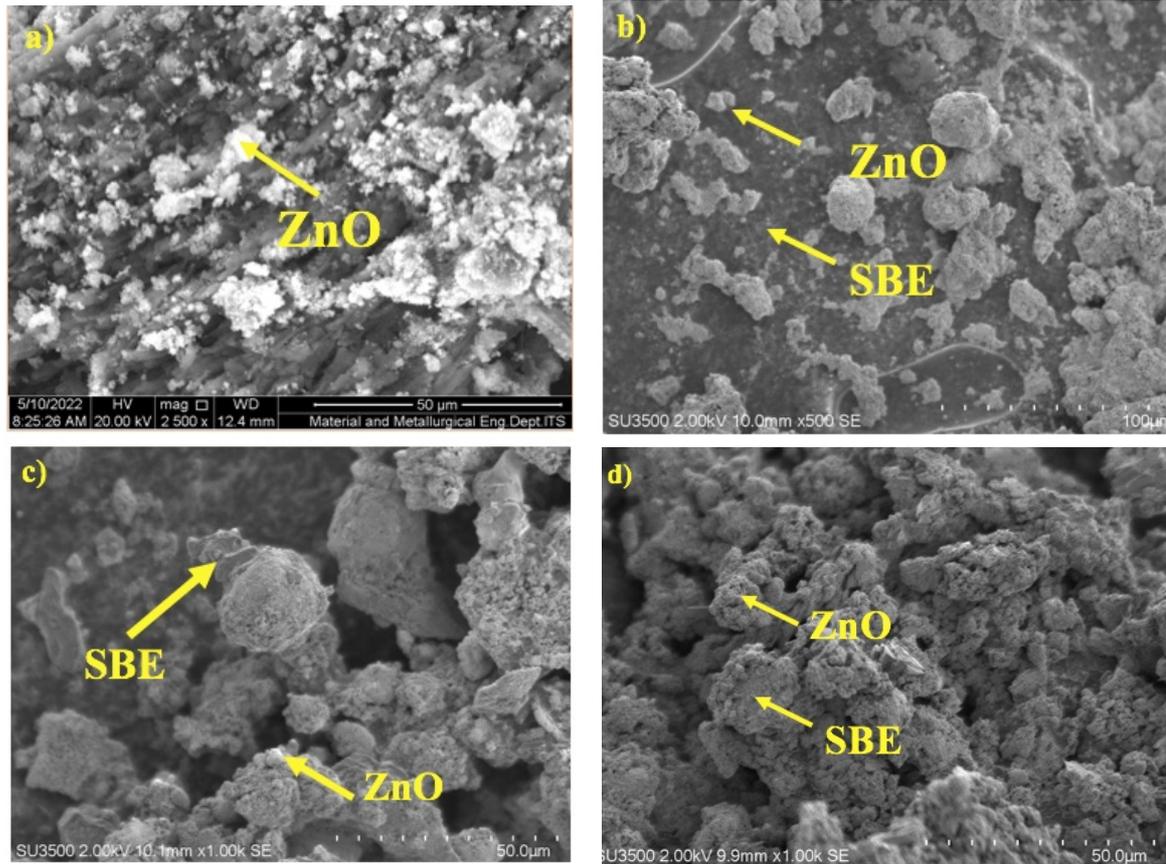
Bentuk partikel dan permukaan dari suatu material dapat diketahui dengan pengujian SEM. Sedangkan pengujian EDX dapat memberikan informasi mengenai kadar dari unsur suatu material. Pengujian SEM dilakukan di Laboratorium SEM Departemen Teknik Material dan Metalurgi dan Laboratorium Terpadu UPN Veteran Jawa Timur. Dilakukan pengujian SEM-EDX pada hasil aktivasi SBE dengan variasi temperatur 450°C, 500°C dan 550°C.



Gambar 4.5 Hasil pengujian SEM untuk perbesaran 1000x (a) SBE Murni, (b) SBE 450°C, (c) SBE 500°C, (d) SBE 550°C

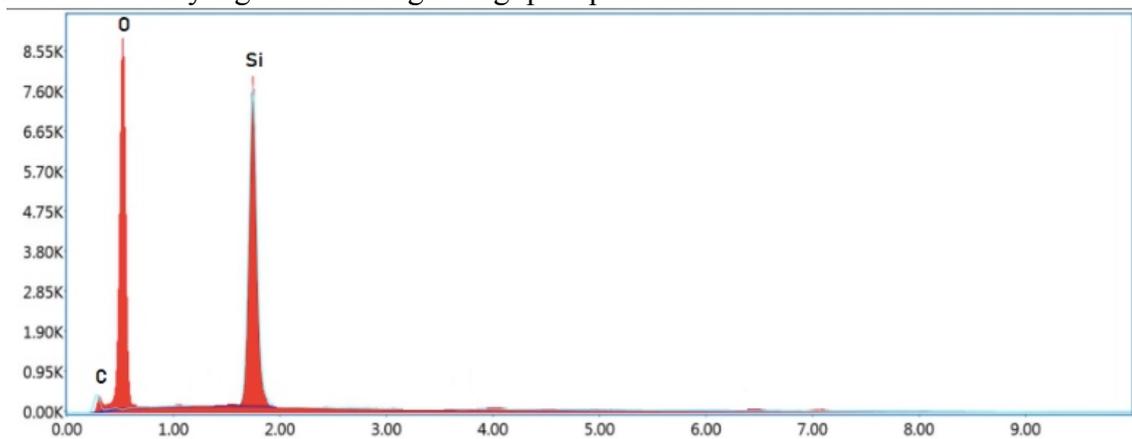
Gambar 4.5 (a) menunjukkan permukaan dari material SBE sebelum aktivasi. Dari gambar tersebut terlihat permukaan SBE yang memperlihatkan bentuk *montmorillonite* seperti tidak beraturan dan terdapat pori-pori yang kecil. Hal tersebut disebabkan oleh senyawa lain yang mengisi pori-pori seperti *impurities*. Selain itu, secara keseluruhan SBE murni terlihat berbentuk bulat atau *sphere*. Kemudian, dari gambar di atas juga terdapat *flakes* atau serpihan yang tersebar dengan tidak teratur. Morfologi SBE yang berbentuk seperti *montmorillonite* didukung oleh penelitian yang sudah dilakukan oleh (Yulikasari et al., 2022) dan (Rizqiyah et al., 2022).

Berdasarkan Gambar 4.5 (b) yang menunjukkan permukaan SBE teraktivasi temperatur 450°C (ASBE1) menandakan mulai terbentuknya pori-pori tambahan di permukaan SBE. Pori-pori baru yang dihasilkan merupakan hasil dari proses aktivasi sebelum pirolisis. Proses aktivasi tersebut memanfaatkan KOH yang bereaksi dengan karbon pada SBE. Hal ini digunakan untuk membuka pori-pori baru sebagai akibat dari retaknya bagian karbon. Hasil aktivasi SBE dengan temperatur 500°C (ASBE2) pada Gambar 4.5 (c) menunjukkan dihasilkannya pori-pori baru seiring dengan bertambahnya temperatur pirolisis. Hal tersebut sesuai dengan penelitian oleh (Rizqiyah et al., 2022) dan (Liu et al., 2021) dimana ketika SBE teraktivasi temperatur 500°C memberikan luas permukaan dan total volume pori yang besar. Kemudian pada Gambar 4.5 (d) terdapat morfologi material SBE teraktivasi pada temperatur 550°C dimana masih ada pori-pori yang terbentuk. Tetapi dari penelitian yang sudah dilakukan maupun oleh (Rizqiyah et al., 2022) dan (Liu et al., 2021), terdapat penurunan luas permukaan akibat dari kualitas pori yang terbentuk cenderung rusak.

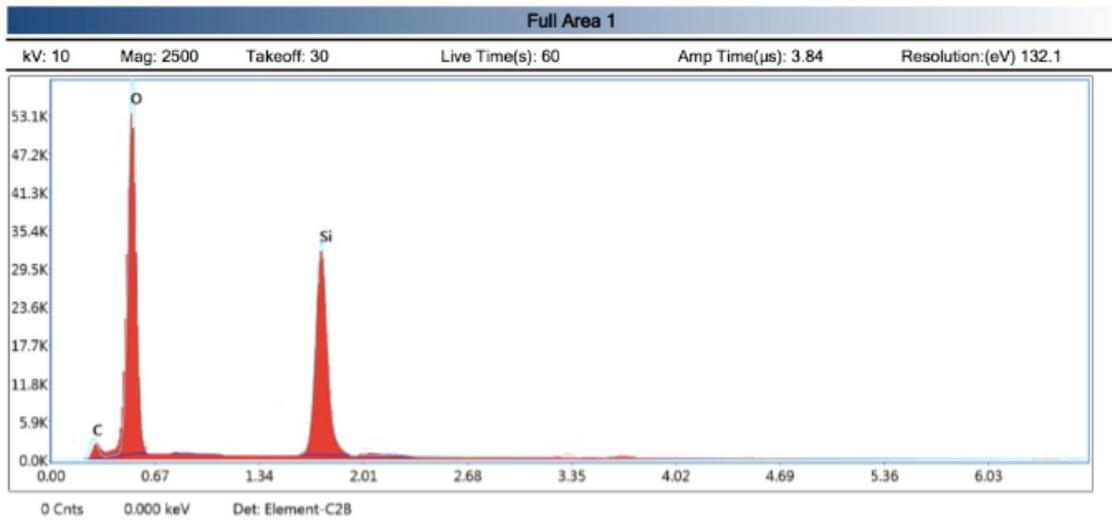


Gambar 4. 6 Hasil pengujian SEM untuk (a) ZnO, (b) ZnO/SBE 450°C, (c) ZnO/SBE 500°C, (d) ZnO/SBE 550°C

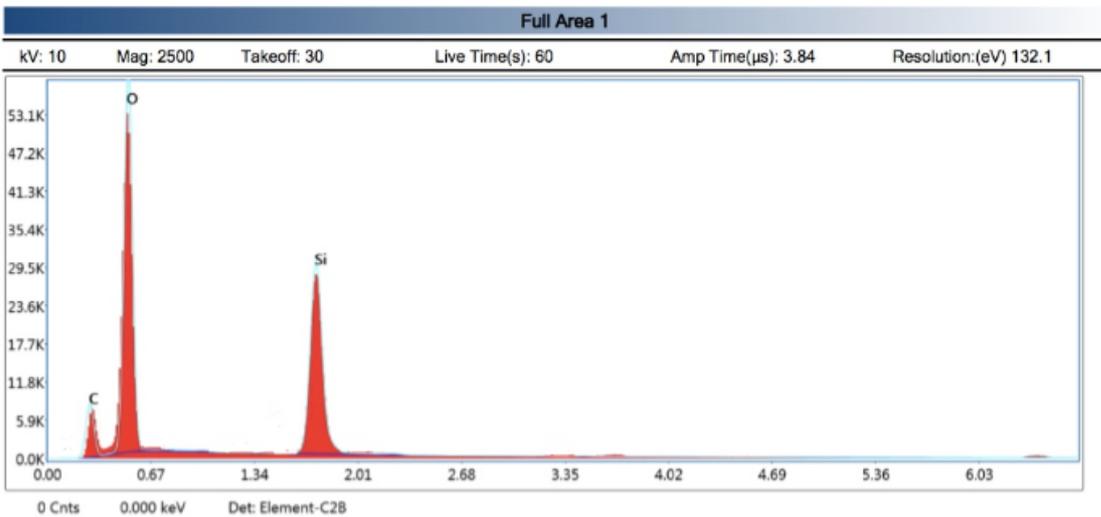
Pada Gambar 4.6 memperlihatkan bentuk dari ZnO, komposit ZnO/SBE 450°C, ZnO/SBE 500°C, dan ZnO/SBE 550°C. Terdapat bongkahan putih di permukaan pada Gambar 4.6 yang menunjukkan terbentuknya ZnO. Hal tersebut dijelaskan pada penelitian yang sudah dilakukan oleh (Afrilia et al., 2019) dan (Rizqiyah et al., 2022). Kemudian pada Gambar 4.6 menunjukkan permukaan komposit ZnO/SBE teraktivasi. Terdapat bongkahan putih dari ZnO pada permukaan SBE yang sedikit menghalangi pori-pori SBE.



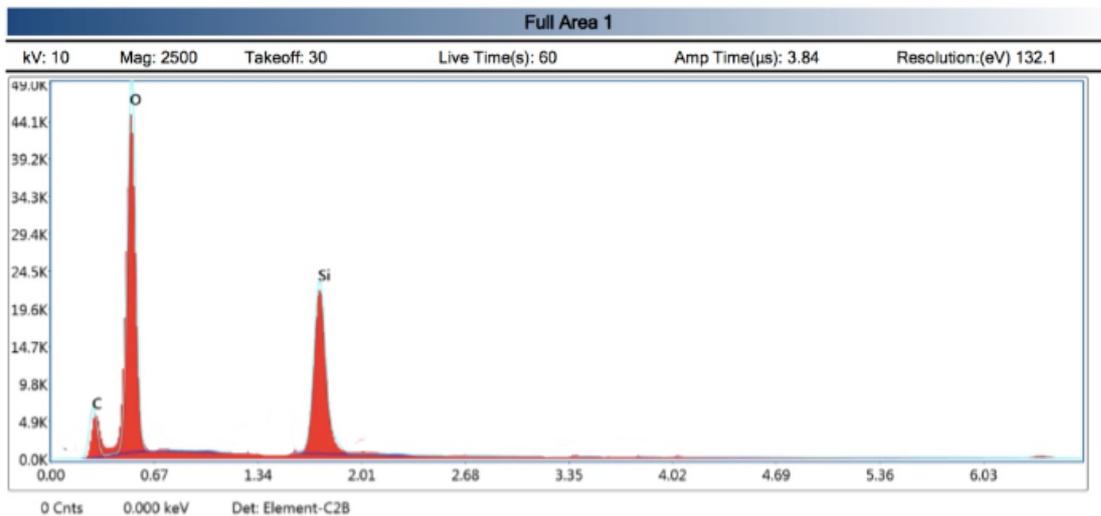
Gambar 4. 7 Hasil pengujian EDX SBE sebelum diaktivasi



Gambar 4. 8 Hasil pengujian EDX SBE 450°C



Gambar 4. 9 Hasil pengujian EDX SBE 500°C



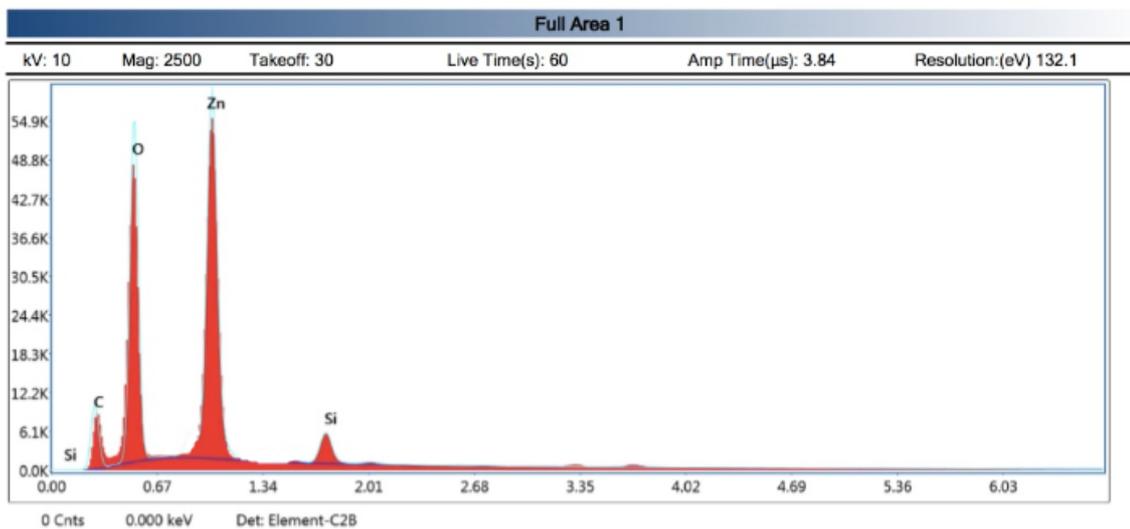
Gambar 4. 10 Hasil pengujian EDX SBE 550°C

Tabel 4. 4 Komposisi penyusun SBE Murni, SBE 450°, SBE 500°, dan SBE 550°

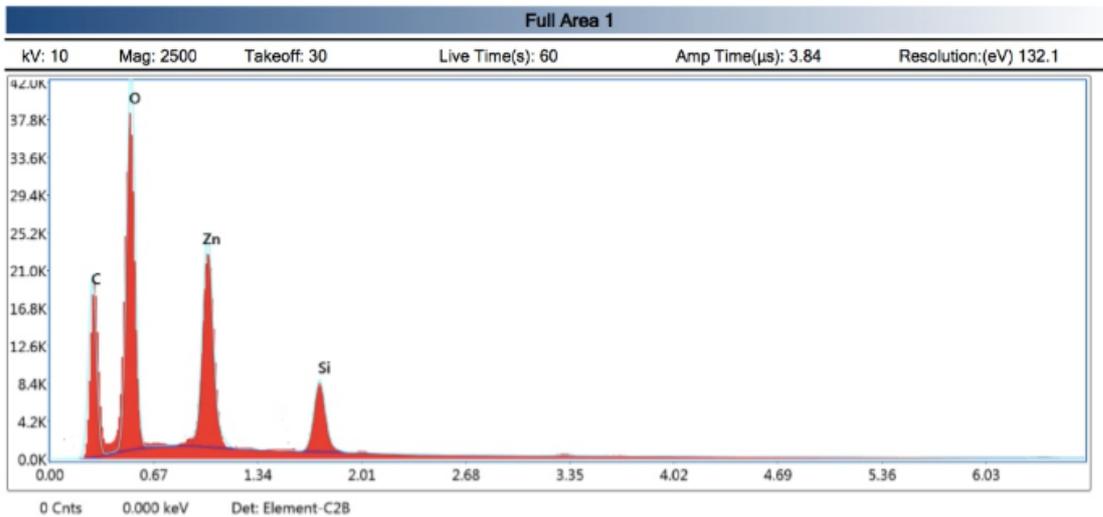
Element	Wt%			
	SBE Murni	SBE 450°C (ASBE1)	SBE 500°C (ASBE2)	SBE 550°C (ASBE3)
<i>SiK</i>	38.54	29.21	37.53	30.48
<i>OK</i>	49.03	54.73	54.5	53
<i>CK</i>	7.97	12.43	16.51	16.06

Gambar 4.7 Menunjukkan hasil EDX SBE untuk mengetahui kadar dan komposisi penyusun SBE Murni. Kemudian dari Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa komponen penyusun SBE adalah Si (Silikon) sebesar 38.54%, O (Oksigen) sebesar 49.03% dan C (Karbon sebesar 12.43%). Setelah itu, pada Gambar 4.8 Sampai dengan Gambar 4.10 Menunjukkan kurva EDX untuk sampel diantara SBE 450°C (ASBE1), 500°C (ASBE2), dan 550°C (ASBE3). Berdasarkan Tabel 4.4 dapat diketahui bahwa komposisi tertinggi dari setiap sampel ASBE1, ASBE2, dan ASBE3 merupakan oksigen dengan kadar masing-masing sebesar 54.73%, 54.5% dan 53%. Selain itu terdapat kenaikan kadar karbon seiring dengan kenaikan temperatur dari proses aktivasi temperatur 450°C menuju temperatur 500°C yaitu dari 12.43% menjad 16.52%. Hal tersebut juga menunjukkan bahwa kadar karbon SBE teraktivasi 500°C memiliki kadar karbon terbanyak diantara SBE murni serta SBE teraktivasi temperatur 450°C dan 550°C (Maulana et al., 2017).

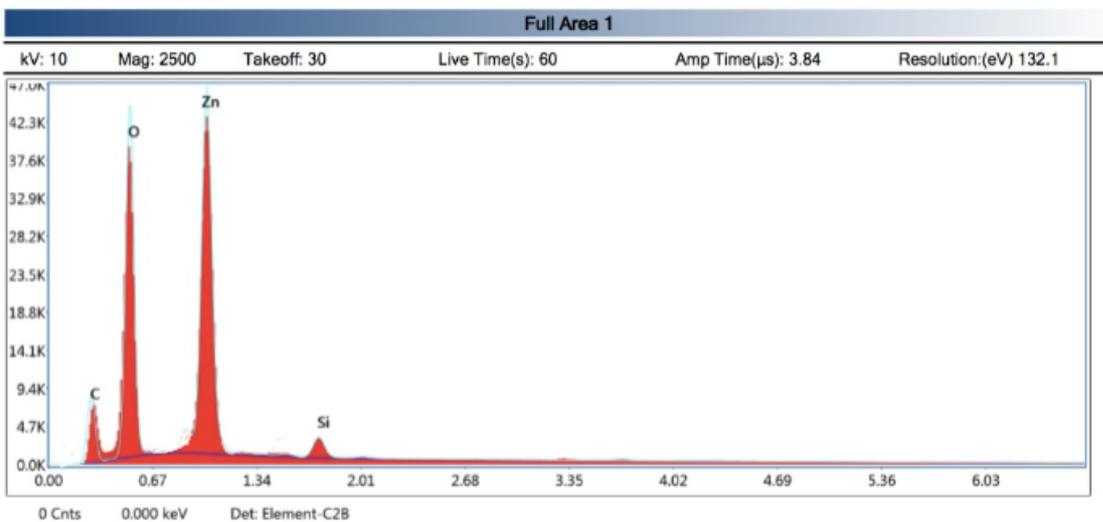
Berikutnya merupakan Gambar 4.11 sampai dengan Gambar 4.13 yang menunjukkan kurva pengujian EDX untuk ZnO, komposit ZnO/SBE 450°C (KSBE1), ZnO/SBE 500°C (KSBE2), dan ZnO/SBE 550°C (KSBE3).



Gambar 4. 11 Hasil pengujian EDX ZnO/SBE 450°



Gambar 4. 12 Hasil pengujian EDX ZnO/SBE 500°C



Gambar 4. 13 Hasil pengujian EDX ZnO/SBE 500°C

Dibawah ini merupakan komposisi unsur penyusun dari ZnO dan komposit ZnO/SBE teraktivasi.

Tabel 4. 5 Komposisi penyusun ZnO, ZnO/SBE 450°C, ZnO/SBE 500°C, ZnO/SBE 550°C

Element	Wt%			
	ZnO	ZnO/SBE 450°C	ZnO/SBE 500°C	ZnO/SBE 550°C
<i>ZnK</i>	63.96	43.3	59.06	49.06
<i>OK</i>	36.04	30.58	36.58	31.55
<i>CK</i>	-	12.23	26.68	20.80
<i>SiK</i>	-	7.89	3.68	6.69

Dapat dilihat bahwa komposit ZnO/SBE terdiri dari Zn (Seng), O (Oksigen), C (Karbon), dan Si (Silikon), Unsur penyusun komposit ZnO/SBE yang memiliki jumlah terbanyak adalah Zn berturut-turut dari KSBE1, KSBE2, dan KSBE3 adalah sebesar 43.4%, 59.06% dan 49.06%. Selain itu pada komposit ZnO/SBE teraktivasi juga memiliki peningkatan kadar C seperti SBE

teraktivasi di tabel 4. dimana kadar C yang terkandung pada komposit ZnO/SBE 500°C paling tinggi yaitu 26.68%.

4.4 Hasil Pengujian (BET)

Pengujian BET (*Brunaur, Emmet dan Teller*) dilakukan di Laboratorium Terpadu UII Yogyakarta. Luas permukaan, volume pori dan diameter pori dari suatu material dapat diketahui dengan pengujian BET. Selain itu, pengujian ini dilakukan untuk mengamati pengaruh proses aktivasi dengan metode pirolisis pada material SBE. Material SBE yang diuji meliputi SBE murni sebelum aktivasi serta SBE teraktivasi temperatur 450°C (ASBE1), 500°C (ASBE2), dan 550°C (ASBE3). Padal Tabel 4.6 menyertakan hasil pengujian BET pada sampel yang sudah dilakukan.

Tabel 4. 6 Hasil pengujian BET SBE, SBE 450°C, SBE 500°C, dan SBE 550°C

Sampel	Luas Permukaan (m ² /g)	Total Volume Pori (cm ³ /g)	Rata-rata Diameter Pori (nm)
SBE	11.217	0.038	13.819
SBE 450°C	20.313	0.051	5.048
SBE 500°C	106.851	0.119	2.237
SBE 550°C	74.600	0.098	2.636

Dari Tabel 4.6 SBE murni memiliki volume pori paling kecil diantara SBE 450°C (ASBE1), 500°C (ASBE2), dan 550°C (ASBE3) sebesar 0.038 cm³/g. Diikuti dengan volume pori SBE teraktivasi temperatur 450°C, 500°C, dan 550°C yaitu 0.051 cm³/g, 0.119 cm³/g, dan 0.98 cm³/g. Terdapat peningkatan volume pori SBE sebelum dan sesudah aktivasi. Setelah aktivasi dengan temperatur 450°C dan 500°C, volume pori mengalami kenaikan menjadi 0.051 cm³/g. Tetapi volume pori mengalami penurunan menjadi 0.098 cm³/g ketika temperatur aktivasi yang digunakan meningkat menjadi temperatur 550°C. Hal tersebut didukung oleh luas permukaan dari material SBE (MSBE), SBE 450°C (ASBE1), 500°C (ASBE2), dan 550°C (ASBE3). Luas permukaan SBE mengalami kenaikan dari 11.217 m²/g menjadi 20.313 ketika diaktivasi dengan temperatur 450°C. Kemudian ketika temperatur pirolisis diperbesar menjadi 500°C, didapatkan luas permukaan yang lebih besar yaitu 106.851 m²/g. Sedangkan ketika temperatur pirolisis yang digunakan adalah 550°C, luas permukaan material tersebut mengalami penurunan menjadi 74.6 m²/g. Sesuai dengan penelitian oleh (Wafti et al., 2011) dengan SBE teraktivasi temperatur 400°C, 500°C, dan 800°C dengan luas permukaan sebesar 186 m²/g, 206 m²/g, dan 72 m²/g. Berdasarkan penelitian oleh (Wafti et al., 2011) terlihat penurunan luas permukaan ketika temperatur aktivasi diperbesar menjadi 800°C menjadi 72 m²/g. Demikian pula pada penelitian yang dilakukan Liu et al (2020) dimana terdapat penurunan luas permukaan dan volume pori. Penelitian tersebut menggunakan temperatur aktivasi SBE sebesar 400°C, 500°C, dan 600°C dan didapatkan luas permukaan sebesar 88.7 m²/g, 158.7 m²/g, dan 124.5 m²/g (Liu et al., 2021).

Berdasarkan hasil aktivasi SBE pada temperatur diatas 500°C, terdapat penurunan luas permukaan dan berkurangnya volume pori. Hal tersebut diakibatkan oleh kerusakan pori karena temperatur aktivasi yang terlalu tinggi (Alhamidi et al., 2019). Sedangkan, kenaikan luas permukaan SBE setelah aktivasi pada temperatur 450°C dan 500°C disebabkan oleh zat organik yang terdekomposisi serta banyaknya zat terbang yang terbang (Liu et al., 2021). Selain itu, menurut penelitian (Maulana et al., 2017) semakin banyak karbon yang terbentuk, maka semakin besar volume pori dan luas permukaannya. Kemudian, perendaman dengan KOH sebelum proses aktivasi, membantu meningkatkan luas permukaan dan kapasitas SBE untuk

adsorpsi (Liu et al., 2021). Adapun karbon yang terkandung pada SBE bereaksi dengan KOH (Alhamidi et al., 2019).

4.5 Hasil Pengujian *Volatile Matter*

Kandungan zat terbang pada suatu material dapat diketahui dengan melakukan pengujian *volatile matter*. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Energi dan LPPM Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Berikut merupakan persentase hasil pengujian zat terbang pada sampel SBE teraktivasi temperatur 450°C, 500°C, dan 550°C :

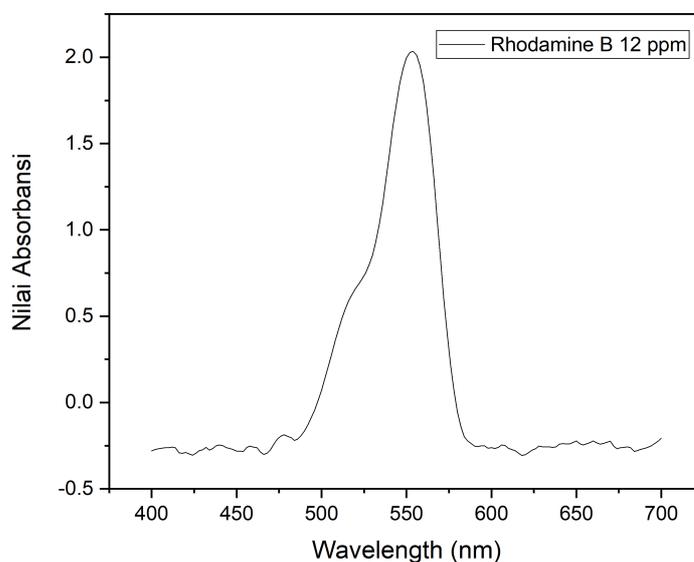
Tabel 4. 7 Persentase zat terbang SBE 450°, SBE 500°, dan SBE 550°

No	Sampel	Zat Terbang (%)
1	SBE 450°C	6.14
2	SBE 500°C	3.54
3	SBE 550°C	4.02

Dari Tabel 4.7 menunjukkan persentase *volatile matter* atau zat terbang untuk SBE teraktivasi temperatur 450°C (ASBE1) sebesar 6.14 %. Kemudian sampel ASBE2 atau SBE teraktivasi temperatur 500°C memiliki persentase *volatile matter* sebesar 3.54%. Setelah itu terdapat 4.02% *volatile matter* pada sampel SBE teraktivasi temperatur 550°C (ASBE1). Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Kusdarini et al., 2017), jika suhu yang digunakan pada proses aktivasi semakin besar, maka persentase zat terbang akan menurun. Hal tersebut disebabkan oleh kurangnya penguraian senyawa non karbon ketika proses aktivasi serta banyak zat terbang yang terlepas . Semakin banyak pori-pori yang terbentuk akibat zat terbang yang terlepas, maka luas permukaan material akan berkurang. Berdasarkan hasil pengujian BET pada Tabel 4.7 , sampel SBE 500°C memiliki luas permukaan yang paling besar diantara sampel SBE 450°C dan SBE 550°C. Sesuai dengan persentase zat terbang pada Tabel 4.7 , sampel SBE 500°C paling rendah diantara sampel SBE 450°C dan SBE 550°C. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Maulana et al., 2017).

4.6 Hasil Pengujian UV-Vis

Pengujian spektrofotometri UV-Vis dilakukan oleh interaksi antara sinar yang diatur pada panjang gelombang tertentu melalui materi berupa molekul atau atom. Panjang gelombang yang diukur pada penelitian ini meliputi sampel *Rhodamine B* sebelum dan setelah dilakukan proses fotokatalisis.



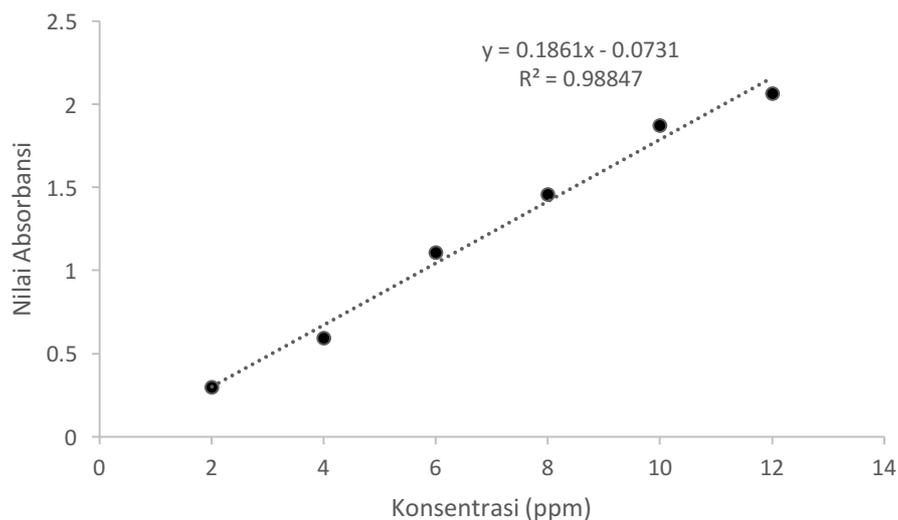
Gambar 4. 14 Hasil pengujian UV-Vis *Rhodamine B*

Grafik pada Gambar 4.14 menghasilkan panjang gelombang maksimum *Rhodamine B* hasil pengujian UV-Vis dengan variasi konsentrasi 12 ppm. Larutan *Rhodamine B* 12 ppm disinari dengan sinar UV-Vis dalam panjang gelombang 200-700 nm. Setelah itu didapatkan panjang gelombang maksimum dan nilai absorbansi larutan *Rhodamine B* 12 ppm. Panjang gelombang maksimum dan nilai absorbansi yang menjadi acuan perhitungan adalah 554 nm dan 2.062.

Tabel 4. 8 Nilai absorbansi *Rhodamine B* pada setiap variasi konsentrasi

No	Konsentrasi (ppm)	Nilai Absorbansi
1	2	0.295
2	4	0.591
3	6	1.104
4	8	1.454
5	10	1.872
6	12	2.062

Disamping itu, *Rhodamine B* dengan variasi konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 ppm menunjukkan nilai absorbansi berturut-turut 0.295, 0.591, 1.104, 1.454, dan 1.872. Dibawah ini merupakan grafik persamaan regresi linear dari hasil pengujian nilai absorbansi yang sudah dilakukan.



Gambar 4. 15 Kurva regresi linier

Persamaan regresi linear yang dihasilkan yaitu $y = 0.1861x - 0.0731$, dimana diketahui juga hasil R^2 atau koefisien korelasinya sebesar 0.98847. Nilai y menunjukkan absorbansi dari larutan sedangkan nilai x memberikan besaran konsentrasi larutan dalam ppm. Sesuai dengan persamaan dari Hukum *Lambert-Beer* jika didapatkan nilai R^2 mendekati 1, maka terdapat hubungan yang linear antara konsentrasi dan absorbansi larutan.

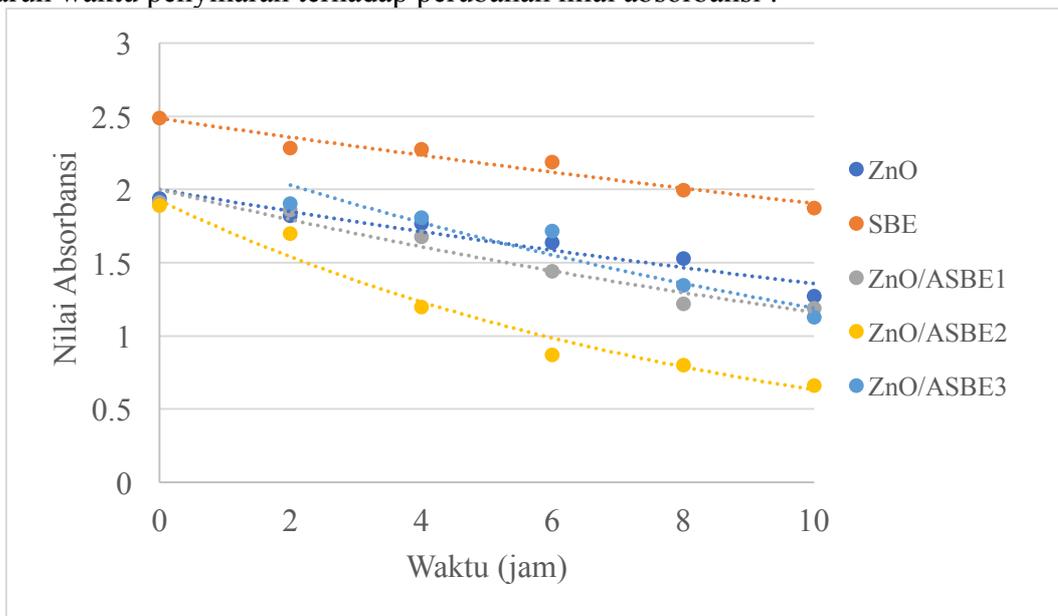
4.7 Hasil Pengujian Fotokatalitik

Pengujian fotokatalisis pada larutan *Rhodamine B* digunakan untuk melihat pengaruh dari katalis komposit material ZnO dengan SBE (*Spent Bleaching Earth*) yang sudah diaktivasi menggunakan metode pirolisis. Temperatur pirolisis yang digunakan adalah 450°C, 500°C, dan 550°C. Di bawah ini merupakan tabel hasil pengujian fotokatalisis dari rentang waktu 0, 2, 4, 6, 8, dan 10 jam.

Tabel 4. 9 Nilai absorbansi setelah degradasi larutan *Rhodamine b* dengan sampel ZnO, SBE, ZnO/SBE 450°C, ZnO/SBE 500°C, dan ZnO/SBE 550°C

No	Waktu Penyinaran (Jam)	Nilai Absorbansi setiap Sampel				
		ZnO	SBE	ZnO/SBE 450°C	ZnO/SBE 500°C	ZnO/SBE 550°C
1	0	1.941	2.491	1.913	1.891	1.904
2	2	1.823	2.286	1.864	1.703	1.811
3	4	1.772	2.276	1.679	1.199	1.718
4	6	1.642	2.189	1.446	0.872	1.350
5	8	1.529	1.997	1.222	0.805	1.132
6	10	1.273	1.875	1.189	0.664	1.058

Dari Tabel 4.9 dapat diketahui bahwa terdapat kenaikan maupun penurunan nilai absorbansi untuk sampel ZnO, SBE, ZnO/SBE 450°C (ASBE1), ZnO/SBE 500°C (ASBE2), dan ZnO/SBE 550°C (ASBE3). Perbedaan nilai absorbansi pada setiap sampel pengujian terjadi dengan bertambahnya variasi waktu penyinaran. Berikut merupakan diagram yang menunjukkan pengaruh waktu penyinaran terhadap perubahan nilai absorbansi :



Gambar 4. 16 Grafik *Trendline* Nilai Absorbansi Sampel ZnO, SBE, ZnO/SBE 450°C, ZnO/SBE 500°C, dan ZnO/SBE 550°C

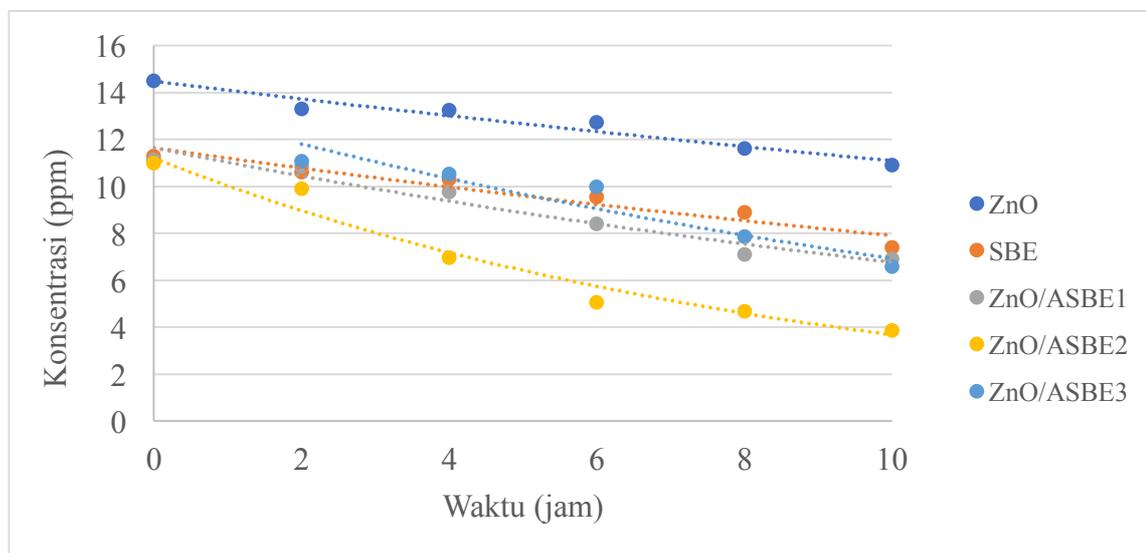
Pada Gambar 4.16 Menunjukkan diagram hasil pengujian yang ditunjukkan oleh Tabel 4.9 Dari gambar tersebut terlihat penurunan nilai absorbansi untuk material ZnO. Nilai absorbansi dari larutan *Rhodamine B* 12 ppm yang ditunjukkan pada Tabel 4.8 yaitu 2.062. Ketika diberi material ZnO sebanyak 0.5 gram, dalam waktu penyinaran 0 jam terdapat penurunan nilai absorbansi menjadi 1.941. Kemudian dilanjutkan variasi waktu penyinaran selama 2, 4, 6, 8, dan 10 jam. Setelah itu, berturut-turut didapatkan hasil nilai absorbansi sebesar 1.823, 1.772, 1.642, 1.529, dan 1.273. Dengan penambahan waktu penyinaran, nilai absorbansi larutan *Rhodamine B* yang ditambahkan katalis ZnO mengalami penurunan sampai waktu penyinaran 10 jam.

Larutan *Rhodamine B* yang diberikan sampel SBE memperlihatkan kenaikan nilai absorbansi pada waktu penyinaran 0 jam, yaitu sebesar 2.491. Dimana larutan *Rhodamine B* 12

ppm sebelum dilakukan proses fotokatalisis memiliki nilai absorbansi yang lebih kecil yaitu 2.062. Selanjutnya, terdapat penurunan nilai absorbansi menjadi 2.286, 2.276, 2.189, 1.997, dan 1.875 dengan variasi waktu penyinaran sebesar 2, 4, 6, 8, 10 jam. Tetapi, ketika larutan *Rhodamine B* 12 ppm diberikan komposit ZnO/SBE 450°C terlihat penurunan nilai absorbansi yang lebih besar dibandingkan katalis ZnO dan sampel SBE. Dapat terlihat dari Tabel 4.9 Dan Gambar 4. Saat waktu penyinaran 0 jam, nilai absorbansi pada sampel ZnO/SBE 450°C menjadi 1.913. Diikuti dengan penurunan untuk variasi waktu 2,4,6,8, dan 10 jam dimana nilai absorbansi menjadi 1.864, 1.679, 1.446, 1.222, dan 1.189.

Berikutnya dapat diketahui hasil nilai absorbansi dengan pemberian komposit ZnO/SBE 500°C untuk degradasi. Terlihat penurunan nilai absorbansi seiring dengan perubahan durasi penyinaran yang semakin lama. Untuk penyinaran dengan variasi waktu 0, 2, 4, 6, 8, dan 10, terdapat perubahan pada nilai absorbansi larutan *Rhodamine B* menjadi 1.891, 1.703, 1.199, 0.872, 0.805, dan 0.664. Kemudian, dengan pemberian komposit ZnO/SBE 550°C, nilai absorbansi larutan *Rhodamine B* juga mengalami penurunan dengan nilai absorbansi sebesar 1.904, 1.811, 1.718, 1.350, 1.132, dan 1.058.

Terlihat hasil tren pengujian dimana nilai absorbansi SBE yang tidak stabil dan cenderung lebih besar dibandingkan larutan *Rhodamine B* murni. Hal tersebut disebabkan oleh kemampuan SBE murni yang kurang baik untuk menjadi material adsorben. Dapat diketahui dari luas permukaannya pada Tabel 4.9 yang lebih kecil dibandingkan dengan luas permukaan SBE ketika diaktivasi (Rizqiyah et al., 2022). Selain itu, data kenaikan maupun penurunan nilai absorbansi didukung dengan Gambar 4.17 diagram pengaruh waktu penyinaran pada fotokatalisis dengan konsentrasi larutan *Rhodamine B* dan Gambar 4.18 yang menunjukkan presentase efisiensi degradasi setiap sampel.

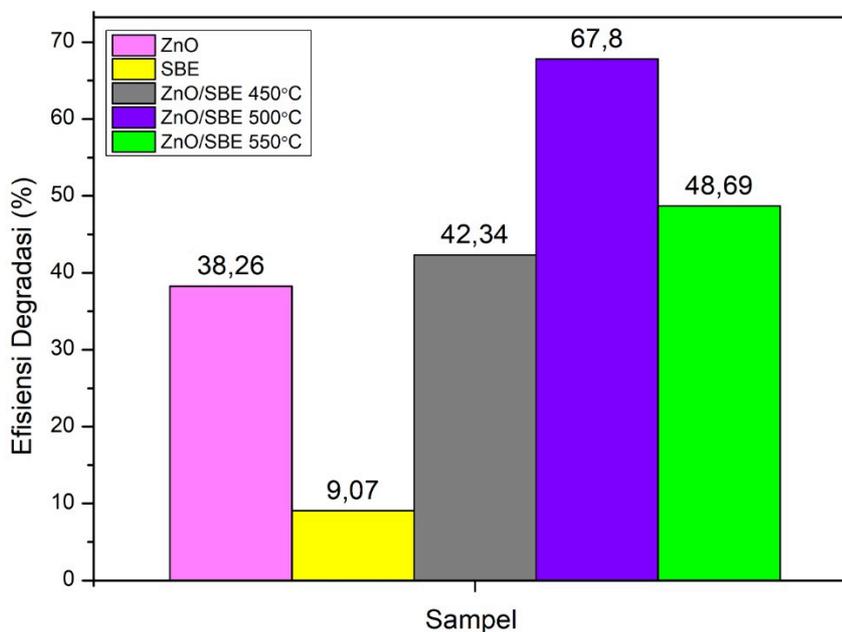


Gambar 4. 17 Grafik *Trendline* hubungan antara perubahan konsentrasi dengan waktu penyinaran pada fotokatalitik.

Pada Gambar 4.17 memperlihatkan perbedaan konsentrasi yang dihasilkan selama penambahan variasi waktu penyinaran dari 0, 2, 4, 6, 8, dan 10 jam. Pada sampel ZnO, terdapat penurunan konsentrasi sebesar 11.3 ppm dengan waktu penyinaran selama 0 jam. Setelah itu, konsentrasi juga mengalami penurunan kembali menjadi 10.61 ppm, 10.31 ppm, 9.56 ppm, 8.9 ppm, dan 7.41 ppm untuk variasi waktu penyinaran berturut-turut selama 2, 4, 6, 8, dan 10 jam. Sampel SBE murni, dengan waktu penyinaran 0 jam terdapat kenaikan konsentrasi menjadi 14.50. Kemudian pada lama waktu penyinaran selama 2, 4, 6, 8, 10 jam terdapat penurunan kembali konsentrasi *Rhodamine B* menjadi 13.30 ppm, 13.25 ppm, 12.74 ppm, 11.62 ppm, dan

10.91 ppm. Kenaikan konsentrasi SBE pada waktu penyinaran 0 jam disebabkan karena reaksi fotokatalisis yang belum optimal karena dilakukan tanpa penyinaran dan kemampuan SBE murni sebagai adsorben yang kurang baik (Yulikasari et al., 2022).

Sedangkan pada sampel komposit ZnO/SBE 450°C, ZnO/SBE 500°C, dan ZnO/SBE 550°C, konsentrasi *Rhodamine B* mengalami penurunan. Untuk komposit ZnO/SBE 450°C mengalami penurunan konsentrasi pada waktu penyinaran 0 jam menjadi 11.13 ppm. Kemudian pada waktu penyinaran selama 2, 4, 6, 8, dan 10 jam, konsentrasi menurun dengan jumlah 10.85 ppm, 9.77 ppm, 8.42 ppm, 7.11 ppm, dan 6.92 ppm. Kemudian untuk komposit ZnO/SBE 500°C dapat dilihat penurunan konsentrasinya dari waktu penyinaran 0, 2, 4, 6, 8 dan 10 jam berturut-turut menjadi 11 ppm, 9.91 ppm, 6.98 ppm, 5.07 ppm, 4.68 ppm dan 3.86 ppm. Untuk sampel dengan komposit ZnO/SBE 550°C, juga mengalami perubahan konsentrasi yang menurun seiring dengan bertambahnya waktu penyinaran. Pada waktu penyinaran 0 jam, konsentrasi menurun menjadi 11.08 ppm. Dilanjutkan dengan penurunan pada variasi waktu 2, 4, 6, 8, dan 10 jam, dimana konsentrasi *Rhodamine B* menjadi 11.08, 10.54, 10, 7.86, 6.59, dan 6.16 ppm.



Gambar 4. 18 Diagram batang perbandingan persentase efisiensi degradasi sampel ZnO, SBE, ZnO/SBE 450°C, ZnO/SBE 500°C, dan ZnO/SBE 550°C setelah 10 jam waktu penyinaran

Pada Gambar 4.18 menunjukkan diagram batang perbandingan persentase efisiensi degradasi dengan sampel ZnO, SBE, ZnO/SBE 450°C, ZnO/SBE 500°C, dan ZnO/SBE 550°C. Untuk sampel ZnO didapatkan persentase degradasi sebesar 38.26%. Sedangkan untuk sampel SBE murni hanya memiliki efisiensi degradasi sebesar 9.07%. Hal tersebut menunjukkan bahwa efisiensi degradasi dari SBE lebih rendah dibandingkan dengan ZnO. Kemudian, dengan komposit ZnO/SBE 450°C memiliki efisiensi degradasi sebesar 42.34%. SBE yang digunakan pada komposit tersebut sudah diaktivasi terlebih dahulu dengan metode pirolisis. Setelah itu, komposit ZnO/SBE 500°C memiliki efisiensi degradasi sebesar 67.8%. Dilanjutkan dengan sampel ZnO/SBE 550°C yang menghasilkan efisiensi degradasi sebesar 48.69%. Dari Gambar 4.18 diketahui bahwa komposit ZnO/SBE 500°C memiliki efisiensi degradasi paling besar dibandingkan dengan sampel ZnO, SBE, ZnO/SBE 450°C, dan ZnO/SBE 550°C.

Peningkatan efisiensi degradasi pada komposit ZnO/SBE 500°C, terjadi karena SBE teraktivasi SBE 500°C memiliki luas permukaan lebih besar dibandingkan SBE teraktivasi 450°C dan 550°C. Dengan luas permukaan yang besar, maka jumlah pori-pori yang terbentuk semakin banyak. Hal tersebut didukung dengan data persentase zat terbang pada Tabel 4.7 dimana ZnO/SBE 500°C memiliki kadar zat terbang yang tinggi (Kusdarini et al., 2017). Selain itu pori-pori pada SBE dapat meningkatkan efisiensi ZnO sebagai katalis karena partikelnya dapat tersebar tanpa terjadi tumbukan antar sesama ZnO. Sehingga katalis ZnO pada komposit ZnO/SBE teraktivasi dapat menghasilkan efisiensi degradasi yang lebih baik (Rizqiyah et al., 2022).

Faktor yang menentukan efisiensi degradasi dari proses fotokatalisis ini salah satunya adalah sumber energi berupa cahaya yang diberikan pada larutan *Rhodamine B* ketika diberikan sampel meliputi ZnO, SBE, ZnO/SBE 450°C, ZnO/SBE 500°C, dan ZnO/SBE 550°C. Larutan *Rhodamine B* yang sudah diberikan sampel, disinari dengan cahaya tampak yang sesuai dengan panjang gelombang larutan. ZnO, SBE, dan komposit ZnO/SBE teraktivasi akan menyerap cahaya tersebut. Hal itu dilakukan agar elektron dapat tereksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi dan membentuk *hole*. Radikal $O_2^{\cdot -}$ akan terbentuk dari hasil reaksi antara O_2 dengan elektron dari pita konduksi. Selanjutnya *hole* akan bereaksi dengan elektron yang berasal dari OH⁻ untuk membentuk radikal bebas OH^{*}. Larutan *Rhodamine B* akan bereaksi dengan radikal bebas yang sudah terbentuk untuk menghasilkan senyawa *intermediate* yang akan melanjutkan reaksi untuk menghilangkan zat berbahaya pada *Rhodamine B*.

4.8 Hasil GC-MS

Pengujian *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GC-MS) dapat menunjukkan senyawa organik hasil dari proses degradasi *Rhodamine B* yang menggunakan komposit ZnO/SBE. Preparasi yang digunakan pada pengujian GC-MS ini yaitu larutan *Rhodamine B* yang sudah terdegradasi dilarutkan dengan ethanol dan methanol lalu berikutnya dapat dilakukan pengujian. Berikut adalah tabel hasil pengujian GC-MS untuk larutan *Rhodamine B* yang sudah didegradasi.

Tabel 4. 10 Hasil pengujian GC-MS setelah proses degradasi pada larutan *Rhodamine B*

No	Nama	Rumus Kimia	Kandungan
1.	<i>9,12-Octadecadienoic acid</i>	$C_{18}H_{32}O_2$	9.72
2.	<i>Methyl Octadecanoate</i>	$C_{19}H_{38}O_2$	23.292
3.	<i>8-Octadecenoic acid, methyl ester</i>	$C_{19}H_{36}O_2$	23.068
4.	<i>Octadecadienoic acid, methyl ester</i>	$C_{19}H_{34}O_2$	23.019
5.	<i>Hexadecanoic acid, methyl ester</i>	$C_{17}H_{34}O_2$	7.84
6.	<i>Methylbenzene</i>	C_7H_8	4.14

Pada Tabel 4.10 menunjukkan senyawa yang terdeteksi oleh GC-MS pada larutan *Rhodamine B* hasil proses degradasi. Senyawa *8-Octadecenoic acid, methyl ester*; *Octadecadienoic acid, methyl ester*; *Hexadecanoic acid, methyl ester* merupakan sisa dari pendegradasi. Dari tabel 4.10 diketahui tidak terdapat unsur Cl⁻ yang berbahaya. Hal tersebut disebabkan oleh proses fotokatalisis dan juga preparasi sampel ketika dilakukan pengujian. Ketika proses fotokatalisis, terjadi penguapan akibat panas saat penyinaran. Dapat diketahui pula, unsur Cl⁻ telah terdegradasi oleh komposit ZnO/SBE teraktivasi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Penelitian ini berhasil melakukan aktivasi pada material SBE dan sintesis material komposit ZnO/SBE teraktivasi ditunjukkan dengan hasil XRD dengan munculnya puncak $2\theta = 26.5$ untuk SBE dan 36.14 untuk ZnO. Pada hasil FTIR diketahui gugus fungsi untuk Si, Zn, dan O. Kemudian pada hasil SEM dapat dilihat pori-pori pada permukaan SBE tertutupi oleh bongkaha putih ZnO. Setelah itu, untuk hasil BET didapatkan luas permukaan dan volume pori terbaik yang didapatkan yaitu pada temperatur 500°C dengan luas permukaan dan volume pori sebesar $106.851 \text{ m}^2/\text{g}$ dan $0.119 \text{ cm}^3/\text{g}$.
2. Komposit ZnO/SBE 450°C , ZnO/SBE 500°C , ZnO/SBE 550°C dapat mendegradasi *Rhodamine B* setelah penyinaran selama 10 jam berturut-turut sebesar 42.34%, 67.8%, dan 48.69%, dengan efisiensi terbesar didapatkan pada SBE teraktivasi temperatur 500°C .

Terdapat beberapa saran yang perlu diperhatikan untuk penelitian berikutnya :

1. Memperhatikan pH dan kecepatan *stirrer* saat proses sintesis komposit ZnO/SBE teraktivasi
2. Melakukan pendinginan setelah proses fotokatalitik
3. Memperhatikan penyimpanan material

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Adhikari, S., & Madras, G. (2014). *Synthesis and photocatalytic performance of quasi-fibrous ZnO*. 55807–55814. <https://doi.org/10.1039/C4RA09376C>
- Afrilia, C. G., Hanavi, D. P., Aprilia, A., Safriani, L., & Bahtiar, A. Y. I. (2019). *Studi Proses Sintesis Serbuk Nano ZnO Beserta Karakterisasi*. 03(02), 105–113.
- Alhamidi, A., Kustiningsih, I., Poetra, I., Metalurgi, J. T., Teknik, F., Sultan, U., Tirtayasa, A., Kimia, J. T., Teknik, F., Sultan, U., & Tirtayasa, A. (2019). *Karakterisasi Karbon Aktif dari Bulu Ayam untuk Aplikasi Penyimpan Gas Hidrogen (Hydrogen Storage)*. 21(1), 16–22.
- Ali, A., Chiang, Y. W., & Santos, R. M. (2021). *X-ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization : A Review for Engineers of The Fundamentals , Applications , and Research Directions*. December.
- Amanda, A. S., Susanti, D., Nurdiansah, H., & Nurhayati, E. (2022). *Analisis Pengaruh Temperatur Kalsinasi Pada Proses Aktivasi Material Komposit Spent Bleaching Earth/Zinc Oxide (SBE/ZnO) Dengan Metode Solvent Extraction Terhadap Kemampuan Degradasi Rhodamine B*. ITS.
- Angie, S., Bachmann, L., Cássia, R. De, Curto, S., Antonio, A., Benathar, L., & Tavares, B. (2020). Determination of Optimum Conditions for Thermal Regeneration and Characterization of A Spent Bleaching Earth. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(2), 103503. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103503>
- Arabia, S. (2021). *1039 Review : Various Adsorbents for Removal of Rhodamine B Dye : A Review* Zainab Mohammad Saigl. 21(4), 1039–1056. <https://doi.org/10.22146/ijc.62863>
- Aristanti, Y., Minandar, N., Marliani, & Soepriyanto, S. (2019). *Analisis Laju Degradasi Rhodamine B (RhB) Pada Proses Fotokatalisis TiO₂*. 2(3), 188–194.
- Ayob, S., Othman, N., Ali, W., Altowayti, H., Sheikh, F., Bakar, N. A., Tahir, M., & Soedjono, E. S. (2021). *A Review on Adsorption of Heavy Metals from Wood-Industrial Wastewater by Oil Palm Waste*. 22(3), 249–265.
- Ayu, I. G., Saraswati, A., Diantariani, N. P., & Suarya, P. (2015). Fotodegradasi Zat Warna Tekstil Congo Red dengan Fotokatalis ZnO-Arang Aktif dan Sinar Ultraviolet (UV). *Jurnal Kimia*, 175–182.
- Bahram, M., Talebi, R., Naseri, A., & Nouri, S. (2014). *Modeling and Optimization of Removal of Rhodamine - B from Wastewaters by Adsorption on Modified Clay*. 41, 1230–1240.
- Bhagat, M. M. (2017). *Photocatalytic Degradation of Carcinogenic Rhodamine 6G Dye by Strontium and Tin Doped Cadmium Sulphide Nanoparticles*. 3(6), 129–136.
- Bleaching, S., Dan, E., & Tempurung, A. (2020). *Jurnal aerasi*. 2(2), 72–82.
- Bubanale, S. (2017). *History , Method of Production , Structure and Applications of Activated Carbon*. 6(06), 495–498.
- Bunaciu, A. A., & Aboul-enein, H. Y. (2015). *X-Ray Diffraction : Instrumentation and Applications Critical Reviews in Analytical Chemistry X-Ray Diffraction : Instrumentation and Applications*. May.
- Chen, Y., Shi, Y., Wan, D., Zhao, J., He, Q., & Liu, Y. (2021). Synergistic adsorption and advanced oxidation activated by persulfate for degradation of tetracycline hydrochloride using iron - modified spent bleaching earth carbon. *Environmental Science and Pollution Research*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17435-0>
- Darmapatni, K. A. G., Basori, A., & Suaniti, N. M. (2016). Pengembangan Metode GC-MS untuk Penetapan Kadar Acetaminophen Pada Spesimen Rambut Manusia. *Jurnal Biosains Pascasarjana*, 18(3), 1–15.
- Dianggoni, I., Saputra, E., & Pinem, J. A. (2011). *Pengolahan Zat Warna Tekstil (Rhodamine*

- B) dengan Teknologi AOP (Advance Oxidation Processes) menggunakan Katalis Ce @ Carbon Sphere dan Oksidan Peroxymonosulfate. 1–7.
- Dobrota, A. S., & Pašti, I. A. (2020). *conversion tic le in Pr es s Ar tic in Pr es. 10(0)*.
- Ekawati, R., Taslimah, & Pardoyo. (2010). *Pengaruh Aktivasi Zeolit dengan KMnO₄, K₂S₂O₈ DAN H₂SO₄ terhadap Adsorpsifitas Ion Na⁺ dan Mg²⁺ Diujikan pada Air Tanah Karimunjawa Blok I. 18(4), 150–157.*
- Elayaperumal, M., Duraisamy, M., & Ganesh, H. (2018). *Photocatalysis: Present, past and future. April.* <https://doi.org/10.21741/9781945291630-7>
- Elyza, F., & Gofar, N. (2015). *Identifikasi dan Uji Potensi Bakteri Lipolitik dari Limbah SBE (Spent Bleaching Earth) sebagai Agen Bioremediasi. 13(1), 12–18.*
- Fahmy, T. A. (2018). *Biomass pyrolysis: past, present, and future. 0123456789.* <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0200-5>
- Fajrudin, A., Supartono, & Sumarni, W. (2016). *Pengaruh Penambahan Asam Nitrat Dan Temperatur Kalsinasi Pada Reaktivasi Spent Blenching Earth. Indonesian Journal of Chemical Science, 5(3), 5–8.*
- Gawande, P. S. M., Belwalkar, N. S., & Mane, A. A. (2017). *Adsorption and its Isotherm – Theory. January.* <https://doi.org/10.5958/2319-6890.2017.00026.5>
- Haddad, R. (2015). *Photodegradation and photostabilization of polymers , especially polystyrene : review. November.* <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-398>
- Hasnidawani, J. N., Azlina, H. N., Norita, H., & Bonnia, N. N. (2016). *Synthesis of ZnO Nanostructures Using Sol-Gel Method. Procedia Chemistry, 19, 211–216.* <https://doi.org/10.1016/j.proche.2016.03.095>
- Hernández, A., Maya, L., Sánchez-Mora, E., & Sánchez, E. M. (2007). *Sol-gel synthesis, characterization and photocatalytic activity of mixed oxide ZnO-Fe₂O₃. Journal of Sol-Gel Science and Technology, 42(1), 71–78.* <https://doi.org/10.1007/s10971-006-1521-7>
- Hindryawati, N., Kimia, J., & Mulawarman, U. (2019). *Methylene Blue Study of Weight Variation of WO₃-SBE Catalyst in Sonocatalytic. 102–106.*
- Hu, X., & Gholizadeh, M. (2019). *Biomass pyrolysis : A review of the process development and challenges from initial researches up to the commercialisation stage. In Journal of Energy Chemistry (Issue April). Elsevier B.V. and Science Press.* <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2019.01.024>
- Ibrahim, H. A. (2017). *We are IntechOpen , the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 % Introductory Chapter : Pyrolysis.*
- Ilmi, M., Setiawan, P., & Maryanti, E. (2021). *X-ray Diffraction Peak Profile Analysis for Determination of Microstructural Properties of Hematite (Fe₂ O₃) X-ray Diffraction Peak Profile Analysis for Determination of Microstructural Properties of Hematite (Fe₂ O₃). Journal of Research and Development on Nanotechnology, 1(July), 10–17.* <https://doi.org/10.5614/jrdn.2021.1.1.16667>
- Irawan, A. (2019). *Kalibrasi Spektrofotometer sebagai Penjamin Mutu Hasil Pengukuran Dalam Kegiatan Penelitian dan Pengujian. 1(2), 1–9.*
- Irfan, S., Zhuanghao, Z., Li, F., Chen, Y., Liang, G., Luo, J., & Ping, F. (2019). *Critical review : Bismuth ferrite as an emerging visible light active nanostructured photocatalyst. 8(6), 6375–6389.* <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.10.004>
- Iskandar, D. (2017). *Perbandingan Metode Spejtrofotometri UV-Vis dan Iodimetri dalam Penentuan Asam Askorbat sebagai Bahan Ajar Kimia Analitik Mahasiswa Jurusan Teknologi Pertanian Berbasis Open-ended Experiment dan Problem Solving. 10(1), 66–70.*
- Isna, L., Anugrahwati, M., Nurillahi, R., & Saeful, A. (2018). *The Implementation of Pyrol y sis of Waste Material to Bio- Oil in The KKN Course. 2(August), 67–70.*

- <https://doi.org/10.20885/ijcer.vol>
- Julinawati, Marlina, Nasution, R., & Sheilatina. (2015). Applying SEM-EDX Techniques to Identify Fying The Types of Mineral Al of Jades (Giok) Aceh. *Jurnal Natural*, 15(2), 44–48.
- Khan, I., Saeed, K., Zekker, I., Zhang, B., Hendi, A. H., Ahmad, A., Ahmad, S., Zada, N., Ahmad, H., Shah, L. A., Shah, T., & Khan, I. (2022). *Review on Methylene Blue: Its Properties, Uses, Toxicity and Photodegradation*.
- Kita, M., Fukada, T., Yamaguchi, S., & Omata, T. (2016). High temperature phases with wurtzite-derived structure in Zn₂LiGaO₄ e ZnO alloy system. *Journal of Alloys and Compounds*, 688, 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.06.249>
- Králik, M. (2014). Adsorption, chemisorption, and catalysis. *Chemical Papers*. <https://doi.org/10.2478/s11696-014-0624-9>
- Kumar, A., & Pandey, G. (2017). *A review on the factors affecting the photocatalytic degradation of hazardous materials*. 1(3), 106–114. <https://doi.org/10.15406/mseij.2017.01.00018>
- Kusdarini, E., Budianto, A., & Ghafarunnisa, D. (2017). Produksi Karbon Aktif Dari Batubara Bituminus Dengan Aktivasi Tunggal H₃PO₄, Kombinasi H₃PO₄-NH₄HCO₃, Dan Termal. *Reaktor*, 17(2), 74–80. <https://doi.org/10.14710/reaktor.17.2.74-80>
- Lesbani, A., Tamba, P., Mohadi, R., & Fahmariyanti. (2013). Preparation of calcium oxide from *Achatina fulica* as catalyst for production of biodiesel from waste cooking oil. *Indonesian Journal of Chemistry*, 13(2), 176–180. <https://doi.org/10.22146/ijc.21302>
- Lin, C., & Hsiao, H. (2022). Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers Degradation of Rhodamine B in water by heat / persulfate process. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 132, 104190. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2021.104190>
- Liu, W., Yuan, K., Yin, K., Zuo, S., & Yao, C. (2021a). *Clay-activated carbon adsorbent obtained by activation of spent bleaching earth and its application for removing Pb (II) ion*. 711–723.
- Liu, W., Yuan, K., Yin, K., Zuo, S., & Yao, C. (2021b). Clay-activated carbon adsorbent obtained by activation of spent bleaching earth and its application for removing Pb(II) ion. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 711–723. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10473-0>
- Majid, R. A., & Mat, C. R. C. (2017). Regenerated spent bleaching earth for the decolourisation and bod reduction of palm oil mill effluent. *Journal of Oil Palm Research*, 29(4), 579–587. <https://doi.org/10.21894/jopr.2017.0006>
- Malau, N. D. (2021). *The Effect of Calcination Time Variation on CaO Synthesa from Limestone*. 684–689.
- Mana, M., Ouali, M. S., Menorval, L. C. De, Zajac, J. J., & Charnay, C. (2011). Regeneration of spent bleaching earth by treatment with cethyltrimethylammonium bromide for application in elimination of acid dye. *Chemical Engineering Journal*, 174(1), 275–280. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.09.026>
- Maulana, G. G. R., Agustina, L., & Susi. (2017). *Proses Aktivasi Arang Aktif dari Cangkang Kemiri dengan Variasi Jenis dan Konsentrasi Aktivator Kimia*. 42, 247–256.
- Nayara, A., Oliveira, C., Ícaro, A., Morais, S., Neris, A. D. M., & Osajima, J. A. (2019). *Photodegradation study of TiO₂ and ZnO in suspension using miniaturized tests*.
- Nguyen, L. T. T., Vo, D. N., Nguyen, L. T. H., & Duong, A. T. T. (2022). *Environmental Technology & Innovation Synthesis, characterization, and application of ZnFe₂O₄@ZnO nanoparticles for photocatalytic degradation of Rhodamine B under visible-light illumination*. 25. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102130>
- Ningsih, S. K. W., Nizar, U. K., & Novitria, U. (2017). *Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel*

- ZnO Doped Cu²⁺ Melalui Metoda Sol-gel*. 18(2), 39–51.
- Novarini, E., & Wahyudi, T. (2011). *Sintesis Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) Menggunakan Surfaktan sebagai Stabilisator dan Aplikasinya pada Pembuatan Tekstil Anti Bakteri*. 26(2), 81–87.
- Nurulita, U., Yenie, E., & Andrio, D. (2020). Pengaruh Konsentrasi dan Waktu Aktivasi Adsorben Spent Bleaching Earth (SBE) terhadap Luas Permukaan. *JOM FTEKNIK*, 7, 1–4.
- Oktapiani, N. K. A., Simpen, I. N., & Negara, I. M. S. (2021). Fotodegradasi Rhodamin B Oleh Katalis Zeolit Alam-TiO₂/ZnO dan Irradiasi Sinar Tampak. *Jurnal Kimia*, 15(1), 94–100.
- Pambudi, A., Farid, M., & Nurdiansah, H. (2017). Analisis Morfologi dan Spektroskopi Infra Merah Serat Bambu Betung (*Dendrocalamus Asper*) Hasil Proses Alkalisasi Sebagai Penguat Komposit Absorpsi Suara. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 441–444.
- Pardede, B. B. (2018). *Analisis Pengaruh Penambahan Reduced Graphene Oxide terhadap Sifat Fotokatalitik dari Komposit ZnO/rGO dengan Metode Oksidasi Serbuk Zink dan Reduksi* <https://repository.its.ac.id/53311/>
- Pinto, L. F., Montaña, A. M., González, C. P., & Barón, G. C. (2019). Removal of rhodamine B in wastewater from the textile industry using geopolymeric material. *Journal of Physics*, 1–7.
- Pranowo, D., Dewanti, B. S. D., Fatimah, H., & Setyawan, H. Y. (2020). *Optimization of regeneration process of spent bleaching earth* Optimization of regeneration process of spent bleaching earth. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/524/1/012011>
- Purba, R. S., Nurul, S., Irwan, R., Tarwaca, E., & Putra, S. (2020). *The Effect of Spent Bleaching Earth Filler-Based NPK Fertilization on Proline, Growth and Yield of Maize*. 35(1), 44–53.
- Rades, S., Hodoroaba, V., Salge, T., & Wirth, T. (2014). *RSC Advances High-resolution imaging with SEM / T-SEM, EDX and morphological and elemental analyses of single*. 49577–49587.
- Raganata, T. C., & Aritonang, H. (2019). *Sintesis Fotokatalis Nanopartikel ZnO untuk Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue*. 12(2), 54–58.
- Rajendrachari, S., Taslimi, P., & Cahit, A. (2021). Photocatalytic degradation of Rhodamine B (RhB) dye in waste water and enzymatic inhibition study using cauliflower shaped ZnO nanoparticles synthesized by a novel One-pot green synthesis method. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(6), 103180. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103180>
- Rangkuti, R. M., Harsono, H., & Ghufro, M. (2018). *Studi Karakterisasi Sintesis Nano Partikel ZnO Menggunakan Metode Kopresipitasi dengan Varian Konsentrasi Dopping Cu*. 7(2), 197–204.
- Reza, A., & Sapriyanto. (2017). *Analisis Kualitatif Rhodamin B pada Kerupuk Berwarna Merah yang Beredar di Kota Medan*. 2(1), 9–20.
- Rissa, L. V., & Priatmoko, S. (2012). *Silika Secara Sol Gel Sebagai Bahan Antifogging*. 35(1).
- Rizqiyah, M., Susanti, D., Haniffudin Nurdiansah, & Nurhayati, E. (2022). *Analisis Pengaruh Temperatur Pada Proses Aktivasi Material Komposit Spent Bleaching Earth/Zinc Oxide (SBE/ZnO) dengan Metode Pirolisis terhadap Kemampuan Degradasi Rhodamine B*. ITS.
- Sabouni, R. (2019). *Photocatalytic degradation of pharmaceutical micro-pollutants using ZnO*.
- Saputra, A. D., & Hindryawati, N. (2018). *Impregnasi dan Karakterisasi K-Deoiled Spent Bleaching Earth (K-DSBE) dengan Metode Basah*. 15.
- Saputri, C. A., & Akademi. (2020). Kapasitas Adsorpsi Serbuk Nata de Coco (Bacterial Sellulose) terhadap Ion Pb²⁺ Menggunakan Metode Batch. *Jurnal Kimia*, 14(1), 71–76.
- Saputro, E. A., Dwi, V., Wulan, R., Winata, B. Y., Ramadhan, R., & Erliyanti, N. K. (2020).

- Review article The Process of Activated Carbon from Coconut Shells Through Chemical Activation*. 09(April). <https://doi.org/10.22487/25411969.2019.v9.i1.15042>
- Sari, R. N., Saridewi, N., & Shofwatunnisa, S. (2017). Biosynthesis and Characterization of ZnO Nanoparticles with Extract of Green Seaweed *Caulerpa* sp. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 19(1), 17. <https://doi.org/10.22146/jfs.24488>
- Science, E. (n.d.). *Effect of processed spent bleaching earth content on the compressive strength of foamed concrete*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/244/1/012013>
- Sediawan, W. B., & Mindaryani, A. (2017). *Adsorpsi Air dari Campuran Uap Etanol-Air dengan Zeolit Sintetis 4A pada Packed Bed Dalam Rangka Produksi Fuel Grade Ethanol*. 11, 68–77.
- Septiani, U., Bella, I., & Syukri. (2014). *Pembuatan dan Karakterisasi Katalis ZnO/Karbon Aktif dengan Metode Solid State dan Uji Aktifitas Katalitiknya pada Degradasi Rhodamin B*. 7(2).
- Setianto, K.M., L., & H.S., A. (2017). *Karakteristik dan Struktur Elektronik Bahan Semikonduktor ZnO-Quantum Dot (ZnO-QD)*. 3(2), 125–130.
- Siami, L., Indrawati, D., Tazkiaturrizki, T., Kusuma Dewi, R. A., & Dwiana, A. (2021). Potensi Limbah B3 Spent Bleaching Earth sebagai Bahan Bakar pada Industri Minyak Goreng PT. ABC. *Jurnal Penelitian Dan Karya Ilmiah*, 6(1), 8. <https://doi.org/10.25105/pdk.v6i1.8625>
- Sihite, E. B. (2019). *Analisis Pengaruh Penuaan Dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan Dan Strukturmikro Paduan Cuhfco*. 19(3), 231–238.
- Silviyah, S., Widodo, C. S., & Masruroh. (2014). *Penggunaan Metode FT-IR (Fourier Transform Infra Red) Untuk Mengidentifikasi Gugus Fungsi pada Proses Pembaluran Penderita Mioma*. 1–28.
- Singh, J. P., Lim, W. C., Won, S. O., Song, J., & Chae, K. H. (2018). Synthesis and Characterization of Some Alkaline-Earth-Oxide Nanoparticles. *Journal of the Korean Physical Society*, 72(8), 890–899. <https://doi.org/10.3938/jkps.72.890>
- Sistesya, D., & Sutanto, H. (2013). *Sifat Optis Lapisan ZnO:Ag yang Dideposisi Di Atas Substrat Kaca Menggunakan Metode Chemical Solution Deposition (CSD) dan Aplikasinya pada Degradasi Zat Warna Methylene Blue*. 1(4), 71–80.
- Siti Jamilatun, Setyawan, M., Salamah, S., Purnama, D. A. A., & Putri, R. U. M. (2015). *Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dengan Aktivasi Sebelum dan Sesudah Pirolisis*. 0258, 1–8.
- Srivastava, V., Singh, P. K., & Singh, P. P. (2022). *Journal of Photochemistry & Photobiology, C: Photochemistry Reviews*, 100488. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2022.100488>
- Sucahya, T. N., Permatasari, N., & Nandiyanto, A. B. D. (2016). *Review : Fotokatalis untuk Pengolahan Limbah Cair*. 6(1), 1–15.
- Sukma, S. A., Yenie, E., & Andrio, D. (2020). *Pemanfaatan Limbah Spent Bleaching Earth (SBE) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Briket*. 7, 2011–2014.
- Syauqiah, I., Amalia, M., & Kartini, H. A. (2011). *Analisis Variasi Waktu dan Kecepatan Pengaduk pada Proses Adsorpsi Limbah Logam Berat dengan Arang Aktif*. 12(1), 11–20.
- Trivana, L., Sugiartib, S., & Rohaeti, E. (2015). Sintesis Zeolit dan Komposit Zeolit/TiO₂ dari Kaolin Serta Uji Adsorpsi-Fotodegradasi Biru Metilena. *Jurnal Penelitian Kimia*, 11(2), 147–162.
- Umar, M., & Aziz, H. A. (2013). *Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants in Water*.
- Wafti, N. S. A., Yoo, C. K., Lin, S. W., Yaw, T. C. S., & Abdullah, L. C. (2011). Regeneration and characterization of spent bleaching clay. *Journal of Oil Palm Research*, 23(APRIL),

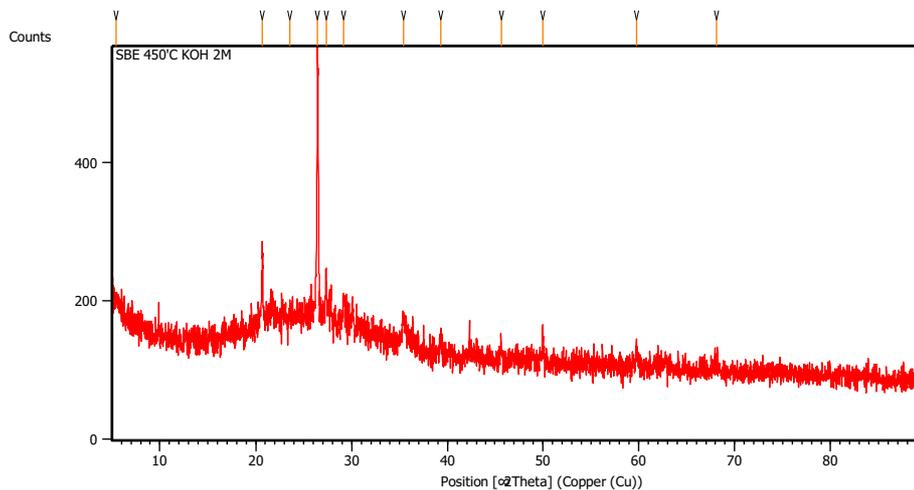
999–1004.

- Wan, D., Chen, Y., Shi, Y., Liu, Y., & Xiao, S. (2021). *Effective adsorption of bisphenol A from aqueous solution over a novel mesoporous carbonized material based on spent bleaching earth*. 40035–40048.
- Wangrakdiskul, U., & Khonkaew, P. (2015). *Use of the Spent Bleaching Earth from Palm Oil Industry in Non Fired Wall Tiles*. July 2014. <https://doi.org/10.17703/IJACT.2015.3.2.15>
- Widelia, I., Widyabudiningsih, D., & Haryadi. (2012). *Analisis Kualitatif dan Kuantitatif Narkotik Jenis Kristal Metamfetamina Menggunakan GC-MS*. POLITEKNIK NEGERI BANDUNG.
- Wijayanti, I. E., & Kurniawati, E. A. (2019). Studi Kinetika Adsorpsi Isoterm Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Abu Gosok sebagai Adsorben. *Jurnal Kimia Dan Pendidikan*, 4(2), 175–184.
- Wijayanto, S. O., & Bayuseno, A. . (2014). Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian : Mikrografi dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(1), 33–39.
- Wu, S., Lv, G., & Lou, R. (2012). *Applications of Chromatography Hyphenated Techniques in Field of Lignin Pyrolysis*.
- Xu, D., & Ma, H. (2021). Degradation of rhodamine B in water by ultrasound-assisted TiO₂ photocatalysis. *Journal of Cleaner Production*, 313(January), 127758. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127758>
- Yulikasari, A., Nurhayati, E., Utama, W., & Warmadewanthi, I. (2022). Characterization of Spent Bleaching Earth as an Adsorbent Material for Dye Removal. *Journal of Ecological Engineering*, 23(4), 96–104. <https://doi.org/10.12911/22998993/146353>
- Yustinah, Hudzaifah, Aprilia, M., & AB, S. (2019). Kesetimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) dengan Adsorben Tanah Diatomit secara Batch. *Jurnal KONVERSI*, 9(1), 17–28. <https://doi.org/10.24853/konversi.9.1.12>

LAMPIRAN

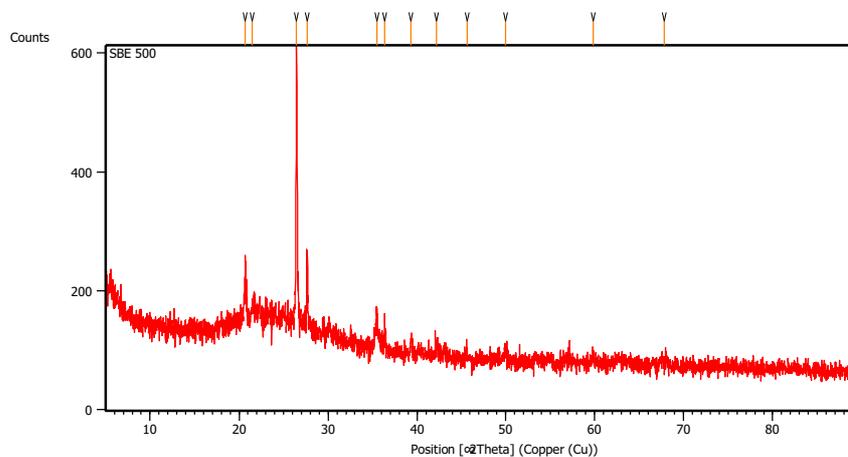
Lampiran 1 : Hasil Pengujian XRD

a. Sampel ASBE1



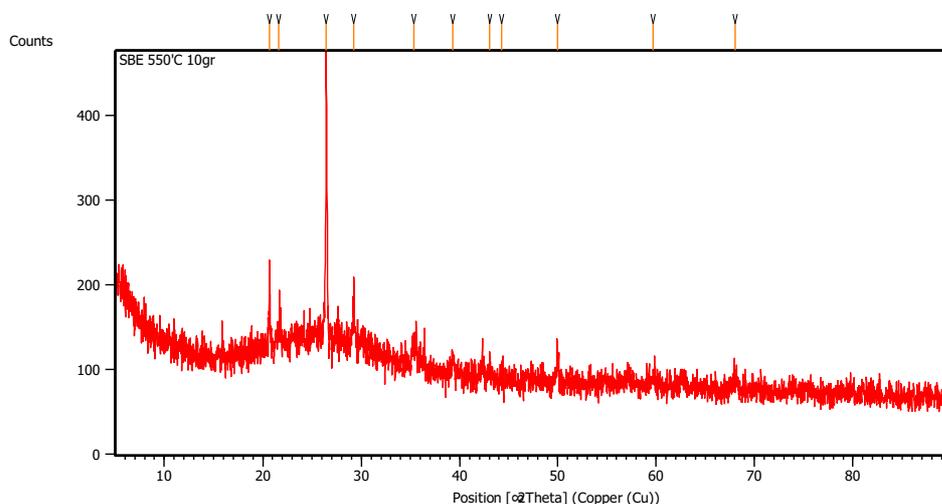
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
20.6814	102.99	0.0669	4.29490	29.74
21.6155	20.04	0.4015	4.11136	5.79
26.4480	346.31	0.0836	3.37009	100.00
29.2312	50.27	0.1338	3.05524	14.52
35.3680	27.56	0.4015	2.53792	7.96
39.2853	19.92	0.4015	2.29342	5.75
43.1119	16.92	0.4015	2.09830	4.89
44.3507	9.24	0.3346	2.04253	2.67
49.9787	46.98	0.1673	1.82492	13.56
59.7293	12.41	0.8029	1.54821	3.58
68.0368	15.51	0.5353	1.37800	4.48

b. Sampel ASBE2



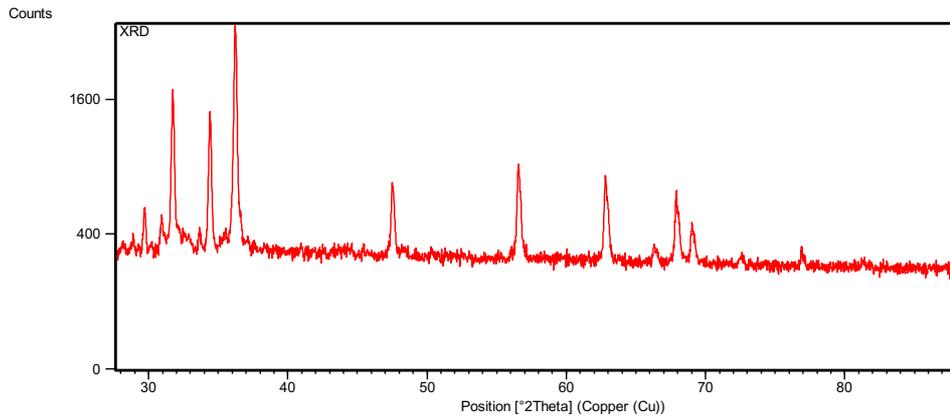
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
20.7122	111.42	0.1004	4.28856	28.11
23.5402	28.65	0.2007	3.77938	7.23
26.4618	396.37	0.1171	3.36836	100.00
27.3302	66.50	0.1338	3.26327	16.78
29.1844	33.62	0.2007	3.06003	8.48
35.3949	38.06	0.2676	2.53605	9.60
39.3177	22.95	0.2007	2.29160	5.79
45.6613	20.02	0.2007	1.98691	5.05
49.9808	47.93	0.1004	1.82485	12.09
59.7751	28.87	0.2007	1.54714	7.28
68.1447	16.99	0.5353	1.37608	4.29

c. Sampel ASBE3



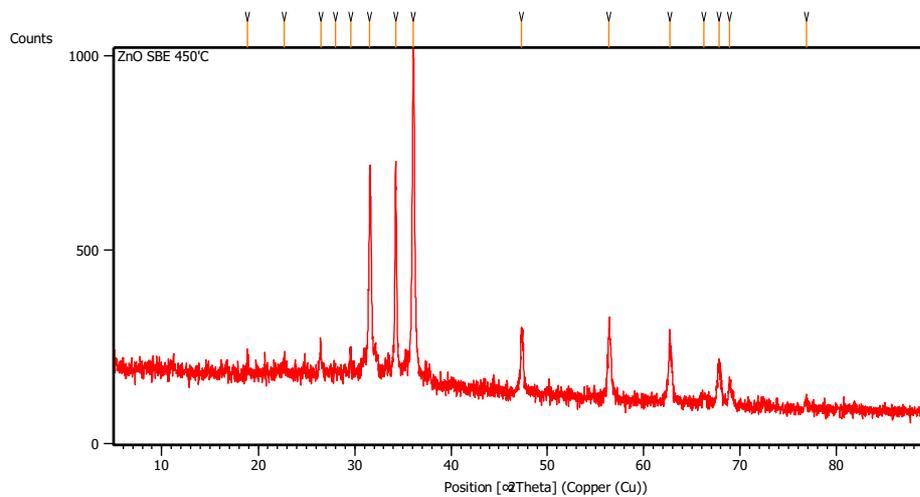
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
20.6943	99.93	0.0669	4.29225	22.02
21.4510	20.61	0.4684	4.14251	4.54
26.4396	453.71	0.1506	3.37114	100.00
27.6172	126.71	0.1004	3.23002	27.93
35.4484	53.26	0.2007	2.53235	11.74
36.3318	44.30	0.1338	2.47278	9.76
39.3196	27.73	0.2007	2.29149	6.11
42.1956	18.86	0.4015	2.14173	4.16
45.6598	13.17	0.5353	1.98697	2.90
49.9916	19.75	0.4015	1.82448	4.35
59.8591	14.58	0.2342	1.54517	3.21
67.8356	7.65	0.5353	1.38160	1.69

d. Sampel ZnO



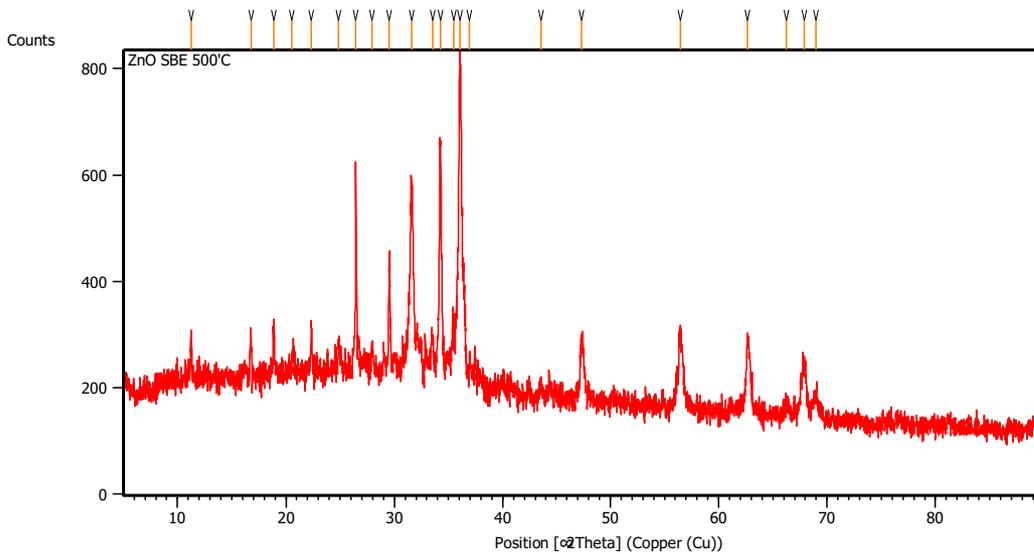
Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
28.8705	60.37	0.4015	3.09258	1.77
29.7481	225.11	0.1171	3.00332	6.59
30.9397	203.92	0.1004	2.89032	5.97
31.7376	1455.92	0.1004	2.81945	42.61
33.6643	109.28	0.1338	2.66236	3.20
34.3920	1141.24	0.1171	2.60767	33.40
36.2141	2311.76	0.1428	2.47849	67.67
36.2867	2028.82	0.0816	2.47985	59.38
47.5151	479.77	0.2448	1.91204	14.04
56.5399	643.83	0.1836	1.62639	18.84
62.8025	588.20	0.1632	1.47842	17.22
66.3347	85.95	0.4080	1.40800	2.52
67.8739	400.61	0.1224	1.37977	11.73
69.0033	194.88	0.2040	1.35992	5.70
72.6182	38.15	0.4896	1.30087	1.12
76.9000	80.22	0.2448	1.23876	2.35

e. Sampel KSBE1



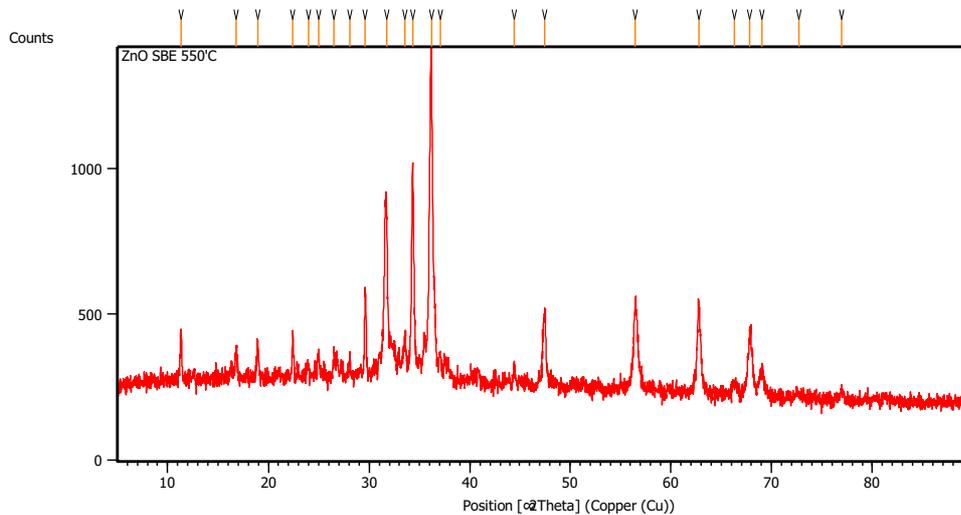
Pos. [$^{\circ}2\theta$.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\theta$.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
18.9019	40.39	0.2676	4.69501	4.76
22.6676	27.17	0.4015	3.92285	3.20
26.4639	83.98	0.1004	3.36811	9.91
28.0189	21.06	0.2007	3.18462	2.48
29.5595	51.42	0.1338	3.02204	6.06
31.5432	498.27	0.0669	2.83638	58.77
34.2277	553.04	0.0836	2.61982	65.23
36.0449	606.92	0.1338	2.49180	100.00
47.3191	141.50	0.2676	1.92109	16.69
56.4186	178.54	0.2342	1.63094	21.06
62.7106	172.89	0.1338	1.48159	20.39
66.2159	19.04	0.5353	1.41141	2.25
67.8218	95.37	0.4015	1.38185	11.25
68.9098	56.48	0.2676	1.36266	6.66
76.8635	20.60	0.4015	1.24028	2.43

f. Sampel KSBE2



Pos. [$^{\circ}2\theta$.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\theta$.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
11.2587	87.41	0.1338	7.85924	14.40
16.7618	82.95	0.1004	5.28933	13.67
18.8974	110.40	0.1004	4.69613	18.19
20.5492	39.35	0.5353	4.32221	6.48
22.3323	110.39	0.1004	3.98099	18.19
24.8743	66.45	0.4015	3.57962	10.95
26.4451	419.24	0.0502	3.37045	69.08
27.9623	71.15	0.1673	3.19093	11.72
29.5371	250.95	0.1171	3.02429	41.35
31.6306	379.19	0.2007	2.82874	62.48
33.5221	91.91	0.1673	2.67333	15.14
34.2286	457.88	0.1338	2.61975	75.44
35.4616	127.88	0.1004	2.53144	21.07
36.0696	847.82	0.1506	2.49015	100.00
36.9350	58.54	0.1004	2.43377	9.64
43.6073	22.70	0.4015	2.07561	3.74
47.3671	106.20	0.2342	1.91926	17.50
56.4611	149.83	0.2676	1.62982	24.69
62.6617	135.31	0.1673	1.48263	22.29
66.2550	26.00	0.4015	1.41067	4.28
67.8766	98.67	0.4015	1.38087	16.26
68.9454	39.49	0.4015	1.36205	6.51

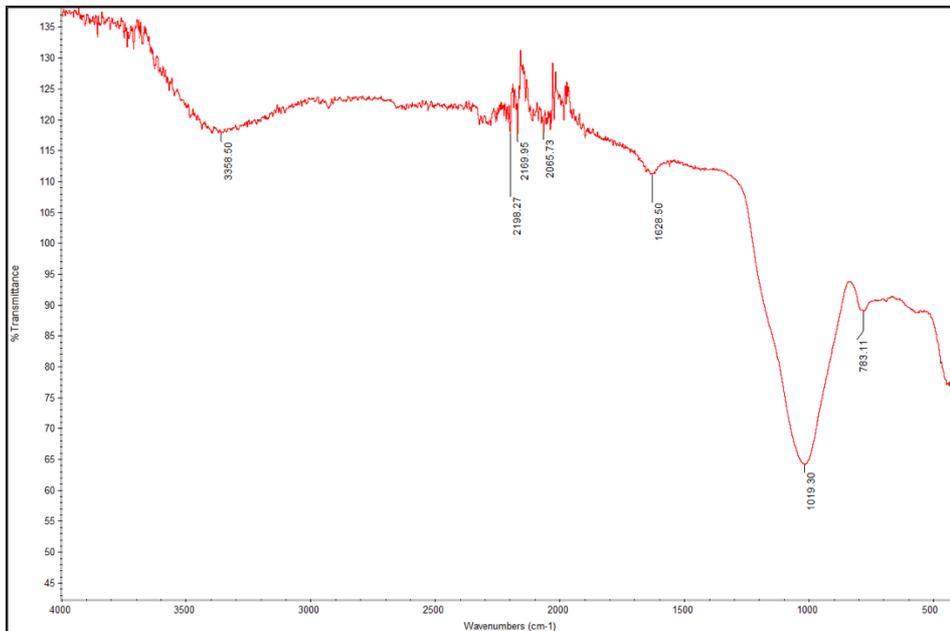
g. Sampel KSBE3



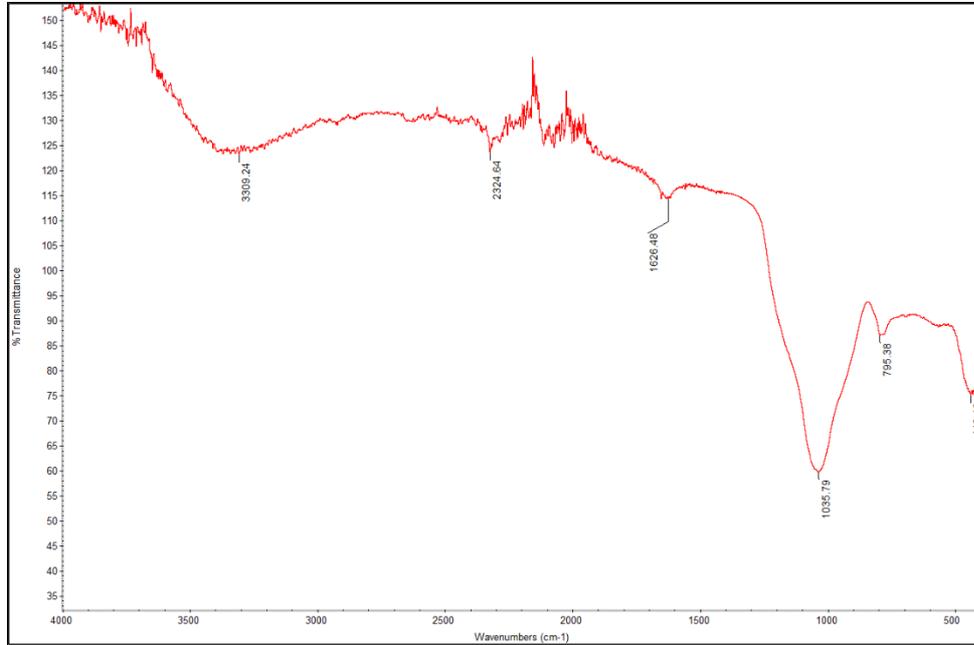
Pos. [°2 θ .]	Height [cts]	FWHM Left [°2 θ .]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
11.3285	176.26	0.1004	7.81101	15.36
16.7969	94.19	0.1673	5.27836	8.21
18.9319	130.63	0.1338	4.68764	11.38
22.4199	157.54	0.1171	3.96563	13.73
23.9714	46.14	0.2007	3.71236	4.02
24.9644	81.66	0.1673	3.56690	7.12
26.4921	78.26	0.2676	3.36457	6.82
28.0766	79.60	0.1004	3.17820	6.94
29.5810	323.40	0.0836	3.01990	28.18
31.7156	578.66	0.2342	2.82136	50.42
33.5598	162.43	0.1338	2.67041	14.15
34.3033	750.69	0.1840	2.61421	65.41
36.1714	1147.58	0.1506	2.48337	100.00
37.0347	96.12	0.1338	2.42744	8.38
44.4653	54.35	0.1673	2.03753	4.74
47.5095	231.09	0.1171	1.91384	20.14
56.4889	301.04	0.2342	1.62908	26.23
62.7661	312.47	0.2007	1.48041	27.23
66.3415	38.82	0.5353	1.40904	3.38
67.8121	206.82	0.1673	1.38202	18.02
69.0571	95.81	0.4684	1.36012	8.35
72.7025	15.69	0.8029	1.30065	1.37
76.9196	24.65	0.8029	1.23952	2.15

Lampiran 2 : Hasil Pengujian FTIR

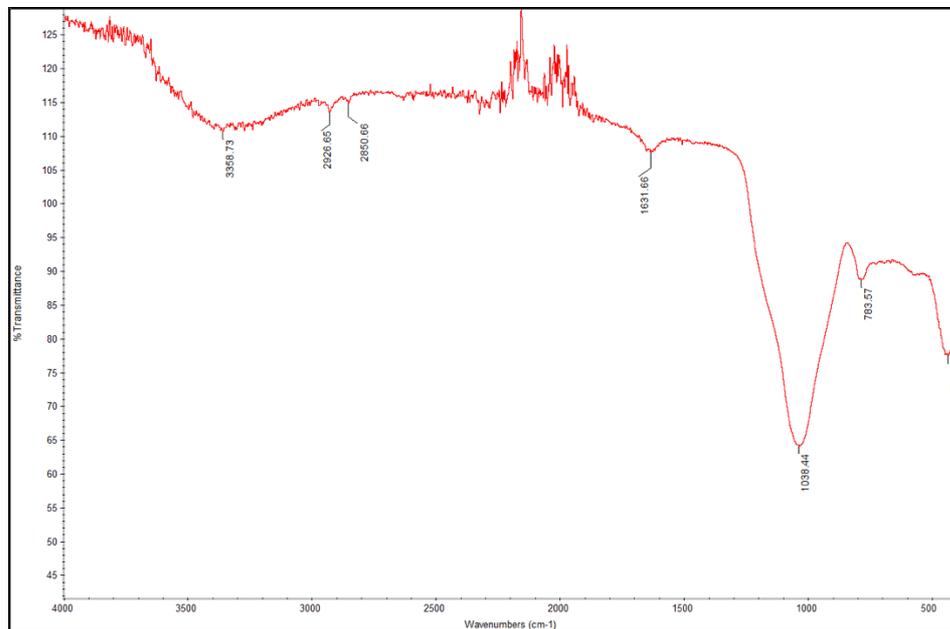
a. ASBE1



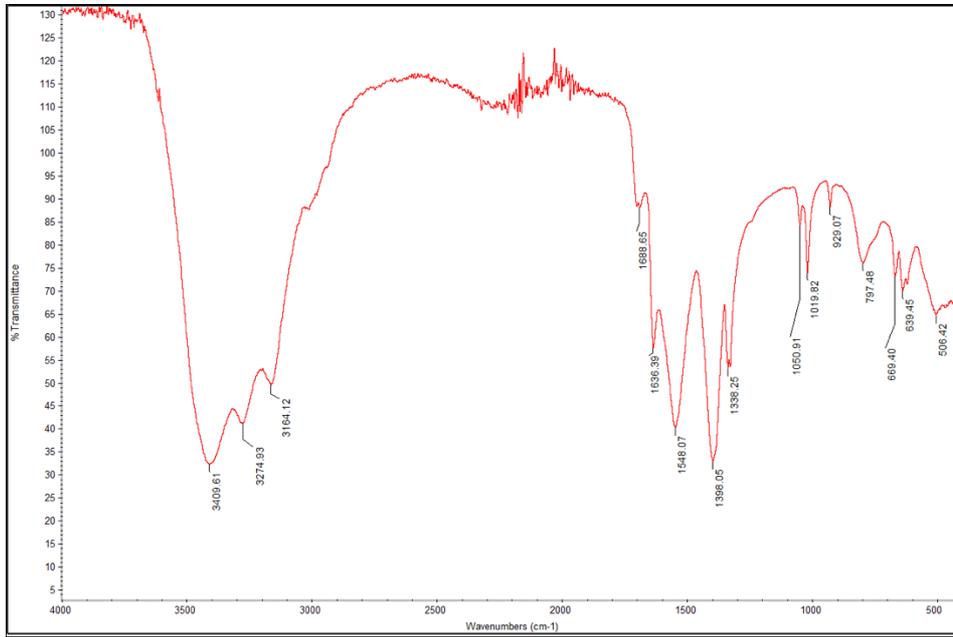
b. ASBE2



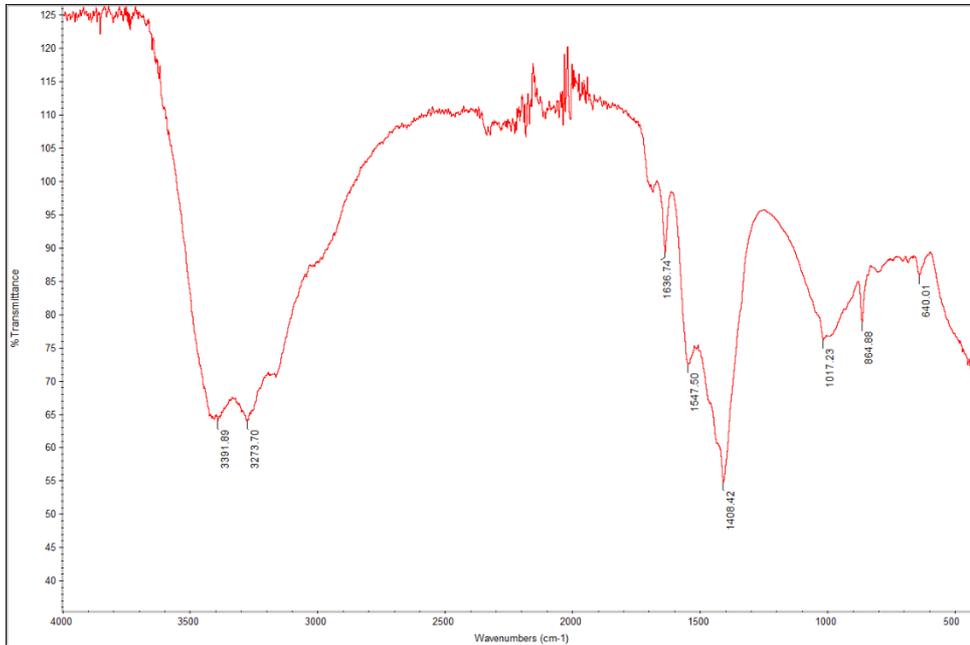
c. ASBE3



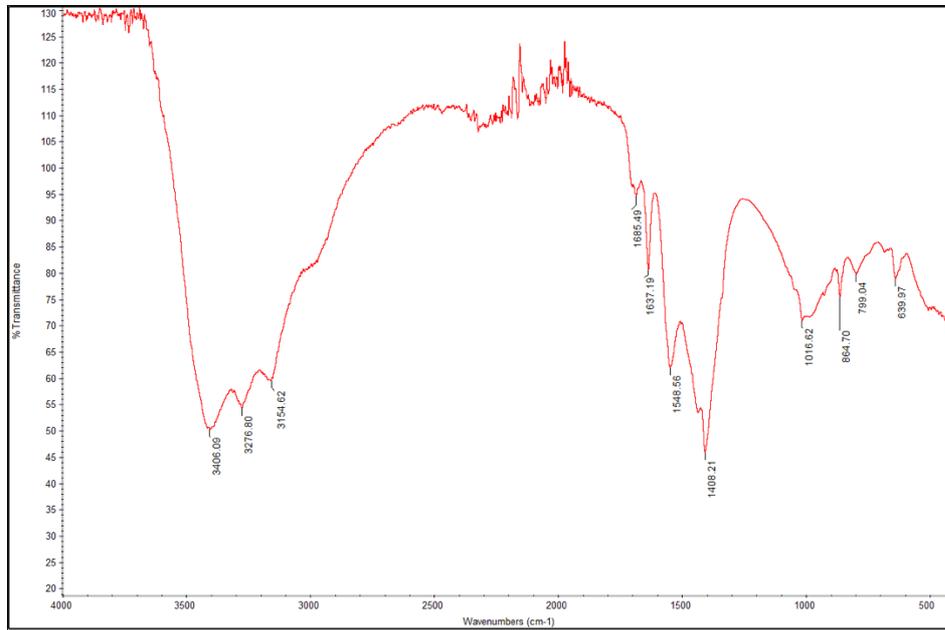
d. ZnO



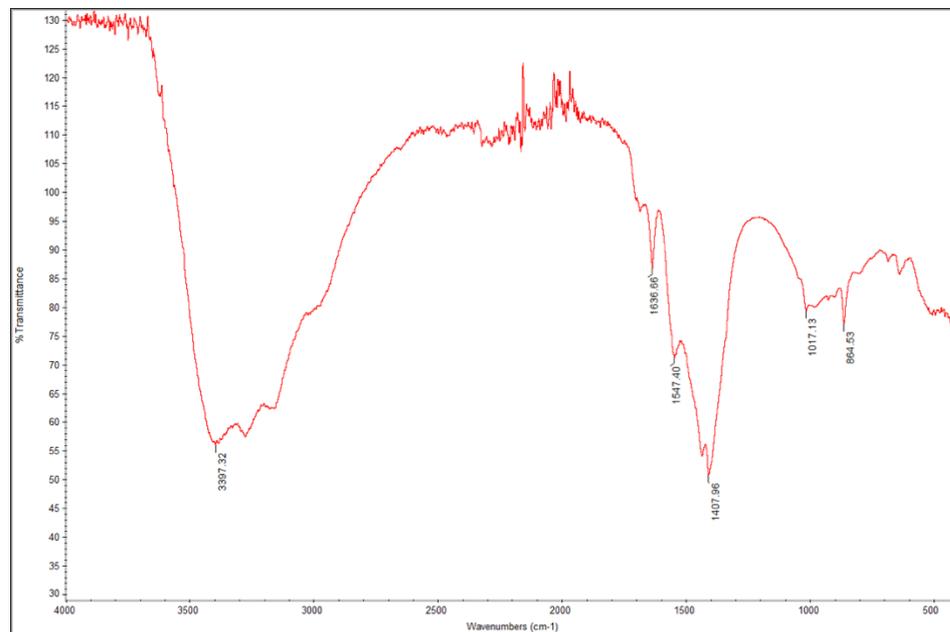
e. KSBE1



f. KSBE2

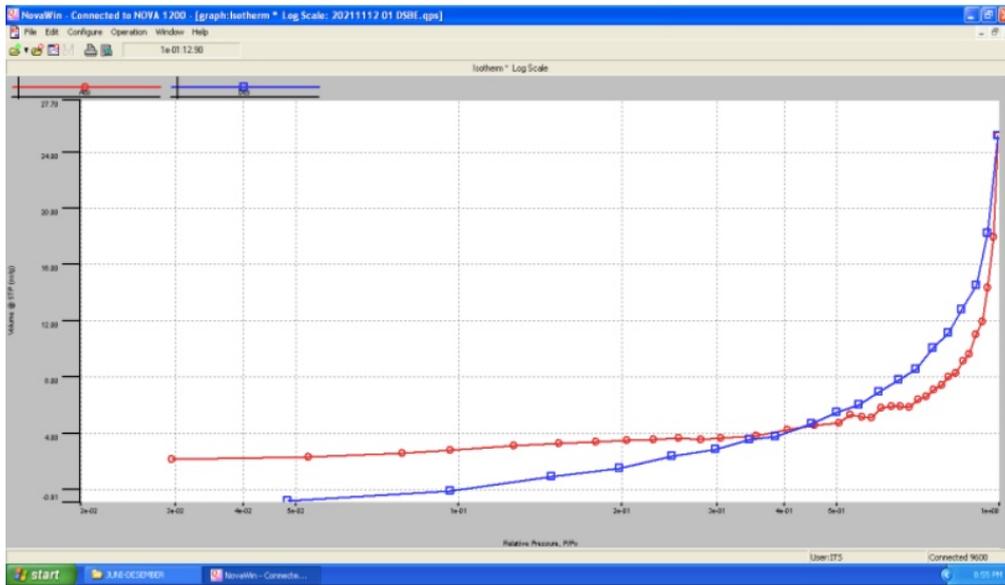


g. KSBE3

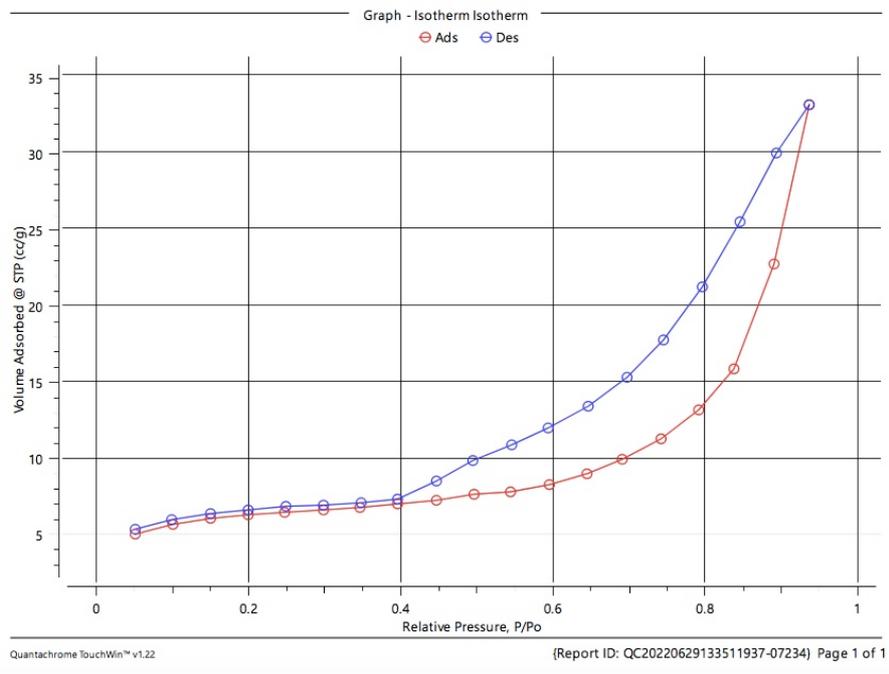


Lampiran 3 : Hasil Pengujian BET

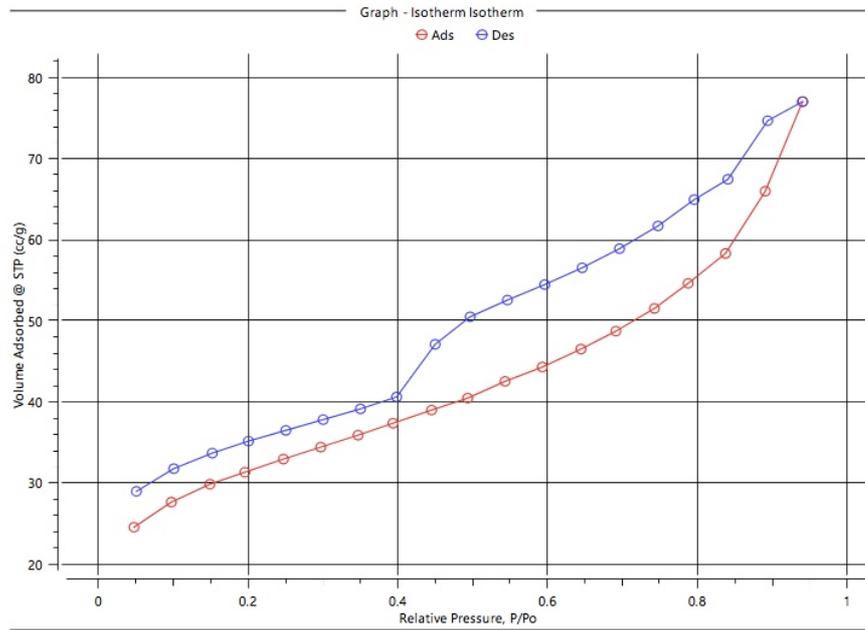
a. SBE Murni



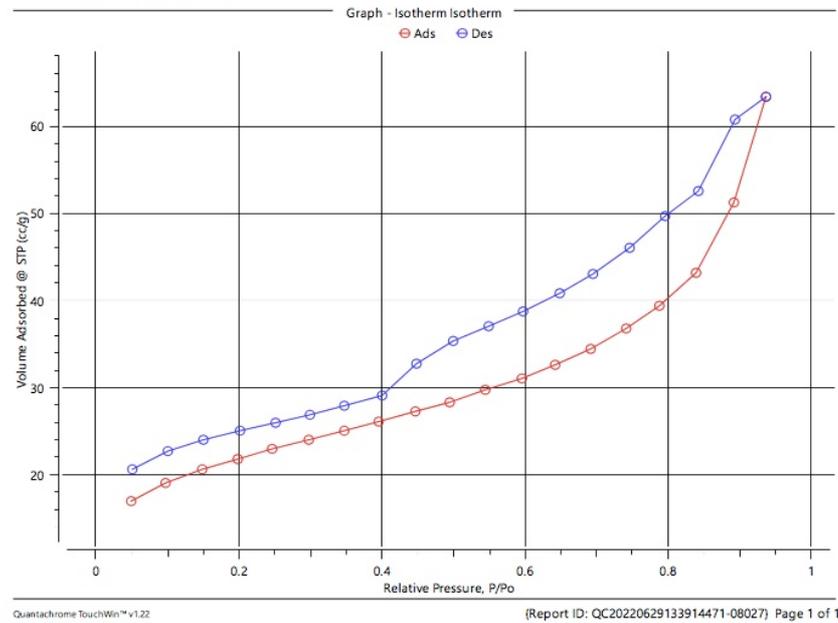
b. ASBE1



c. ASBE2



d. ASBE3



Lampiran 4 : Material Safety Data Sheet (MSDS) dari Produk Degradasi *Rhodamine B*

1 Identification

- **Product identifier**
- **Trade name:** trans-11-Octadecenoic Acid Methyl Ester
- **Part number:** FLSA-082
- **CAS Number:**
6198-58-9
- **EC number:**
228-251-3
- **Application of the substance / the mixture** Reagents and Standards for Analytical Chemical Laboratory Use
- **Details of the supplier of the safety data sheet**
- **Manufacturer/Supplier:**
Agilent Technologies, Inc.
5301 Stevens Creek Blvd.
Santa Clara, CA 95051 USA
- **Information department:**
Telephone: 800-227-9770
e-mail: pdl-msds_author@agilent.com
- **Emergency telephone number:** CHEMTREC®: 1-800-424-9300

2 Hazard(s) identification

- **Classification of the substance or mixture**
Flam. Liq. 4 H227 Combustible liquid.
- **Label elements**
- **GHS label elements** The substance is classified and labeled according to the Globally Harmonized System (GHS).
- **Hazard pictograms** Void
- **Signal word** Warning
- **Hazard statements**
Combustible liquid.
- **Precautionary statements**
Keep away from flames and hot surfaces. – No smoking.
Wear protective gloves/protective clothing/eye protection/face protection.
In case of fire: Use for extinction: CO₂, powder or water spray.
Store in a well-ventilated place. Keep cool.
Dispose of contents/container in accordance with local/regional/national/international regulations.
- **Classification system:**
- **NFPA ratings (scale 0 - 4)**
 Health = 0
Fire = 2
Reactivity = 0
- **HMIS-ratings (scale 0 - 4)**

HEALTH	0
FIRE	2
REACTIVITY	0

 Health = 0
Fire = 2
Reactivity = 0
- **Other hazards**
- **Results of PBT and vPvB assessment**
- **PBT:** Not applicable.

(Contd. on page 2)

1. Identification

Product Name	Methyl palmitate
Cat No. :	AC414680000; AC414681000; AC414685000
CAS No	112-39-0
Synonyms	Hexadecanoic acid, methyl ester
Recommended Use	Laboratory chemicals.
Uses advised against	Food, drug, pesticide or biocidal product use.

Details of the supplier of the safety data sheet

Company	Acros Organics
Fisher Scientific Company	One Reagent Lane
One Reagent Lane	Fair Lawn, NJ 07410
Fair Lawn, NJ 07410	Tel: (201) 796-7100

Emergency Telephone Number For information **US** call: 001-800-ACROS-01 / **Europe** call: +32 14 57 52 11
Emergency Number **US**:001-201-796-7100 / **Europe**: +32 14 57 52 99
CHEMTREC Tel. No.**US**:001-800-424-9300 / **Europe**:001-703-527-3887

2. Hazard(s) identification

Classification

Classification under 2012 OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200)

This chemical is not considered hazardous by the 2012 OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200)

Label Elements

None required

Hazards not otherwise classified (HNOC)

None identified

Section 1 - Chemical Product and Company Identification

MSDS Name: Toluene

Catalog Numbers: AC167900000, AC167900025, AC176850000, AC176850025, AC176850050, AC176850051, AC176850250, AC176855000, AC177160000, AC177160025, AC177160050, AC177160100, AC177160250, AC268370000, AC268370010, AC326980000, AC326980010, AC326982500, AC332070000, AC332070010, AC332070025, AC364410000, AC364410010, AC364410025, AC364411000, AC364415000, AC379140010, AC379140025, AC386760000, AC386760050, AC421160000, AC421160010, AC421160040, AC421170000, AC424550000, AC424550250, AC610590190, AC610590500, AC610591150, AC610592000, AC610790190, AC610790500, AC610791150, AC610792000, 16790-0010, 17685-0010, 17716-0010, 26837-0025, 42117-0040, 42117-5000, 42455-0010, 42455-5000, 61011-0040, 61046-0010, 61046-1000, 61095-1000, BP2625100, S80229HPLC, T288-1, T288RS-19, T290-1, T290-1LC, T290-4, T290N-219, T290RS-19, T290RS-200, T290RS-28, T290SK-1, T290SK-4, T290SS-115, T290SS-200, T290SS-28, T290SS-50, T291-4, T291-4LC, T291RS-200, T291SK-4, T291SK4, T291SS19, T313-4, T313SK-4, T323-20, T323-4, T324-1, T324-20, T324-200, T324-200LC, T324-20LC, T324-4, T324-500, T324CU1300, T324FB-115, T324FB-19, T324FB-200, T324FB-50, T324J-500, T324POP-200, T324POPB-200, T324RB-115, T324RB-19, T324RB-200, T324RS-115, T324RS-19, T324RS-200, T324RS-28, T324RS-50, T324S-4, T324SK-4, T324SS-115, T324SS-200, T324SS-28, T324SS-50, T326F-1GAL, T326P-4, T326S-20, T326S20LC, T330-4

Synonyms: Methylbenzene; Methylbenzol; Phenylmethane; Toluol.

Company Identification:

Fisher Scientific
1 Reagent Lane
Fair Lawn, NJ 07410

For information, call: 201-796-7100

Emergency Number: 201-796-7100

For CHEMTREC assistance, call: 800-424-9300

For International CHEMTREC assistance, call: 703-527-3887

LAPORAN TUGAS AKHIR
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



Section 2 - Composition, Information on Ingredients

CAS#	Chemical Name	Percent	EINECS/ELINCS
108-88-3	Toluene	>99	203-625-9

Section 3 - Hazards Identification

EMERGENCY OVERVIEW

Appearance: colorless liquid. Flash Point: 4 deg C.

Warning! Flammable liquid and vapor. Causes eye, skin, and respiratory tract irritation. Breathing vapors may cause drowsiness and dizziness. May be absorbed through intact skin. Aspiration hazard if swallowed. Can enter lungs and cause damage. Possible risk of harm to the unborn child. May cause central nervous system depression. May cause liver and kidney damage.

Target Organs: Kidneys, central nervous system, liver, respiratory system, eyes, skin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam mengerjakan laporan penelitian tugas akhir, penulis banyak mendapatkan dukungan dari berbagai pihak. Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu, diantaranya :

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Supanji Raharja dan Ibu Arne Laksmiasanti serta Adik Miranda Azahra dan Rafi Raditya Pramana yang senantiasa mendoakan dan menyemangati hingga saat ini.
2. Seluruh bapak dan ibu dosen penulis yang senantiasa memberikan doa, nasehat serta masukan kepada penulis
3. Mbak Yenny yang telah membantu penulis dalam melakukan pengujian selama penelitian tugas akhir
4. Teman-teman mahasiswa bimbingan Bu Diah yaitu Mifta, Adel, Krisna, Adzon, Arjun dan Azhim yang selalu membantu proses pengerjaan tugas akhir
5. Safa, Elsa, Juli, Aul, Leho dan Shofi yang selalu menemani, memotivasi dan membantu penulis selama pengerjaan tugas akhir
6. Teman-teman keluarga besar Laboratorium Kimia Material yang menjalani tugas akhir tahun genap 2021/2022
7. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu

Surabaya, 25 Juli 2022

Penulis

Shafira Marelia Arifa

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Solo, pada tanggal 15 Maret 2000 sebagai anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dari SDN 15 Mangkubumen Lor 2009-2012, SMPN 1 Surakarta 2012-2015, dan SMA Semesta Semarang 2015-2018. Pada tahun 2018, penulis melanjutkan perkuliahan jenjang sarjana di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi dan kepanitiaan. Selama perkuliahan, penulis menjadi staff dan staff ahli sosial masyarakat HMMT di tahun 2019-2021.

Kemudian penulis juga pernah menjadi relawan pengajar di FTI Mengajar pada tahun 2019. Selama masa perkuliahan, penulis juga pernah melaksanakan KKN Tematik di SDN Sumber 2 Surakarta. Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT. GESITS Technologies Indo. Penulis mengakhiri studi S1 dengan mengambil bidang Material Inovatif khususnya material untuk degradasi limbah yaitu *Spent Bleaching Earth* atau SBE. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email shafiramarel@gmail.com dan nomor telepon 0895377608175.