

**SINTESIS DAN UJI AKTIFITAS MATERIAL FOTOKATALISIS
Bi₄Ti₃O₁₂, SrBi₄Ti₄O₁₅, DAN Sr₂Bi₄Ti₅O₁₈ DALAM MENDEGRADASI
RHODAMIN B**

SKRIPSI

**Oleh:
SYILFIA AINUR ROHMA BASHOFI
NIM. 16630077**



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

**SINTESIS DAN UJI AKTIFITAS MATERIAL FOTOKATALISIS
Bi₄Ti₃O₁₂, SrBi₄Ti₄O₁₅, DAN Sr₂Bi₄Ti₅O₁₈ DALAM MENDEGRADASI
RHODAMIN B**

SKRIPSI

**Oleh:
SYILFIA AINUR ROHMA BASHOFI
NIM. 16630077**

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

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


**SINTESIS DAN UJI AKTIFITAS MATERIAL FOTOKATALISIS
Bi₄Ti₃O₁₂, SrBi₄Ti₄O₁₅, DAN Sr₂Bi₄Ti₅O₁₈ DALAM MENDEGRADASI
RHODAMIN B**

SKRIPSI

**Oleh:
SYILFIA AINUR ROHMA BASHOFI
NIM. 16630077**

**Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal: 16 Juni 2023**

Pembimbing I



**Dr. Anton Prasetyo, M. Si
NIP. 19770925 200604 1 003**

Pembimbing II



**Ach. Nashichuddin, M.A
NIP. 10730705 200003 1 002**

**Mengetahui,
Ketua Program Studi Kimia**



**Rachmawati Mingsih, M. Si
NIP. 19810811 200801 2010**

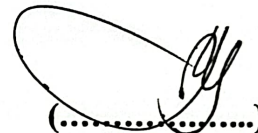
**SINTESIS DAN UJI AKTIFITAS MATERIAL FOTOKATALISIS
Bi₄Ti₃O₁₂, SrBi₄Ti₄O₁₅, DAN Sr₂Bi₄Ti₅O₁₈ DALAM MENDEGRADASI
RHODAMIN B**

SKRIPSI


**Oleh:
SYILFIA AINUR ROHMA BASHOFI
NIM. 16630077**

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 16 juni 2023**

**Penguji Utama : Himmatul Baroroh, M.Si
NIP. 19750730200312 2 001**


(.....)

**Ketua Penguji : Lu'luatul Hammidatul Ulya, M.Sc
NIDT. 19900906 20180201 2 239**


(.....)

**Sekretaris Penguji : Dr. Anton Prasetyo, M. Si
NIP. 19770925 200604 1 003**


(.....)

**Anggota Penguji : Ach. Nashichuddin, M.A
NIP. 10730705 200003 1 002**


(.....)

**Mengesahkan,
Ketua Program Studi**


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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Syilfia Ainur Rohma Bashofi
NIM : 16630077
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul penelitian : Sintesis dan Uji Aktifitas Material Fotokatalis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$,
 $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, dan $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}$ dalam Mendegradasi
Rhodamin B

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan maka saya bersedia menerima konsekuensi atas perbuatan tersebut.

Malang, 7 Juni 2023
Yang membuat pernyataan,



Syilfia Ainur Rohma Bashofi
NIM. 16630077

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

Kedua orang tua tercinta, Bapak Shofi'i dan Ibu Siti Rohma yang senantiasa memberikan kasih sayang, didikan serta do'a yang selalu mengiringi tiap langkah saya. Kepada sahabat-sahabat kimia UIN Malang yang membantu penulis selama masa penulisan skripsi. Semoga suatu saat kebersamaan dan pertemanan yang singkat ini bisa berbuah di kemudian hari.

Bapak ibu dosen serta guru yang telah membimbing serta mengajari saya dengan penuh ketulusan dan kesabaran.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah Swt. yang telah memberikan rahmat, taufik dan hidayah-Nya. Selawat dan salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad saw., keluarga, sahabat, serta pengikutnya. Atas *ridho* dan kehendak Allah Swt. penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Sintesis dan Uji Aktifitas Material Fotokatalisis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dan $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dalam Mendegradasi Rhodamin B”** sebagai syarat menyelesaikan tugas akhir kuliah. Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian naskah skripsi ini, khususnya kepada:

1. Prof. Dr. M. Zainuddin, MA selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Rachmawati Ningsih, M.Si selaku Ketua Program Studi Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. Anton Prasetyo, M.Si selaku Dosen Pembimbing I Program Studi Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Ach. Nashichuddin, M.A selaku Dosen Pembimbing II Program Studi Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
6. Segenap dosen, laboran, dan pegawai yang telah banyak membantu dan memberikan pelayanan, pengalaman dan wawasan kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.
7. Kedua orang tua serta kakak-kakak yang memberi doá, dukungan dan bimbingan kepada penulis dalam penulisan skripsi ini.
8. Seluruh teman-teman yang telah membantu dalam penyelesaian proposal penulisan skripsi ini.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan naskah skripsi ini dan juga masih jauh dari sempurna. Segala kritik dan

saran yang bersifat membangun dan membantu penulis agar lebih berkembang lagi tentunya sangat diharapkan oleh penulis. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Malang, 13 Maret 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR PERSAMAAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
مستخلص البحث	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Senyawa Aurivillius	6
2.2 Sifat Fotokatalis BIT dan SBT4	10
2.3 Metode Lelehan Garam	11
2.4 Sintesis Senyawa Aurivillius dengan Metode Lelehan Garam	12
2.5 Teknik Difraksi Sinar-X	16
2.6 <i>Scanning Electron Microscopy</i>	17
2.7 Spektroskopi UV-Vis	17
2.8 UV-Vis <i>DRS</i>	18
2.9 Peran Manusia sebagai Khalifah di Bumi	19
BAB III METODELOGI PENELITIAN	22
3.1 Waktu dan Tempat penelitian	22
3.2 Alat dan Bahant	22
3.2.1 Alat	22
3.2.2 Bahan	22
3.3 Rancangan Penelitian	22
3.4 Tahapan Penelitian	23
3.5 Prosedur Kerja	24
3.5.1 Sintesis BIT, SBT4 dan SBT5 dengan Metode Lelehan Garam	24
3.5.2 Karakterisasi Sampel Produk BIT, SBT4 dan SBT5	24

3.5.2.1	Karakterisasi dan Analisis Hasil Sintesis dengan XRD	24
3.5.2.2	Karakterisasi dan Analisis Hasil Sintesis dengan SEM	24
3.5.2.3	Karakterisasi dan Analisis Hasil Sintesis dengan Spektroskopi UV-Vis DRS	25
3.6	Uji Fotokatalis Hasil Sintesis dengan Spektroskopi UV-Vis	25
3.6.1	Pembuatan Larutan Induk Rhodamin B	25
3.6.2	Pembuatan Kurva Standar Larutan Rhodamin B	25
3.6.3	Pengujian Kestabilan Larutan Rhodamin B	25
3.6.4	Pengujian Adsorpsi-Desorpsi Senyawa BIT, SBT4 dan SBT5	26
3.6.5	Pengujian Aktivitas Fotokatalis dalam Degradasi Rhodamin B	26
3.7	Analisis Data	27
3.7.1	Analisis Data XRD	27
3.7.2	Analisis Data SEM	27
3.7.3	Analisis Data UV-Vis DRS	27
3.7.4	Analisis Data UV-Vis	28
BAB IV	PEMBAHASAN	29
4.1	Sintesis BIT, SBT4 dan SBT5 dengan Metode Lelehan Garam	29
4.2	Karakterisasi BIT, SBT4 dan SBT5 Menggunakan XRD	30
4.3	Karakterisasi BIT, SBT4 dan SBT5 Menggunakan SEM	33
4.4	Karakterisasi BIT, SBT4 dan SBT5 Menggunakan UV-Vis DRS	34
4.5	Uji Aktifitas Fotokatalitik BIT, SBT4 dan SBT5 menggunakan Rhodamin-B	36
4.5.1	Spektra UV-Vis Rhodamin B	36
4.5.2	Pembuatan Kurva Standar Rhodamin B	37
4.5.3	Uji Kestabilan Larutan Rhodamin-B	37
4.5.4	Uji Kemampuan Adsorpsi Senyawa BIT, SBT4 dan SBT5 Terhadap Rhodamin-B	38
4.5.5	Uji Degradasi Senyawa BIT, SBT4 dan SBT5 Terhadap Rhodamin-B	40
4.6	Pemanfaatan Material Fotokatalis dalam Perspektif Islam	43
BAB V	PENUTUP	45
5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	47	
LAMPIRAN	50	

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Diagram Alir	46
Lampiran 2	Perhitungan	54
Lampiran 3	Data Standart XRD JCPDS	57
Lampiran 4	Data Standart XRD ICSD	65
Lampiran 5	Hasil Karakterisasi Menggunakan XRD	72
Lampiran 6	Hasil Analisis Pengotor Senyawa BIT, SBT4 dan SBT5	78
Lampiran 7	Hasil Karakterisasi Menggunakan SEM	81
Lampiran 8	Perhitungan Nilai Energi Celah Pita	84
Lampiran 9	Hasil karakterisasi menggunakan EDS	88
Lampiran 10	Perhitungan konsentrasi, % adsorpsi desorpsi dan % degradasi material	90
Lampiran 11	Dokumentasi	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Aurivillius	7
Gambar 2.2	Struktur Aurivillius Lapis 3 BIT.....	8
Gambar 2.3	Struktur Aurivillius Lapis 4 SBT4	9
Gambar 2.4	Struktur Aurivillius Lapis Lima SBT5	10
Gambar 2.5	Prosedur persiapan dalam sintesis lelehan garam	12
Gambar 2.6	Pola XRD partikel BIT kalsinasi pada suhu 800°C selama 2 jam	13
Gambar 2.7	Morfologi sampel BIT dibuat dengan metode lelehan garam pada 800°C selama 2 jam	14
Gambar 2.8	(a) Pola XRD nanosheet SBT4, (b) Morfologi nanosheet SBT4	14
Gambar 2.9	Pola difraksi sinar-X senyawa SBT5	15
Gambar 2.10	Morfologi nanosheet SBT5.....	16
Gambar 2.11	Skema teknik difraksi sinar-X	16
Gambar 2.12	Skema <i>scanning electron microscopy</i>	17
Gambar 2.13	Skema Spektroskopi UV-Vis	18
Gambar 2.14	Skema <i>UV-Vis DRS</i>	19
Gambar 4.1	Hasil sintesis berturut-turut BIT, SBT4 dan SBT5	30
Gambar 4.2	Pola difraksi sinar-X senyawa BIT	30
Gambar 4.3	Pola difraksi sinar-X senyawa SBT4	31
Gambar 4.4	Pola difraksi sinar-X senyawa SBT5	32
Gambar 4.5	Hasil SEM dengan perbesaran 15.000 senyawa (a.) BIT, (b.) SBT4, dan (c.) SBT5	33
Gambar 4.6	Spektra reflektansi senyawa BIT, SBT4 dan SBT5	34
Gambar 4.7	Plot Tauc senyawa BIT, SBT4 dan SBT5	35
Gambar 4.8	Spektra Rhodamin B	36
Gambar 4.9	Kurva Standar Rhodamin B	37
Gambar 4.10	Spektra Absorbansi UV-Vis uji kestabilan pada (a) kondisi gelap (b) kondisi terang	38
Gambar 4.11	Spektra Absorbansi uji Adsorpsi (a.) BIT, (b.) SBT4, dan (c.) SBT5	39
Gambar 4.12	Spektra absorbansi uji degradasi BIT dengan tiga kali pengulangan	40
Gambar 4.13	Spektra absorbansi uji degradasi SBT4 dengan tiga kali pengulangan	40
Gambar 4.14	Spektra absorbansi uji degradasi SBT5 dengan tiga kali pengulangan	41
Gambar 1.5.1	Difaktogram BIT	78
Gambar 1.5.2	Difaktogram SBT4	79
Gambar 1.5.3	Difaktogram SBT5	80
Gambar 1.6.1	Morfologi BIT pada pembesaran (a) 2000x, (b) 7000x, (c) 15.000x dan (d) 20.000x.....	81
Gambar 1.6.2	Morfologi SBT4 pada pembesaran (a) 2000x, (b) 7000x, (c)15.000x dan (d) 20.000x.	82

Gambar 1.6.3	Morfologi SBT5 pada pembesaran (a) 2000x, (b) 7000x, (c) 15.000x dan (d) 20.000x	83
Gambar 1.7.1	Spektra DRS hubungan % reflektansi dengan panjang gelombang senyawa (a.) BIT, (b.) SBT4, dan (c.) SBT5	84
Gambar 1.7.2	Sepektra DRS energi celah pita BIT	85
Gambar 1.7.3	Sepektra DRS energi celah pita SBT4	86
Gambar 1.7.4	Sepektra DRS energi celah pita SBT5	87
Gambar 1.9.1	Proses penggerusan Sampel	98
Gambar 1.9.2	Hasil penggerusan sampel	98
Gambar 1.9.3	Proses kalsinasi sampel	98
Gambar 1.9.4	Hasil kalsinasi sampel	99
Gambar 1.9.5	Proses pencucian dengan aquades panas	99
Gambar 1.9.6	Proses pengeringan dengan oven	99
Gambar 1.9.7	Hasil sintesis senyawa BIT, SBT4 dan SBT5	100
Gambar 1.9.8	Uji kestabilan larutan rhodamin B	100
Gambar 1.9.9	Uji adsorpsi	100
Gambar 1.9.10	Uji aktifitas fotokatalis BIT	101
Gambar 1.9.11	Uji aktifitas fotokatalis SBT4.....	101
Gambar 1.9.12	Uji aktifitas fotokatalis SBT5.....	101
Gambar 1.9.13	Bagian dalam fotokatalis reaktor dengan (a) lampu uv komersial, (b) sampel dan (c) hotplate magnetic stirrer ...	102
Gambar 1.9.14	Fotokatalis reaktor ukuran 40x40 cm	102
Gambar 1.9.15	Lampu bohlam UV komersial	102

DAFTAR TABEL

Table 3.1	Komposisi prekursor senyawa (a.) BIT, (b.) SBT4, dan (c.) SBT5	23
Table 4.1	Nilai energi celah pita dan panjang gelombang senyawa (a.) BIT (b.) SBT4 dan (c.) SBT5	35
Table 4.2	Hasil uji adsorpsi-desorpsi (a.) BIT, (b.) SBT4, dan (c.) SBT5	39
Tabel 4.3	Hasil uji degradasi Rhodamin-B dengan katalis (a.) BIT, (b.) SBT4, dan (c.) SBT5	42
Tabel 1.10.1	Hasil uji kestabilan larutan rhodamine-B	86

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 3.1	Persamaan Kubelka-Munk	27
Persamaan 3.2	Persamaan hubungan faktor Kubelka-Munk dengan energi celah pita	27
Persamaan 3.3	Persamaan persen degradasi	28

ABSTRAK

Bashofi, Syilfia Ainur Rohma. 2023. **Uji Aktifitas Material Fotokatalisis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, dan $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ Dalam Mendegradasi Rhodamin B**. Skripsi. Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Dr. Anton Prasetyo M. Si; Pembimbing II: Ach. Nashichuddin, M.A.

Kata kunci: $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$, aktivitas fotokatalitik, metode lelehan garam, Rhodamin-B.

Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, dan $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$, merupakan senyawa keluarga Aurivillius yang memiliki potensi sebagai material fotokatalis. Dalam penelitian ini, dilakukan sintesis fotokatalis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, dan $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$, dengan metode lelehan garam campuran NaCl-KCl dan dilakukan uji aktivitas fotokatalitiknya dalam mendegradasi rhodamine-B. Pola difraksi sinar-X menunjukkan senyawa target $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, dan $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ telah berhasil disintesis, namun masih ditemukan pengotor pada sampel (a) $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dengan pengotor TiO_2 *rutile* (b) $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan pengotor $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dan TiO_2 *brookite* dan (c) SBT5 dengan pengotor BIT, Bi_2O_3 dan TiO_2 *brookite*. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan morfologi senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, dan $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ berbentuk *plate-like*. Hasil perhitungan spektra DRS menggunakan persamaan Kubelka-Munk menunjukkan senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, dan $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ memiliki energi celah pita secara berurutan adalah 2,98; 2,60; dan 2,65 eV. Hasil uji degradasi larutan rhodamin B menunjukkan senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, dan $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ memiliki persentase degradasi secara berurutan sebesar 43,46; 41,93 dan 46,08% selama 60 menit.

ABSTRACT

Bashofi, Syilfia Ainur Rohma. 2023. **Photocatalytic Activity Test of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, and $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ in Rhodamine B Degradation.** Thesis. Department of Chemistry, Science and Technology Faculty, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor: Dr. Anton Prasetyo M. Si; Supervisor II: Ach. Nashichuddin, M.A.

Keyword: $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$, photocatalytic activity, molten salts, Rhodamine-B

$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, and $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ is a compound of the Aurivillius family that has potential as a photocatalyst. In this study, the synthesis of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, and $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ photocatalysts was carried out using the NaCl-KCl mixed salt melt method and their photocatalytic activity was tested in degrading rhodamine-B. X-ray diffraction patterns show that the target compounds $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, and $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ have been successfully synthesized, but still found impurities in samples (a) $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ with TiO_2 rutile impurities (b) $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ with $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ and TiO_2 brookite impurities and (c) $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ with $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, Bi_2O_3 and TiO_2 brookite impurities. SEM characterization results show the morphology of the $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, and $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ compounds is plate-like. The results of the DRS spectra calculation using the Kubelka-Munk equation show that the $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, and $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ compounds have band gap energies of 2.98; 2.60; and 2.65 eV, respectively. The degradation test results of rhodamine B solution showed that $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, and $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ compounds had a degradation percentage of 43.46; 41.93 and 46.08% respectively for 60 minutes.

مستخلص البحث

باشوفي، سيلفيا عينور روهما. 2023. اختبار النشاط لمواد التحفيز الضوئي $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ و $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ و $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$. البحث الجامعي. قسم الكيمياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية بمالانج. المشرف الأول: الدكتور انطون براستيتو الماجستير؛ المشرف الثاني: احمد نصيح الدين الماجستير.

الكلمات المفتاحية: $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ، $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ، $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ ، النشاط التحفيزي الضوئي، طريقة ذوبان الملح. رودامين ب.

المركبات $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ و $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ و $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ ، هي مركبات من عائلة أوريفيلبوس التي لها إمكانية كمواد محفزة ضوئية. في هذا البحث، تم إجراء تخليق المحفزات الضوئية $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ و $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ و $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ باستخدام الملح المختلط بطريقة NaCl-KCl وتم اختبار النشاط التحفيزي الضوئي في تحلل رودامين-ب. أظهر نمط حيود الأشعة السينية أن المركبات المستهدفة $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ و $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ و $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ قد تم تصنيعها بنجاح، ولكن لا تزال توجد شوائب في العينات (أ) مع شوائب روتيل TiO_2 (ب) $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ مع $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ و TiO_2 شوائب بروكيت و (ج) $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ مع شوائب $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ، Bi_2O_3 و TiO_2 بروكيت. أظهرت نتائج توصيف SEM التشكل الشبيه بالصفائح للمركبات $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ و $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ و $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$. تظهر نتائج الحسابات الطيفية DRS باستخدام معادلة Kubelka-Munk أن المركبات $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ و $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ و $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ لها طاقة فجوة نطاق تبلغ 2.98 على التوالي ؛ 2.60 ؛ و 2.65 فولت. أظهرت نتائج اختبار التحلل لمحلل رودامين ب أن المركبات $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ و $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ و $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ لها نسبة تحلل 43.46 على التوالي. 41.93 و 46.08% لمدة 60 دقيقة.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era sekarang, industri tekstil berkembang sangat pesat, yang menandakan bertambahnya jumlah limbah tekstil yang dihasilkan, khususnya limbah cair zat warna. Beberapa teknik telah dikembangkan untuk mengatasi masalah ini diantaranya dengan cara kimia antara lain degradasi warna dengan reaksi oksidasi, reaksi anaerob dan reaksi fotokatalisis (Rashed, dkk., 2007). Secara fisika dengan koagulasi, sedimentasi, adsorpsi menggunakan karbon aktif, silika dan *biomaterial* (Mondal, 2008). Beberapa pihak telah melaporkan potensi teknologi fotokatalisis untuk mendegradasi zat warna dengan berbagai keuntungan di antaranya hasil limbah tidak berbahaya dan lebih hemat dalam pemakaian bahan kimia serta energi. Fotokatalitik juga merupakan metode yang potensial dan efektif dalam mengolah limbah-limbah senyawa organik dan non organik karena mempunyai kemampuan sebagai reduktor dan oksidator (Parent and Blake 1996, Slamet 2004, Naimah., dkk. 2014). Manusia sebagai *khalifah* di bumi memiliki peran penting dalam menjaga lingkungan salah satunya dengan cara mendegradasi zat warna menggunakan metode fotokatalis sebelum limbah dibuang ke sungai. Allah telah menjelaskan peran manusia sebagai *khalifah* di bumi dalam al-Quran surat Yunus (10) ayat 14 yang berbunyi:

ثُمَّ جَعَلْنَاكُمْ خَلَائِفَ فِي الْأَرْضِ مِنْ بَعْدِهِمْ لِنَنْظُرَ كَيْفَ تَعْمَلُونَ

“Kemudian kami jadikan kamu sebagai pengganti-pengganti (mereka) di bumi setelah mereka, untuk kami lihat bagaimana kamu berbuat.” (QS. Yunus (10): 14).

Shihab (2012) dalam Tafsir al-Mishbah menjelaskan bahwa dalam surat Yunus ayat 14 yang dimaksud dengan pengganti-pengganti (mereka) adalah seluruh umat Nabi Muhammad sebagai khalifah di bumi, untuk memeriksa dan memperlihatkan apa yang akan dipilih (ketaatan atau kedurhakaan) setelah mengetahui apa yang terjadi atas orang-orang sebelumnya. Pengolahan limbah zat warna menggunakan proses fotokatalitik merupakan salah satu upaya menjaga kelestarian lingkungan yang membuktikan ketaatan umat Nabi Muhammad sebagai khalifah di bumi yang memiliki tugas dan tanggung jawab untuk melestarikan lingkungan dan menanggulangi pencemaran lingkungan.

Fotokatalis, secara umum didefinisikan sebagai proses reaksi kimia yang dibantu oleh cahaya dan katalis padat (Arutanti, dkk., 2009). Fotokatalis mengubah energi cahaya menjadi energi kimia dan dalam prosesnya akan menghasilkan radikal hidroksil yang akan bereaksi redoks dengan senyawa organik (polutan), sehingga air akan kembali jernih karena terpisahkan dari limbah cair (Sucahya, dkk., 2016; Miyake dkk. 2015; Emin, S. dkk. 2015; Yuan dkk. 2015; Irieb dkk. 2015). Polutan ini diubah menjadi O_2 dan H_2 yang lebih ramah lingkungan (Sucahya, dkk., 2016; Miyake dkk. 2015; Emin, dkk. 2015; Yuan dkk. 2015; Irieb dkk. 2015; Ogi dkk. 2012). Material semikonduktor umumnya digunakan sebagai fotokatalis seperti TiO_2 , WO_3 , dan SnO_2 (Sucahya, dkk., 2016) selain itu ada ZnO , Fe_2O_3 , CdS , dan sebagainya (Sakhtivel, dkk., 2003).

Aurivillius mempunyai rumus umum $Bi_2A_{n-1}B_nO_{3n+3}$ yang terdiri dari lapisan $[Bi_2O_2]^{2+}$ dan lapisan perovskit dengan komposisi $[A_{n-1}B_nO_{3n+3}]^{2-}$. Posisi A dapat diisi oleh kation yang berukuran besar seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Pb^{2+} , Bi^{3+} atau Ln^{3+} dimana Ln adalah unsur-unsur tanah jarang dan pada posisi B dalam

struktur perovskit dapat diisi oleh kation berukuran kecil seperti Fe^{3+} , Mn^{3+} , Cr^{3+} , Ti^{4+} , Nb^{5+} atau W^{6+} dan $n = 1, 2, 3$ sampai ke- n (Zulhadjri, dkk., 2013). Aurivillius merupakan salah satu jenis oksida logam yang dapat dimanfaatkan sebagai *non-volatile ferroelectric random-access memory* (FRAM) dan *dynamic random access memory* (DRAM) atau sebagai material penyimpan memori, material magnetik bahan konduktor, katalis dan bahan fotoluminensense (Syuhadi dkk. 2014). Beberapa material Aurivillius dilaporkan berpeluang digunakan sebagai material fotokatalis di antaranya adalah $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{Bi}_5\text{Ti}_3\text{FeO}_{15}$, $\text{RbLaTa}_2\text{O}_7$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, dan $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$. Aktivitas fotokatalitik dari suatu material dipengaruhi oleh banyak faktor yaitu struktur kristal, defek kristal, kristalinitas, kation A dan B pada senyawa lapis perovskite dan Aurivillius dan morfologi partikel. Senyawa Aurivillius adalah material berlapis-lapis yang tersusun atas lapis oktahedra dan lapis bismuth dengan jumlah lapis 1 sampai 7. Beberapa material yang pernah dilaporkan berhasil disintesis diantaranya $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ (Wang, dkk., 2013), $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ (Cao, dkk., 2015) dan $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ (Zhao, dkk., 2020). Pengaruh jumlah lapis pernah dilaporkan oleh Machida dkk. (2001) dengan melakukan studi komputasi pada $\text{RbLaTa}_2\text{O}_7$ (dua lapisan perovskite) dan Machida, dkk. (2005) melaporkan $\text{RbCa}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10}$ (tiga lapisan perovskite) untuk memprediksi perbedaan aktivitas fotokatalitik untuk pemisahan air secara keseluruhan antara dua bahan. Hasil studi menunjukkan bahwa reaktivitas lubang di pita valensi (diisi oleh orbital $2p$ oksigen) dengan molekul terinterkalasi bervariasi sehubungan dengan jumlah lapisan perovskit, dan bahwa atom oksigen terminal menghadapi galeri interlayer di perovskit tiga lapis memberikan kontribusi yang kuat untuk pembentukan pita valensi maksimum, sedangkan pada perovskite dua lapis tidak memberikan

kontribusi yang kuat. Hasilnya, perovskit tiga lapis memperlihatkan reaktivitas yang lebih tinggi daripada perovskite dua lapis. Sehingga dapat dikatakan bahwa semakin banyak jumlah lapisan maka semakin tinggi reaktivitas pada pembentukan pita valensi. Oleh karena itu, pada kasus ini, aktivitas rendah dari nanosheet HLaNb_2O_7 (dua lapisan perovskit) dikarenakan reaktivitas yang rendah dari lubang fotogenerasi pada pita valensi juga.

Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ (BIT), $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ (SBT4) dan $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ (SBT5)) merupakan senyawa Aurivillius dengan lapis berbeda yaitu tiga, empat dan lima. Rosyidah, dkk., (2008) melaporkan bahwa BIT mempunyai struktur kristal ortorombik dengan space group $B2cb$. Mikrianto, dkk., (2014) melaporkan SBT4 mempunyai struktur kristal ortorombik dengan grup ruang $A2_1am$ dan Wei, dkk., (2016) melaporkan bahwa SBT5 mempunyai struktur kristal ortorombik dengan grup ruang $B2cb$. Senyawa BIT dilaporkan mempunyai energi celah pita yang besar yaitu 3,2 eV (Cheng, 2021), sedangkan SBT4 memiliki energi celah pita yang cukup besar yaitu, 3.0 eV (Tu, dkk., 2019) dan pada senyawa SBT5 memiliki energi celah pita yang besar yaitu, 3.34 eV (Elaya, dkk., 2015), karena energi celah pita yang besar mengakibatkan panjang gelombangnya hanya bisa terdeteksi pada sinar UV, sedangkan sinar UV yang masuk ke bumi hanya 4% (Fan, dkk., 2009), sehingga senyawa-senyawa ini kurang efisien untuk fotokatalisis (Wang,2013).

Berdasarkan uraian di atas diatas maka dilakukan kajian terhadap aktivitas pengujian fotokatalitik pada senyawa Aurivillius BIT, SBT4 dan SBT5 .Senyawa-senyawa tersebut disintesis dengan menggunakan metode lelehan garam NaCl/KCl. Senyawa yang terbentuk akan dianalisa dengan menggunakan data XRD, sedangkan perubahan morfologi bentuk partikel akan dianalisa dengan

menggunakan data pengukuran SEM dan energi celah pita akan diukur dengan UV DRS dan aktivitas fotokatalitik akan diukur dengan UV-Vis dalam kemampuan mendegradasi rhodamin B.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana karakteristik dan aktifitas fotokatalis senyawa BIT, SBT4 dan SBT5 yang diperoleh dari sintesis dengan metode lelehan garam dalam mendegradasi zat warna rhodamin-B.

1.3 Tujuan

Mengetahui karakteristik dan aktifitas fotokatalis senyawa BIT, SBT4 dan SBT5 yang diperoleh dari sintesis dengan metode lelehan garam dalam mendegradasi zat warna rhodamin-B.

1.4 Batasan Masalah

- a. Menggunakan campuran garam NaCl/KCl (1:1) dengan perbandingan mol produk target terhadap mol fluks 1:7.
- b. Suhu sintesis adalah 675, 775 dan 825 °C
- c. Waktu sintesis adalah 6 jam.

1.5 Manfaat

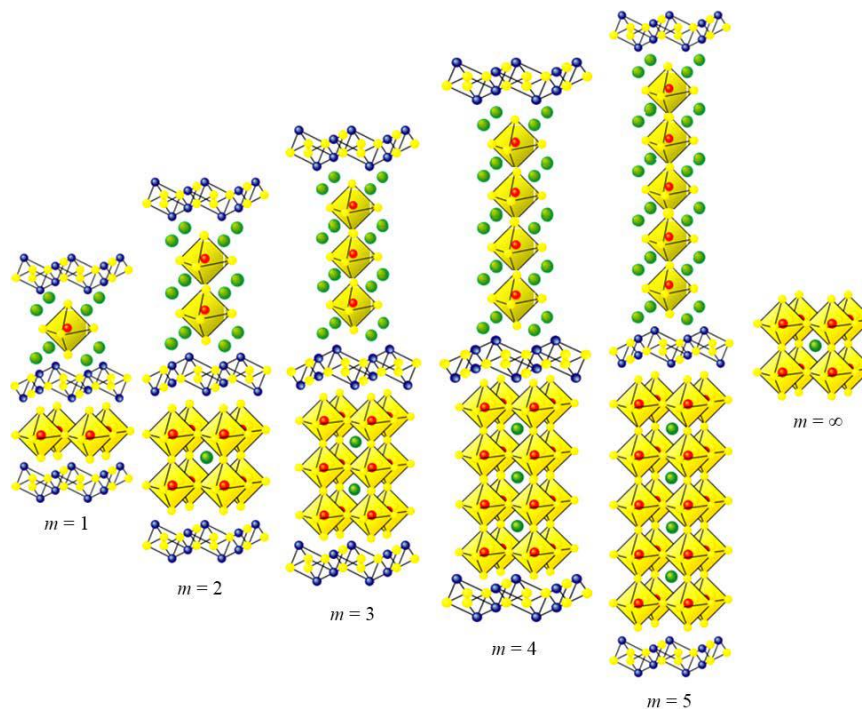
Memberikan gambaran tentang pengaruh aktifitas fotokatalis senyawa BIT, SBT4 dan SBT5 yang diperoleh dari metode lelehan garam dalam mendegradasi zat warna rhodamin-B.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

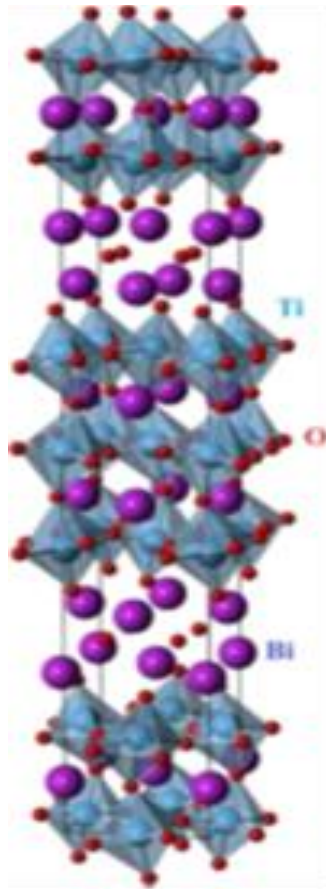
2.1 Senyawa Aurivillius

Aurivillius merupakan salah satu jenis oksida logam yang dapat dimanfaatkan sebagai FRAM dan DRAM atau sebagai material penyimpan memori, material magnetik bahan konduktor, katalis dan bahan fotoluminensense (Syuhadi, dkk., 2014). Aurivillius mempunyai rumus umum $[\text{Bi}_2A_{n-1}B_n\text{O}_{3n+3}]$ ($n = 1, 2, 3, 4$), yang terdiri dari lapisan $[\text{Bi}_2\text{O}_2]^{2+}$ dan lapisan perovskit dengan komposisi $[A_{n-1}B_n\text{O}_{3n+3}]^2$. Posisi A dapat diisi oleh kation yang berukuran besar seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Pb^{2+} , Bi^{3+} atau Ln^{3+} , dimana Ln adalah unsur-unsur tanah jarang. Pada posisi B dalam struktur perovskit dapat diisi oleh kation berukuran kecil seperti Fe^{3+} , Mn^{3+} , Cr^{3+} , Ti^{4+} , Nb^{5+} atau W^{6+} (Zulhadjri, dkk., 2013). Senyawa Aurivillius yang telah dipelajari memiliki lapisan yang berbeda diantaranya, Bi_2MoO_6 ($n = 1$), $\text{Bi}_3\text{NbTiO}_9$ ($n = 2$), $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ($n = 3$), $\text{CaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ($n = 4$), dan $\text{AgBi}_5\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ ($n = 5$) dengan bentuk struktur secara umum seperti Gambar 2.1. Machida, dkk., (2005) melaporkan bahwa senyawa Aurivillius yang memiliki lapisan lebih dari 2 akan memiliki reaktivitas lebih tinggi. Sehingga terdapat potensi bahwa senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ (BIT) ($n = 3$), $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ (SBT4) ($n = 4$), dan $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ (SBT5) ($n = 5$) memiliki reaktivitas lebih tinggi.



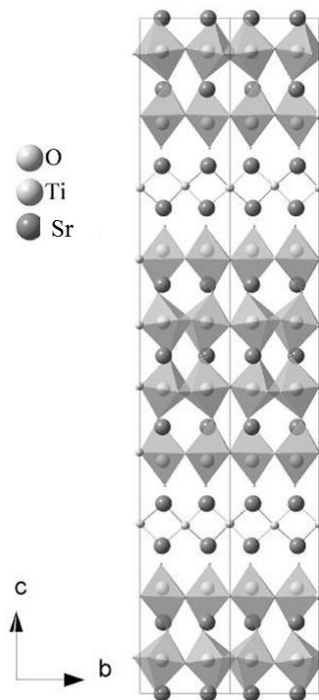
Gambar 2.1 Struktur Aurivillius (Fukunaga, dkk., 2016).

BIT adalah senyawa Aurivillius struktur lapis tiga yang tersusun oleh lapis bismut oksida (Bi_2O_2)²⁺ dan lapis titanium dioksida (TiO_6) yang ditampilkan pada Gambar 2.2. Bentuk kristal senyawa BIT dapat berubah menjadi tetratogal pada fasa paraelektrik ketika suhu pemanasan ditingkatkan (Jardiel, dkk., 2008; Petrovic dan Bobic, 2018; Zhang, dkk., 2018). Selain itu, BIT juga memiliki grup ruang yaitu *Fmmm* pada struktur kristal ortorombik (Chen, dkk., 2016). Terdapat TiO_6 dengan struktur oktahedron atau tetrahedron TiO_4 dalam struktur senyawa BIT. Pada suhu ruang, BIT memiliki struktur kristal dengan parameter kisi $a = 5,41 \text{ \AA}$, $b = 5,448 \text{ \AA}$, dan $c = 32,84 \text{ \AA}$ dengan polarisasi spontan $P_s = 50$ dan $4 \mu\text{C} / \text{cm}^2$ masing-masing sepanjang sumbu a dan c (Jardiel, dkk., 2008; Petrovic dan Bobic, 2018; Zhang, dkk., 2018). Senyawa BIT dilaporkan mempunyai aktivitas fotokatalitik yang baik karena mempunyai polihedron stereo-aktif Bi^{3+} yang memiliki pasangan elektron $6s^2$ (Wang, dkk., 2013).



Gambar 2.2 Struktur Aurivillius Lapis 3 BIT (Ivanov, dkk., 2017).

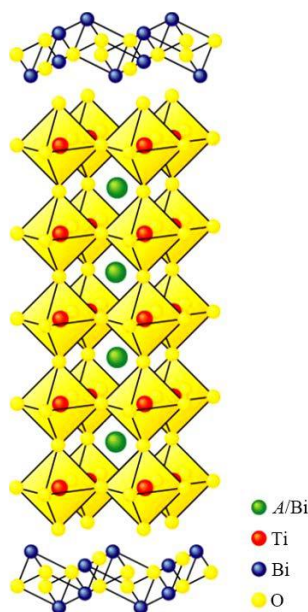
SBT4 adalah senyawa Aurivillius struktur lapis empat yang tersusun oleh lapis $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^{2+}$ dan (TiO_6) oktahedral yang ditampilkan pada Gambar 2.3. Pada senyawa SBT4, lapisan TiO_6 tersusun membentuk pola zigzag. Senyawa SBT4 memiliki struktur kristal berbentuk sebuah simetris ortorombik. Selain itu, SBT4 juga memiliki grup ruang yaitu $A2_1am$. Pada suhu ruang, SBT4 memiliki struktur kristal dengan parameter kisi $a = 5 \times 4510(5) \text{ \AA}$, $b = 5 \times 4415(5) \text{ \AA}$, dan $c = 41 \times 0233(13) \text{ \AA}$. Senyawa SBT4 dilaporkan berubah menjadi tetragonal pada fasa paraelektrik ketika suhu pemanasan lebih dari $803 \text{ K} (= 530^\circ\text{C})$ (Nalini dan Guru, 2002).



Gambar 2.3 Struktur Aurivillius Lapis 4 SBT4 (Nalini dan Guru, 2002).

SBT5 adalah senyawa Aurivillius struktur lapis lima yang berbentuk *pseudo tetragonal* (simetris ortorombik) pada suhu ruang dengan masing-masing suhu *curie* yaitu 310-330, 285 dan 267 °C. Semakin bertambahnya lapisan Aurivillius mengakibatkan suhu transisi menurun yang secara langsung berkaitan dengan tingkat distorsi struktur perovskit. Selain itu, SBT5 juga dilaporkan memiliki grup ruang yaitu $B2cb$. Sejauh ini masih sedikit informasi mengenai Aurivillius lapis lima dibandingkan lapis dibawahnya. Namun, sudah ada beberapa metode yang digunakan untuk mensintesis senyawa ini, diantaranya reaksi *solid-state*, aktivasi *mecano-chemical*, dan sintesis sol-gel (Dubey dan Rajnish, 2015). Gambar SBT5 dapat dilihat pada Gambar 2.4. Selain itu berdasarkan data ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*) diketahui bahwa BIT, SBT4 dan SBT5 memiliki parameter kristalografi, jumlah puncak, nilai hkl dan nilai pergeseran 2θ yang

berbeda. Hal ini dapat dilihat pada Lampiran 3. Data standar JCPDS XRD No. 00-035-0795 (BIT), JCPDS No. 00-143-0973 (SBT4) dan JCPDS No. 00-014-0276 (SBT5).



Gambar 2.4 Struktur Aurivillius Lapis Lima SBT₅ (Fukunaga, dkk.,2016).

2.2 Sifat Fotokatalis BIT dan SBT4

Senyawa Aurivillius lapis tiga BIT memiliki potensi dalam penguraian polutan organik secara fotokatalitik. Namun, seperti kebanyakan fotokatalis semikonduktor lainnya, BIT dengan energi celah pita $\sim 3,2$ eV memiliki tingkat pemanfaatan radiasi matahari yang rendah. Oleh karena itu, berbagai cara telah diadopsi untuk memodifikasi BIT yang bertujuan untuk meningkatkan penyerapan cahaya tampak dan pemisahan lubang elektron, seperti doping logam mulia, konstruksi heterojungsi, kopling dengan bahan karbon, dan rekayasa permukaan. Cheng, dkk. (2021) melaporkan pemanfaatan BIT terhadap fotodegradasi beberapa

zat warna sebagai model polutan. Uji coba tersebut menghasilkan bahwa fotodegradasi *methylen orange* (MO) jauh lebih cepat daripada *rhodamin-B* (RhB) dan *methylen blue* (MB). Hal tersebut disebabkan panjang gelombang spectrum absorpsi sinar ultraviolet terhadap zat warna polutan memiliki absorpsi puncak yang berbeda yaitu MO (463 nm), RhB (554 nm), dan MB (663 nm).

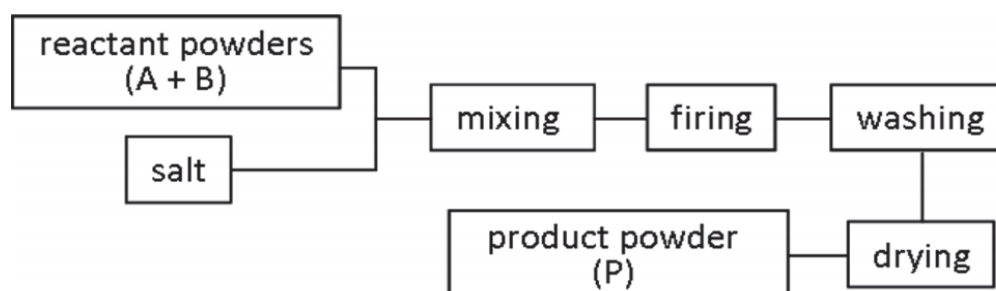
Tu, dkk. (2018) melaporkan SBT4 sebagai fotokatalis yang kuat dan efisien untuk pengurangan CO₂ dengan modifikasi maupun tanpa modifikasi terutama dalam sistem reaksi *gas-solid*. Peningkatan laju fotokatalis SBT4 juga dapat ditingkatkan dengan melakukan *annealing* pada suhu tertentu. Pengukuran absorpsi SBT4 dengan sinar ultraviolet *Diffuse Reflectance Spectra* (DRS) dilaporkan bernilai 420 nm. Selain itu, SBT4 mirip dengan semikonduktor berbasis bismuth lainnya seperti BIT yang memiliki energi celah pita bernilai 3.0 eV.

2.3 Metode Lelehan Garam

Metode lelehan garam merupakan salah satu metode untuk membentuk keramik bubuk yang melibatkan garam cair sebagai media untuk mengatur oksida kompleks dari prekursor (oksida dan karbonat). Metode ini merupakan modifikasi metode metalurgi serbuk, dengan lelehan garam sebagai pelarut untuk mengontrol karakteristik bubuk seperti bentuk dan ukuran (Kimura, dkk., 2006). Keuntungan metode lelehan garam antara lain: metode ini mudah dilakukan, hemat, dan efektif untuk diperoleh kristal murni (Zhou, dkk., 2007).

Metode lelehan garam terbukti efektif menghasilkan morfologi Aurivillius yang khas berbentuk *plate-like*. Mekanisme pembentukan morfologi *plate-like* dengan metode lelehan garam sebagai berikut: (1) reaksi padatan dan nukleasi, (2) pembentukan morfologi *plate-like*, (3) difusi dan nukleasi tepi, dan (4) difusi dan

pertumbuhan kristal. Metode lelehan garam dimulai dengan mencampurkan senyawa dengan garam sampai menjadi *product powder* seperti Gambar 2.5. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi hasil analisis terhadap partikel *plate-like* dengan metode lelehan garam yaitu; jenis garam, rasio mol garam, laju penurunan suhu sintering (Zhao, dkk., 2014), dan jenis prekursor (Kan, dkk., 2003).



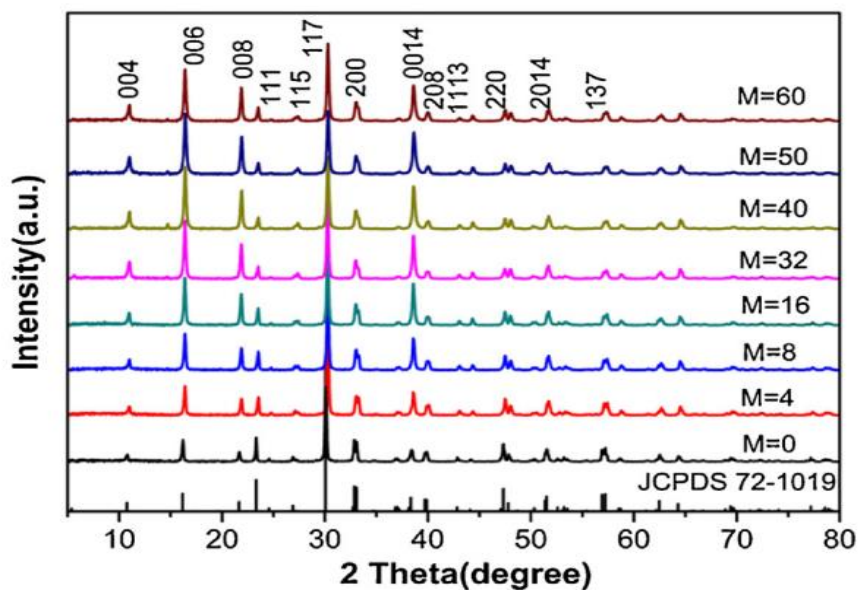
Gambar 2.5 Prosedur persiapan dalam sintesis lelehan garam (Kimura, 2011).

2.4 Sintesis Senyawa Aurivillius dengan Metode Lelehan Garam

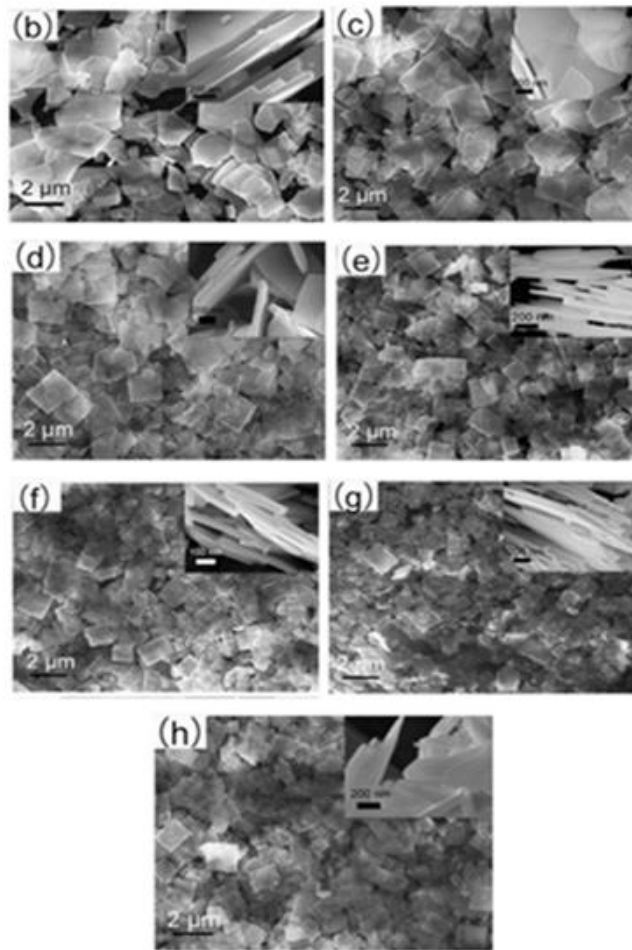
Metode lelehan garam merupakan salah satu metode yang sering digunakan untuk mensintesis senyawa aurivillius pada beberapa penelitian. He, dkk. (2014) melaporkan telah mensintesis BIT pada suhu 800 °C selama 2 jam menggunakan metode lelehan garam. Pada Gambar 2.6 menunjukkan pola XRD dari sampel BIT yang diperoleh dengan metode lelehan garam. Semua puncak difraksi dapat diindeks sesuai dengan data standar ortorombik BIT dengan *space group* *Aba2* (JCPDS 72-1019). Puncak Bragg yang tajam ditampilkan pada Gambar 2.5 menunjukkan bahwa ortorombik BIT yang terkristal dengan baik diperoleh dengan metode ini. Pada karakterisasi menggunakan SEM pada Gambar 2.7 menampilkan sintesis senyawa BIT berupa morfologi *plate-like*. Selain itu, pada hasil tersebut

dilakukan perubahan jumlah garam yang mengakibatkan bentuk sampel *nanosheet* BIT yang awalnya persegi panjang terfragmentasi menjadi semakin seragam.

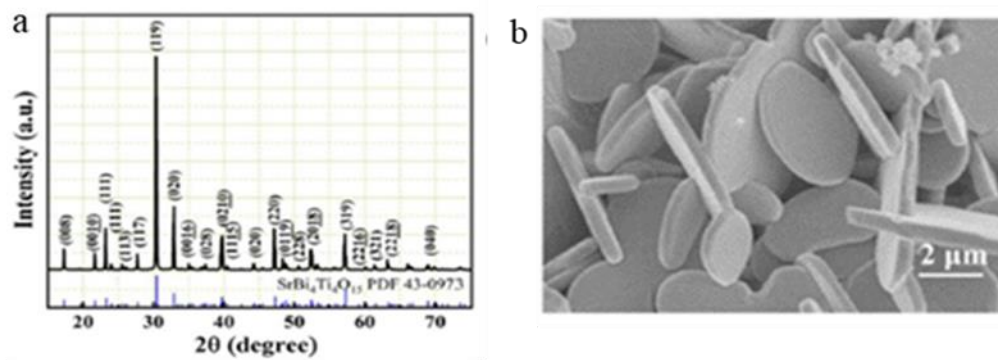
Lin, dkk., (2020) melaporkan bahwa telah melakukan penelitian pada SBT4 yang disintesis menggunakan metode lelehan garam pada suhu 1000 °C selama 3 jam. Menghasilkan pola XRD seperti pada Gambar 2.8(a). Pada hasil yang diperoleh menunjukkan puncak difraksi sampel konsisten dengan standar SBT4 dan tidak ada fase pengotor yang terdeteksi. sehingga menunjukkan bahwa sampel tersebut murni. Pada Gambar 2.8(b) menampilkan hasil SEM *nanosheet* SBT4 dengan ukuran besar, rasio aspek, dan ukuran yang seragam dengan ketebalan hanya 250 nm.



Gambar 2.6 Pola XRD partikel BIT kalsinasi pada suhu 800 °C selama 2 jam (He, dkk., 2014).

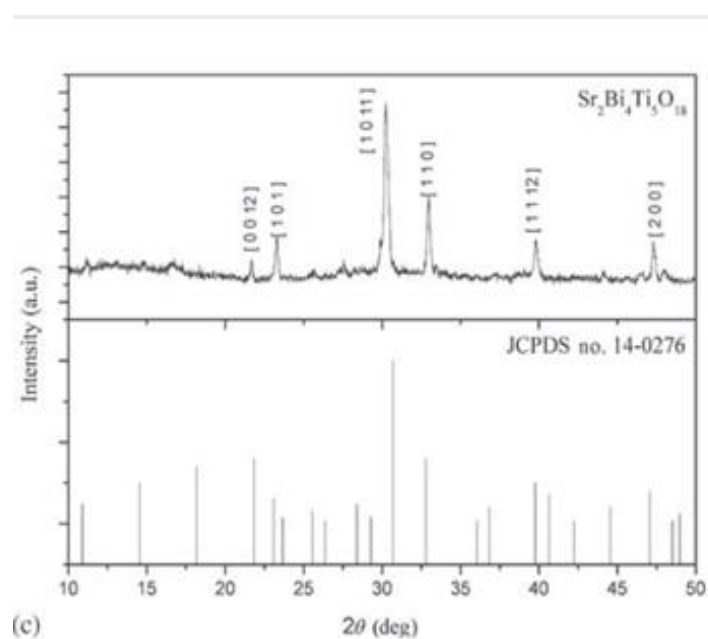


Gambar 2.7 Morfologi sampel BIT dibuat dengan metode lelehan garam pada 800°C selama 2 jam (He, dkk., 2014)

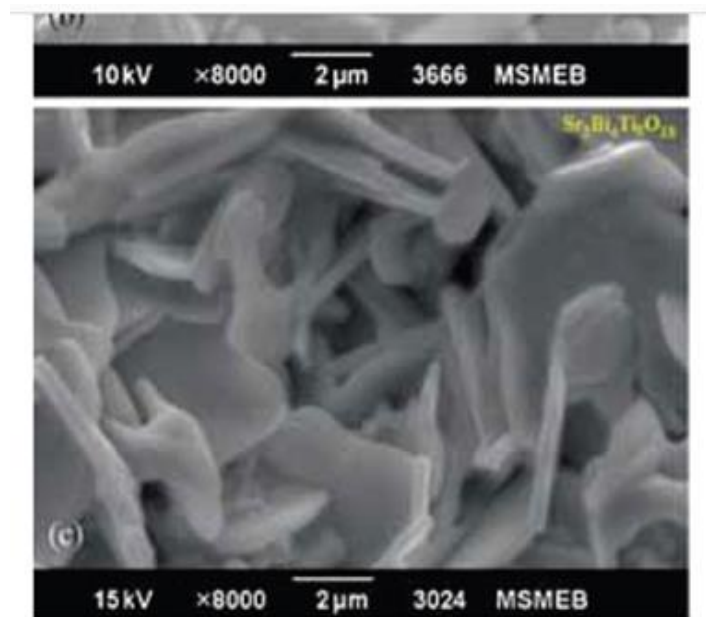


Gambar 2.8 (a) Pola XRD *nanosheet* SBT4, (b) Morfologi *nanosheet* SBT4.

Dubey, dkk., (2015) melaporkan sintesis SBT5 menggunakan metode larutan pembakaran. Pola XRD senyawa SBT5 yang didapatkan memperlihatkan puncak yang tajam. Hal tersebut, menyatakan bahwa material telah mencapai kristalinitas sempurna dengan sintering pada suhu 1.050 °C selama 4 jam seperti ditampilkan pada Gambar 2.9. Pelet yang telah disintering pada suhu kurang dari 1.050 °C menjadi rapuh, dikarenakan pembentukan kristal yang tidak sempurna dan menghasilkan densitas yang lebih rendah. Dekomposisi material ini dapat diamati pada suhu sekitar 1.100 °C. Ukuran kristal dari material ditentukan dengan menggunakan persamaan Scherrer. Ukuran kristal yang dilaporkan yaitu 31,5 nm. Morfologi permukaan SBT5 ditampilkan pada Gambar 2.10, di mana arah pertumbuhan kristal terlihat acak. SBT5 memiliki butiran seperti pelat yang memiliki ketebalan 0,25 nm dan panjang 4 nm. Selain itu, pada kristal SBT5 juga tampak terbentuk pori-pori.

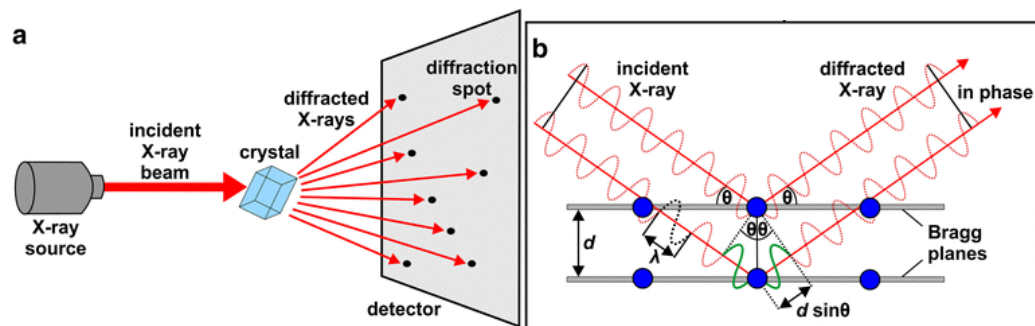


Gambar 2.9 Pola XRD senyawa SBT5 (Dubey, dkk.,2015).



Gambar 2.10 Morfologi *nanosheet* SBT5 (Dubey, dkk., 2015).

2.5 Teknik Difraksi Sinar-X



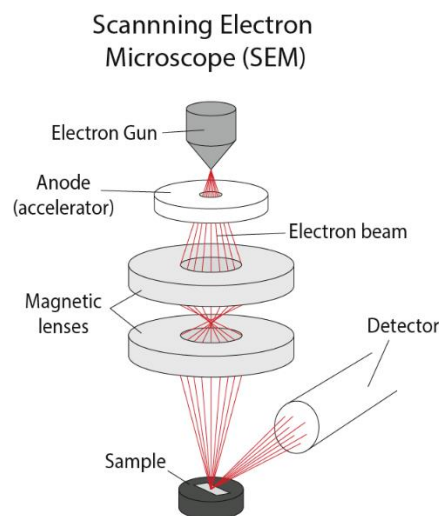
Gambar 2.11 Skema teknik difraksi sinar-X.

Difraksi Sinar-X (XRD) merupakan analisis yang digunakan dalam mengidentifikasi material kristalit suatu bahan dan mengetahui susunan berbagai jenis atom dalam kristal, kehadiran pengotor (Hakim, 2019). Prinsip kerja XRD apabila sinar-X ditembakkan pada sampel padatan kristal, maka bidang kristal ini akan dibiaskan. Kemudian cahaya yang dibiaskan akan ditangkap oleh detector

yang akan merekam puncak intensitas yang akan cocok dengan orde pembiasan (orde n) yang digunakan, kemudian akan ditampilkan berupa grafik difraktogram yang merupakan grafik hubungan antara intensitas dengan 2θ . (Sania, 2014).

2.6 Scanning Electron Microscopy

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan metode penggunaan berkas elektron untuk menggambarkan permukaan benda (Abdullah & Khairurrijal, 2009). Prinsip kerja dari SEM didasarkan pada permukaan material yang disinari atau terkena berkas electron akan memantulkan kembali berkas elektron ke segala arah. Tetapi dari semua yang dipantulkan ada satu berkas elektron dengan intensitas tertinggi yang akan terdeteksi oleh detektor.

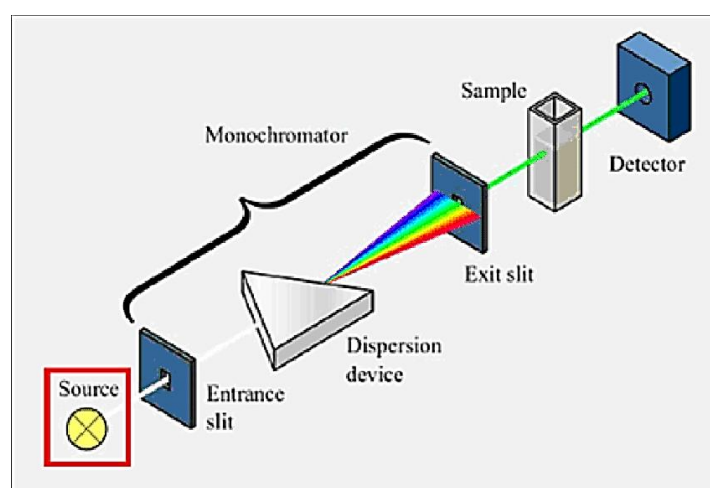


Gambar 2.12 Skema *scanning electron microscopy*.

2.7 Spektroskopi UV-Vis

Spektroskopi UV-Vis adalah alat pengukuran panjang gelombang dan intensitas sinar ultraviolet serta cahaya tampak yang diabsorbsikan oleh sampel.

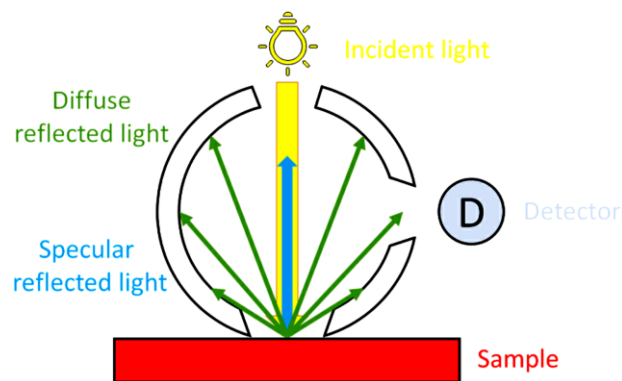
Sinar ultraviolet memiliki rentang panjang gelombang 200-400 nm sedangkan sinar tampak (*visible*) memiliki rentang panjang gelombang 400-800 nm (Dachriyanus, 2004). Spektrofotometri UV-Vis berdasar pada hukum Lambert-Beer. Jika sinar monokromatik melewati suatu senyawa maka sebagian sinar akan diabsorpsi, sebagian dipantulkan dan sebagian lagi akan dipancarkan. Cermin yang berputar pada bagian dalam spektrofotometer akan membagi sinar dari sumber cahaya menjadi dua (Sembiring dkk, 2019; Ahriani, dkk., 2021).



Gambar 2.13 Skema Spektroskopi UV-Vis

2.8 UV-Vis DRS

UV-Vis *DRS* digunakan untuk menentukan besarnya celah energi yang dihasilkan oleh semikonduktor yang disintesis. Metode DRS didasarkan pada pengukuran intensitas UV-Vis yang direfleksikan oleh sampel. Prinsip kerja dari metode ini adalah material disinari dengan gelombang elektromagnetik, sehingga foton diserap oleh elektron dalam material (Abdullah & Khairurrijal, 2009). Ketika cahaya mengenai suatu bahan maka sebagian akan diserap, dipantulkan dan ditransmisikan (Widyandari & Budiman, 2004).



Gambar 2.14 Skema *UV-Vis DRS*.

2.9 Peran Manusia sebagai Khalifah di Bumi

Manusia telah ditunjuk Allah Swt. sebagai khalifah di bumi yang memiliki tugas dan tanggung jawab untuk menjaga lingkungan dan mengatasi pencemaran lingkungan. Pencemaran air oleh zat warna sintesis sekarang ini menjadi masalah yang banyak terjadi di lingkungan kita. Pembuangan limbah warna secara langsung ke sungai tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat mengakibatkan beberapa permasalahan. Allah Swt. berfirman dalam al-Quran surat al-Ahzab ayat 72 yang berbunyi:

إِنَّا عَرَضْنَا الْأَمَانَةَ عَلَى السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَالْجِبَالِ فَأَبَيْنَ أَنْ يَحْمِلْنَهَا وَأَشْفَقْنَ مِنْهَا وَحَمَلَهَا الْإِنْسَانُ إِنَّهُ كَانَ ظَلُومًا جَهُولًا

“Sesungguhnya Kami telah menawarkan amanat kepada langit, bumi dan gunung-gunung; tetapi semuanya enggan untuk memikul amanat itu dan mereka khawatir tidak akan melaksanakannya (berat), lalu dipikullah amanat itu oleh manusia. Sungguh, manusia itu sangat zalim dan sangat bodoh”.

Shihab (2012) dalam Tafsir al-Mishbah menjelaskan bahwa dalam surat al-Ahzab ayat 72 Allah telah memberikan amanat kepada manusia agar mematuhi perintah-Nya dan menjauhi larangan-Nya. Barang siapa yang tidak taat kepada Allah dan Rasul, maka itu merupakan kerugian yang besar. Salah satu bentuk

mematuhi perintah tersebut adalah menjaga kebersihan lingkungan agar tidak rusak dan tercemar. Salah satu caranya adalah dengan mengolah kembali limbah sebelum dibuang sehingga tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Dalam hal ini Rasulullah saw. juga sangat menganjurkan manusia untuk selalu menjaga kelestarian lingkungan dan makhluk hidup yang ada didalamnya seperti yang tertulis dalam hadist berikut:

حَدَّثَنَا ابْنُ أَبِي عُمَرَ حَدَّثَنَا سُفْيَانُ عَنْ عَمْرِو بْنِ دِينَارٍ عَنْ أَبِي قَابُوسَ عَنْ عَبْدِ اللَّهِ بْنِ عَمْرٍو قَالَ قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ الرَّاحِمُونَ يَرْحَمُهُمُ الرَّحْمَنُ ارْحَمُوا مَنْ فِي الْأَرْضِ يَرْحَمْكُمْ مَنْ فِي السَّمَاءِ
 قَالَ أَبُو عَيْسَى هَذَا حَدِيثٌ حَسَنٌ صَحِيحٌ.

Telah menceritakan kepada kami Ibnu Abu Umar, telah menceritakan kepada kami Sufyan dari Amr bin Dinar dari Abu Qabus dari Abdullah bin Amr ia berkata; Rasulullah shallallahu 'alaihi wasallam bersabda: "Orang-orang yang mengasihani akan dikasihani oleh Ar Rahman, berkasih sayanglah kepada siapapun yang ada di bumi, niscaya Yang ada di langit akan mengasihani kalian. Berkata Abu 'Isa: Ini merupakan hadits hasan shahih.(HR At-Tirmidzi: 1874).

Nabi Muhammad saw. memberikan amanat kepada umatnya untuk peduli terhadap lingkungan. Allah memberikan dua pahala sekaligus, yang pertama pahala ketika di dunia berupa hidup bahagia dan sejahtera dalam lingkungan yang baik, yang kedua pahala di akhirat berupa surga. Sehingga tindakan mencemari lingkungan tanpa ada upaya untuk memperbaiki lagi merupakan kerugian yang besar (Istianah, 2015). Selain peran manusia untuk menjaga dan memelihara kelestarian lingkungan. Manusia sebagai khalifah di bumi juga memiliki banyak peran lain, yang pertama manusia sebagai penegak agama islam dimana setiap yang ada dalam kehidupan ini didasarkan pada hukum dalam al-Qurán termasuk sunnah Rasul saw. dengan baik dan adil. Kedua, menciptakan keamanan lingkungan dalam menjalankan perintah agama baik diantara sesama muslim ataupun non-muslim.

Ketiga, menjalankan hal-hal baik dan menjauhi yang buruk. Keempat, berjihad di jalan Allah (Ilyas, 2016).

BAB III

METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Mei-Juli 2022 yang bertempat di Laboratorium Kimia Anorganik Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pada proses karakterisasi dilakukan di Laboratorium Instrumen Institut Teknologi Surabaya (ITS).

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan antara lain seperangkat alat gelas, neraca analitik, aluminium foil, krus alumina, tanur, *hotplate*, *mortar agate*, reaktor fotokatalis beserta lampu UV komersial, seperangkat alat XRD, seperangkat alat SEM, seperangkat alat UV-Vis dan seperangkat alat UV-Vis DRS.

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan antara lain adalah TiO₂ (Aldrich, 99,9% serbuk), Bi₂O₃ (Aldrich, 99,9% serbuk), SrCO₃ (Aldrich, 99,9% serbuk), NaCl (Aldrich, 99,9% serbuk), KCl (Aldrich, 99,9% serbuk), AgNO₃ (Aldrich, larutan 2,5%), aseton, dan akuades.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode lelehan garam. Proses sintesis senyawa Aurivillius BIT, SBT4 dan SBT5 diawali dengan persiapan bahan dan alat, perhitungan dan penimbangan jumlah bahan sesuai stoikiometri rumus formula padatan yang diharapkan. Proses homogenisasi serta proses kalsinasi pada suhu

675°C, 775°C dan 825°C. Kalsinasi pada suhu tersebut dilakukan diatas titik leleh garam campuran NaCl-KCl yaitu adalah 650°C. Titik leleh garam NaCl adalah 801°C dan garam KCl adalah 770 °C. Pendinginan dilakukan sampai suhu ruang dan pencucian dilakukan menggunakan air panas untuk menghilangkan kadar garam.

Produk hasil sintesis dilakukan beberapa uji karakterisasi mencakup (a) karakterisasi dan analisis hasil sintesis menggunakan XRD untuk mengetahui struktur yang terbentuk, (b) karakterisasi dan analisis menggunakan SEM untuk mengetahui morfologi dan ukuran partikel, (c) karakterisasi dan analisis menggunakan UV-Vis DRS untuk mengetahui energi celah pita. Kemudian dilakukan uji aktifitas fotokatalis yang mencakup (a) uji kestabilan larutan rhodamin B untuk mengetahui apakah larutan tersebut stabil pada kondisi gelap tanpa radiasi sinar UV dan pada kondisi terang dengan radiasi sinar UV (b) uji adsorpsi produk sintesis untuk mengetahui kemampuan senyawa hasil sintesis sebagai absorben, (c) uji aktifitas fotokatalis produk sintesis terhadap kemampuan degradasi senyawa rhodamin B menggunakan reaktor fotokatalis.

Tabel 3.1 Komposisi prekursor senyawa BIT, SBT4 dan SBT5 sesuai stokiometri rumus formula yang diharapkan.

Target Senyawa	Massa Target (gram)	Massa Pereaksi (gram)				
		Bi ₂ O ₃	TiO ₂	SrCO ₃	NaCl	KCl
BIT	4	3,1817	0,8180	-	1,3967	1,7817
SBT4	4	2,7510	0,9431	0,4358	1, 2077	1,5405
SBT5	4	2,4227	1,0381	0,3838	1, 0644	1,3576

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini meliputi:

- a. Tahapan sintesis BIT, SBT4 dan SBT5 dengan metode lelehan garam.
- b. Tahapan karakterisasi menggunakan XRD, SEM dan UV-Vis DRS.
- c. Tahapan uji aktifitas fotokatalis menggunakan larutan Rhodamin-B.

3.5 Prosedur Kerja

3.5.1 Sintesis BIT, SBT4 dan SBT5 dengan Metode Lelehan Garam

Prekursor yang telah ditimbang sesuai stoikiometri dengan perbandingan 1:7 seperti pada Table 3.1 dimasukkan kedalam *mortar agate*. Kemudian campuran digerus selama 1 jam dengan penambahan aseton selama penggerusan untuk proses penghomogenan. Kemudian dikalsinasi pada suhu 675°C, 775°C dan 825°C selama 6 jam. Hasil produk diletakkan dikertas saring dalam corong gelas untuk dilakukan penyaringan. Sampel dicuci dengan akuades panas sampai garam hilang dan dianalisis dengan larutan AgNO₃ di mana endapan putih menandakan garam larut dalam filtrat. Kemudian produk dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100 °C selama 4 jam.

3.5.2 Karakterisasi Sampel Produk BIT, SBT4 dan SBT5

3.5.2.1 Karakterisasi dan Analisis Hasil Sintesis dengan XRD

Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan pada suhu kamar menggunakan radiasi Cu-K α pada 40 kV dan 30 mA pada rentang $2\theta = 10-90^\circ$. Hasil XRD yang diperoleh dilakukan *refinement*.

3.5.2.2 Karakterisasi dan Analisis Hasil Sintesis dengan SEM

Karakterisasi senyawa hasil sintesis menggunakan SEM dilakukan dengan meletakkan sampel pada sampel *holder* dan diukur pada perbesaran 7000-20.000 kali.

3.5.2.3 Karakterisasi dan Analisis Hasil Sintesis dengan Spektroskopi UV-Vis DRS

Karakterisasi senyawa produk menggunakan spektroskopi UV-Vis DRS dengan meletakkan sampel pada sampel *holder*. Kemudian sampel diukur pada panjang gelombang 200-800 nm.

3.6 Uji Fotokatalis Hasil Sintesis dengan Spektroskopi UV-Vis

3.6.1 Pembuatan Larutan Induk Rhodamin B

Senyawa rhodamin B sebanyak 0,5 gram dilarutkan dengan akuades dalam labu takar 500 mL. Kemudian dikocok hingga homogen dan didapat larutan induk rhodamin B 1000 ppm.

3.6.2 Pembuatan Kurva Standar Larutan Rhodamin B

Kurva Standar larutan rhodamin B dibuat variasi 0,5-4 ppm sebanyak 100 mL. Larutan dibuat dari pengenceran larutan induk 1000 ppm. Masing-masing larutan kemudian diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimumnya. Hasil pembuatan kurva standar didapat hubungan antara absorbansi (A) dengan konsentrasi (c). Persamaan regresi linier digunakan untuk menentukan A_0 yang merupakan konsentrasi terukur dari larutan induk.

3.6.3 Uji Kestabilan Larutan Rhodamin B

Larutan rhodamin B 4 ppm sebanyak 100 mL diuji kestabilan larutannya pada kondisi terang dengan radiasi sinar UV dan kondisi gelap tanpa radiasi sinar UV yang diletakkan pada fotoreaktor selama 60 menit serta diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.6.4 Pengujian Kemampuan Adsorpsi Senyawa BIT, SBT4 dan SBT5

Pengujian dilakukan pada sampel katalis BIT. Larutan rhodamin B 4 ppm sebanyak 100 ml. ditambahkan katalis BIT sebanyak 0.1 gram. Kemudian dimasukkan kedalam fotoreaktor tanpa radiasi sinar UV dan diaduk selama 30 menit untuk memastikan terjadinya adsorpsi. Selanjutnya larutan disaring untuk memisahkan katalis menggunakan kertas saring *wattman*. Kemudian dilakukan uji menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui absorbansi larutan rhodamin B. Pada sampel SBT4 dan SBT5 dilakukan perlakuan yang sama.

3.6.5 Pengujian Aktivitas Fotokatalis dalam Degradasi Rhodamin B

Pengujian dilakukan pada sampel katalis BIT. Larutan rhodamin B 4 ppm sebanyak 100 mL dimasukkan dalam gelas kimia 100 mL. Kemudian ditambahkan masing-masing katalis sebanyak 0,1 gram. Selanjutnya diaduk menggunakan stirrer selama 30 menit dalam kondisi gelap untuk mengetahui bahwa kesetimbangan adsorpsi telah tercapai (Wang, dkk., 2017). Setelah itu, campuran dimasukkan dalam reaktor fotokatalis selama 60 menit dengan penyinaran UV *Blacklight*. Kemudian dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring *wattman* untuk memisahkan larutan hasil dan katalis. Setelah itu, dilakukan pengukuran larutan

hasil degradasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum untuk mengetahui banyaknya rhodamin B yang terdegradasi. Selanjutnya dilakukan pengecekan pH larutan dengan indikator pH universal untuk memastikan pH larutan pH = 7 yaitu pH optimum penyerapan oleh sinar UV. Pengukuran serapan dilakukan sebanyak 3 kali. Perlakuan yang sama di terapkan pada katali SBT4 dan SBT5.

3.7 Analisis Data

3.7.1 Analisis Data XRD

Data yang yang diperoleh berupa pola XRD yang selanjutnya akan dibandingkan dengan standar BIT, SBT4 dan SBT5 yang terdapat pada *database Inorganic Crystal Structure Database (ICSD)*. Selain itu dari data XRD juga dapat menunjukkan kristalinitas dan kemurnian hasil sintesis.

3.7.2 Analisis Data SEM

Hasil yang diperoleh berupa morfologi, ukuran partikel, dan komposisi unsur-unsur penyusun senyawa BIT, SBT4 dan SBT5. Kemudian diamati morfologi yang terbentuk.

3.7.3 Analisis Data UV-Vis DRS

Hasil yang diperoleh berupa data reflektansi yang dapat dianalisa menggunakan persamaan Kubelka-Munk yang ditunjukkan pada persamaan 3.1.

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

dengan $F(R)$ adalah faktor *Kubelka-Munk*, K adalah koefisien absorpsi molar, S adalah koefisien *scattering*, dan R adalah nilai *reflektan* yang diukur. Hubungan faktor *Kubelka-Munk* dengan energi celah pita ditunjukkan dalam persamaan 3.2.

$$F(R) = (hv - E_g)^{m/2} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dengan E_g adalah energi celah pita, m adalah 1. Energi celah pita dapat ditentukan dengan cara menarik garis linier yang melewati daerah tersebut, kemudian menentukan persamaan linier. Persamaan linier selanjutnya dicari nilai x ($hv =$ energi celah pita) ketika $y = 0$. Nilai x menyatakan besar dari celah pita energi.

3.7.4 Analisis Data UV-Vis

Data yang diperoleh berupa absorbansi larutan. Aktivitas fotodegradasi rhodamin B didapat dengan membandingkan absorbansi sebelum dan sesudah proses degradasi dengan menggunakan persamaan 3.3 sehingga didapat % degradasi. Analisis dilakukan dengan melihat hubungan % degradasi dari proses degradasi menggunakan katalis dengan % degradasi dari larutan kontrol.

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \dots\dots\dots(3.3)$$

Dengan C_0 adalah konsentrasi awal rhodamin B dan C_t adalah konsentrasi rhodamin B setelah proses degradasi.

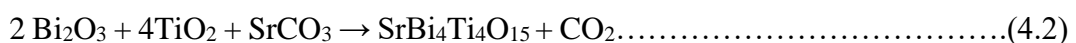
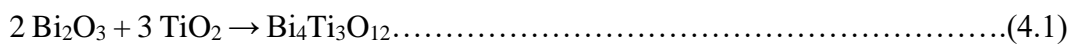
BAB IV

PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini telah disintesis senyawa BIT, SBT4 dan SBT5 menggunakan metode lelehan garam campuran NaCl-KCl pada suhu 675°C, 775°C dan 825°C selama 6 jam. Kemudian hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan (a) XRD untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk, (b) SEM-EDS untuk mengetahui morfologi, ukuran partikel dan kandungan unsur senyawa, dan (c) UV-Vis DRS untuk mengetahui energi celah pita. Hasil dari sintesis digunakan untuk uji aktifitas fotokatalis pada zat warna rhodamin-B.

4.1 Sintesis BIT, SBT4 dan SBT5 dengan Metode Lelehan Garam

Sintesis senyawa BIT, SBT4 dan SBT5 dilakukan dengan campuran NaCl-KCl. Produk hasil sintesis ditampilkan pada Gambar 4.1 yang menunjukkan bahwa senyawa produk sintesis mempunyai warna yang berbeda dengan prekursornya, di mana pada sampelnya, di mana pada sampel BIT sebelum kalsinasi berwarna kuning pucat menjadi putih tulang, SBT4 dan SBT5 sebelum kalsinasi berwarna kuning menjadi kuning pucat. Hal ini menunjukkan terjadinya reaksi kimia di antara precursor. Persamaan reaksi yang terjadi seperti pada persamaan 4.1-4.3.



4.2 Karakterisasi BIT, SBT4 dan SBT5 Menggunakan XRD.

Pola difraksi sinar- X pada senyawa BIT ditampilkan pada Gambar 4.2 dan jika dibandingkan dengan data standar ICSD BIT nomor 240210 maka ditemukan kecocokan yang mengindikasikan bahwa senyawa target BIT telah terbentuk. Puncak-puncak khas dari senyawa BIT ditemukan pada posisi 2θ ($^{\circ}$): 16,34; 21,88; 23,48; 30,26; 33; 38,64; 40,06; 44,46; 47,56; 48,04; 51,72; 57,4. Pada pola difraksi sinar- X juga ditemukan puncak tambahan pada 39,06 yang mengindikasikan terdapat pengotor yang berupa TiO_2 *rutile*. Keberadaan TiO_2 *rutile* mengindikasikan adanya prekursor yang tidak bereaksi.

Pola difraksi sinar- X pada senyawa SBT4 ditampilkan pada Gambar 4.3 dan jika dibandingkan dengan data standar SBT4 (ICSD nomor 51864) maka ditemukan kecocokan yang mengindikasikan bahwa senyawa target SBT4 telah terbentuk. Puncak-puncak khas dari senyawa SBT4 ditemukan pada posisi 2θ ($^{\circ}$): 23,46; 30,54; 32,58. 33; 46,76; 52,66; 53,3; 57,38; 57,94. Pada pola difraksi sinar- X juga ditemukan puncak tambahan pada 2θ ($^{\circ}$): (a) 16,2 dan 47,3 yang mengindikasikan terdapat pengotor BIT dan (b) pada posisi 30,84 yang mengindikasikan terdapat pengotor TiO_2 *brookite*. Keberadaan semua pengotor tersebut mengindikasikan adanya prekursor yang tidak bereaksi.

Pola difraksi sinar- X pada senyawa SBT5 ditampilkan pada Gambar 4.4 dan jika dibandingkan dengan data standar SBT5 (ICSD nomor 150401) maka ditemukan kecocokan yang mengindikasikan bahwa senyawa target SBT5 telah terbentuk. Puncak-puncak khas dari senyawa SBT5 ditemukan pada posisi 2θ ($^{\circ}$): 21,96; 23,44; 32,66; 33,12; 47,42; 48,46; 52,24; 53,3; 57,42; dan 63,32. Pada pola difraksi sinar- X juga ditemukan puncak tambahan pada 2θ ($^{\circ}$): (a) 16,24 yang

mengindikasikan terdapat pengotor BIT, (b) 36,64 yang mengindikasikan terdapat pengotor Bi_2O_3 dan (c) 39,98 yang mengindikasikan terdapat pengotor TiO_2 *brookite*. Keberadaan semua pengotor tersebut mengindikasikan adanya prekursor yang tidak bereaksi.

4.3 Karakterisasi BIT, SBT4 dan SBT5 Menggunakan SEM-EDS

Mikrograf SEM ditampilkan pada Gambar 4.5 dan dapat dilihat bahwa bentuk partikel adalah *plate-like*. Morfologi partikel yang terbentuk (*plate-like*) adalah morfologi khas dari senyawa Aurivillius yang telah dilaporkan oleh banyak peneliti terdahulu (Zhao, dkk., 2014). Morfologi partikel BIT berbentuk *plate-like* dengan ukuran yang relatif seragam dan tidak ditemukan partikel-partikel kecil teraglomerasi. Ukuran partikel SBT4 tidak seragam dan ditemukan partikel-partikel kecil teraglomerasi, dan fenomena yang sama juga ditemukan pada SBT5. Hasil spektra EDS menunjukkan bahwa kandungan unsur senyawa sudah sesuai teori yaitu (a) senyawa BIT adalah Bi, Ti dan O, (b) senyawa SBT4 dan SBT5 adalah Sr, Bi, Ti, dan O.

4.4 Karakterisasi BIT, SBT4, dan SBT5 Menggunakan UV-Vis DRS

Spektra reflektan BIT, SBT4, dan SBT5 ditampilkan pada Gambar 4.6. Hasil perhitungan metode Kubelka -Munk dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan energi celah pita serta panjang gelombang dirangkum pada Tabel 4.1. Dari hasil perhitungan energi celah pita diperoleh hasil bahwa energi celah pita sesuai dengan panjang gelombang disekitar 400 nm. Hal ini menandakan bahwa sampel dapat bekerja di bawah sinar tampak. Dan jika dilaporkan dengan hasil penelitian terdahulu yaitu: (a.) Chen, dkk., (2016) melaporkan energi celah pita BIT sebesar 3,31 eV dan (b.)

Tu, dkk., (2019) melaporkan SBT4 memiliki energi celah pita sebesar 3,00 eV. Perbedaan besar energi celah pita ini dimungkinkan karena adanya senyawa pengotor pada produk yang diperoleh dan itu mempengaruhi nilai energi celah pitanya.

Transisi elektronik yang terlibat pada energi celah pita senyawa BIT dilaporkan terjadi perpindahan pita konduksi orbital Ti $3d$ + Bi $6p$ menuju pita valensi O $2p$ + Bi $6s$ orbital *hybrid* (Chen, dkk., 2016). Sedangkan pada SBT4 terjadi perpindahan electron pita konduksi dari orbital O $2p$ + Bi $6s$ menuju pita valensi di orbital Ti $3d$ (Haikal, dkk., 2021). Hasil perhitungan metode Kubelka - Munk dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan energi celah pita serta panjang gelombang dapat lihat pada Tabel 4.1 bahwa terjadi penurunan energi celah pita seiring bertambahnya jumlah lapisan pada senyawa.

4.5 Uji Aktifitas Fotokatalitik $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, dan $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ Menggunakan Rhodamin-B

4.5.1 Spektra UV-Vis Rhodamin B

Pengukuran panjang gelombang maksimal larutan standar rhodamin B dilakukan menggunakan Spektroskopi UV-Vis. Pada Gambar 4.8 terlihat bahwa ada dua pita serapan karakteristik utama dari larutan rhodamin B. Satu adalah daerah ultraviolet (260,6 nm), dan satu lagi di wilayah tampak (554,6 nm). Absorbansi pita UV larutan pewarna pada 554,6 nm ($n \rightarrow \pi$ transisi dari grup C=N, C=O) disebabkan oleh warna larutan pewarna, dan digunakan untuk memantau dekolerasi pewarna. Absorbansi pada 260,6 nm mewakili kandungan aromatik rhodamin B, dan penurunan absorbansi pada pita ini menunjukkan degradasi bagian aromatik dari pewarna.

4.5.2 Pembuatan Kurva Standar Rhodamin B

Panjang gelombang maksimal dari larutan rhodamin B diketahui dari pengukuran konsentrasi larutan kurva standar menggunakan UV-Vis DRS. Kurva standar larutan rhodamin B dibuat dengan variasi konsentrasi antara 0.5 hingga 4 ppm. Data yang diperoleh dibuat hubungan antara konsentrasi dengan absorbansi rhodamin B seperti yang terlihat pada Gambar 4.8 di mana konsentrasi berbanding lurus dengan absorbansi dan diperoleh nilai koefisien koreksi (R) sebesar 0,993. nilai R yang diperoleh memiliki tingkat kelinieran yang tinggi sehingga memenuhi hukum Lambert-Beer.

4.5.3 Uji Kestabilan Larutan Rhodamin B

Uji kestabilan larutan rhodamin B dilakukan pada larutan dengan konsentrasi 4 ppm untuk mengetahui adanya pengaruh lingkungan terhadap larutan. Uji kestabilan dilakukan dengan menempatkan larutan dalam reaktor fotokatalis pada kondisi gelap tanpa radiasi sinar UV dan kondisi terang dengan radiasi sinar UV dalam waktu 60 menit. Hasil spektra UV-Vis dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan dapat dilihat bahwa nilai absorban sedikit turun yang menunjukkan adanya penurunan konsentrasi larutan rhodamin B. Hal ini menunjukkan bahwa larutan rhodamine-B tidak terpengaruh oleh suhu ruang dan adanya sinar-UV walaupun terjadi sedikit penurunan absorbansi.

4.5.4 Uji Kemampuan Adsorpsi Senyawa BIT, SBT4 dan SBT5 terhadap Rhodamin B

Uji kemampuan adsorpsi senyawa BIT, SBT4 dan SBT5 dilakukan menggunakan rhodamin B dengan konsentrasi larutan 4 ppm dan massa katalis sebesar 0,1 gram pada kondisi gelap tanpa radiasi sinar UV selama 30 menit.

Spektra absorbansi UV-Vis ditampilkan pada Gambar 4.10 dan hasil uji dirangkum pada Tabel 4.2.

Didapatkan hasil bahwa senyawa BIT, SBT4 dan SBT5 memiliki kemampuan untuk menyerap (adsorpsi) yang cukup tinggi pada larutan rhodamin B. Persentase kemampuan adsorpsi senyawa BIT, SBT4 dan SBT5 secara berturut-turut adalah 16,3665; 21,3582 dan 21,7462%. terjadinya penurunan konsentrasi ini menunjukkan bahwa senyawa BIT, SBT4 dan SBT5 mampu melakukan proses adsorpsi (penyerapan) terhadap larutan rhodamin B. dilaporkan bahwa senyawa perovskite LaNiO_3 memiliki kemampuan sebagai absorben zat warna congo red dengan persentase adsorpsi sebesar 26% selama 40 menit (Santoso, dkk., 2018).

4.5.5 Uji Degradasi Senyawa BIT, SBT4 dan SBT5 Terhadap Rhodamin-B

Uji degradasi larutan rhodamin-B terhadap senyawa BIT, SBT4 dan SBT5 sebagai katalis sebesar 0,1 gram pada kondisi terang selama 60 menit. Uji degradasi larutan rhodamin B dilakukan untuk mengetahui aktifitas fotokatalitik senyawa BIT, SBT4 dan SBT. Spektrum absorbansi UV-Vis uji degradasi secara berturut-turut ditampilkan pada Gambar 4.11, 4.12 dan 4.13. serta hasil uji degradasi dirangkum pada Tabel 4.3.

Berdasarkan Tabel 4.3 diketahui bahwa senyawa BIT, SBT4, dan SBT5 memiliki aktivitas fotokatalitik yang cukup baik dalam mendegradasi larutan rhodamin B. BIT memiliki persentase fotodegradasi sebesar yaitu 43,46% karena BIT memiliki morfologi yang seragam dan ukuran partikel yang besar sehingga luas permukaan lebih kecil dibandingkan dengan senyawa lain yang ukurannya tidak seragam dan energi celah pita yang lebih kecil sehingga laju rekombinasi *electron-hole* nya lebih besar. SBT4 memiliki kemampuan fotodegradasi paling

rendah sebesar 41,93% karena terjadinya aglomerasi yang mengindikasikan adanya senyawa yang belum terbentuk mengakibatkan energi celah pita kecil dan ukuran partikel yang tidak seragam sehingga memiliki luas permukaan yang kecil di mana situs aktif tidak terlalu banyak. SBT5 memiliki kemampuan fotodegradasi paling tinggi dengan persentase fotodegradasi sebesar 46.08%. Hal ini dimungkinkan karena banyak faktor yang salah satunya adalah energi celah pita lebih rendah dibandingkan dengan BIT. Qi, dkk., (2019) melaporkan senyawa $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ (BBT) dalam waktu 3,5 jam dapat mendegradasi rhodamin B sebesar 15% dan ketika BBT ditambahkan Ag pada permukaannya, dalam waktu 3,5 jam kemampuannya menjadi 100%. Niu, dkk (2020) melaporkan senyawa BIT mampu mendegradasi rhodamine B sebesar 50%. Sedangkan He, dkk. (2014) melaporkan BIT dengan perlakuan ratio molar garam $M=50$ mampu mendegradasi rhodamin B hingga ~93% dalam waktu 60 menit.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja fotokatalis diantaranya, (a) nilai dari energi celah pita; (b) kemampuan absorpsi foton dan (c) laju rekombinasi. Terbentuknya pasangan e^+ dan h^+ ditentukan oleh besaran energi celah pita semikonduktor. Selain itu, proses laju rekombinasi yaitu proses kembalinya e^+ dari pita konduksi ke pita valensi sehingga pasangan *electron-hole* hilang, mengakibatkan reaksi fotokatalis yang sedang berlangsung terhenti (desario, dkk., 2012). Proses fotokatalis juga dipengaruhi oleh ukuran partikel dan morfologi. Besarnya luas permukaan, tingginya tingkat keseragaman, ketebalan partikel kecil, serta struktur kosong dan berongga dapat meningkatkan aktifitas fotokatalis (He, dkk., 2018). Kemampuan senyawa BIT, SBT4 dan SBT5 dalam mendegradasi larutan rhodamin B lebih besar dibandingkan dengan kemampuan senyawa tersebut

dalam mengabsorpsi larutan rhodamin B. hal ini dapat dilihat dari hasil nilai %absorpsi dan %degradasi yang ada pada Tabel 4.2 dan 4.3.

4.6 Pemanfaatan Material Fotokatalis dalam Perspektif Islam.

Allah SAW telah menjelaskan bahwa kerusakan bumi terjadi akibat ulah manusia itu sendiri sebagaimana dalam firmanya surat ar-Rum ayat 41 berikut:

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

“Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)” (Q.S. Ar-Rum (30):41).

Ayat tersebut menjelaskan bahwa manusia telah memulai kerusakan baik untuk diri mereka sendiri, masyarakat dan lingkungan alam di bumi dengan tangan mereka sendiri. Kerusakan yang dimaksud adalah keseimbangan ekosistem alam yang dapat mengakibatkan bencana alam seperti banjir, kekeringan, hewan dan tumbuhan mati, terjadinya perubahan cuaca ekstrim dan lain-lain (shihab, 2012). Manusia sebagai *khalifah* di bumi seharusnya menerapkan sifat- sifat yang dimiliki Allah. Sifat yang dapat diterapkan pada pencemaran alam dan lingkungan adalah sifat penjaga dan pemelihara. Pencemaran air oleh zat warna merupakan salah satu contoh dari kerusakan alam tersebut. Salah satu cara menjaga agar tidak terjadi pencemaran dengan memberi sanksi pada pelaku pencemaran lingkungan sehingga merasakan efek jera, sedangkan untuk memelihara agar air tidak tercemar zat warna dapat dilakukan dengan mensistesis senyawa Aurivillius BIT, SBT4, dan SBT5 yang dapat dimanfaatkan dalam mendegradasi zat warna dalam air sehingga air limbah dapat di buang ke alam tanpa mencemari lingkungan sekitarnya.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diketahui bahwa,

- a. Senyawa BIT, SBT4, dan SBT5 berhasil disintesis menggunakan metode lelehan garam NaCl-KCL, akan tetapi ditemukan adanya pengotor pada sampel yaitu (a) BIT dengan pengotor TiO_2 *rutile*. (b) SBT4 dengan pengotor BIT dan TiO_2 *brookite* dan (c) SBT5 dengan pengotor BIT, Bi_2O_3 dan TiO_2 *brookite*.
- b. Morfologi partikel yang terbentuk adalah *plate-like* dan masih ditemukan aglomerasi pada senyawa SBT4, dan SBT5.
- c. Nilai energi celah pita senyawa BIT, SBT4, dan SBT5 secara berurutan adalah 2,98; 2,60 dan 2,65 eV.
- d. Kemampuan senyawa BIT, SBT4, dan SBT5 dalam mendegradasi senyawa rhodamin B secara berurutan adalah 43,46; 41,93 dan 46,08%.

5.2 Saran

- a. Perlu dilakukan modifikasi senyawa BIT, SBT4, dan SBT5 sehingga aktifitas fotokatalitik lebih optimum.
- b. Uji degradasi dapat dilakukan dengan waktu yang lebih lama serta pada penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan menggunakan sampel asli dari lingkungan.

- c. Perlu di lakukan kontrol pada katalis yang memiliki panjang gelombang pada daerah *visible*.
- d. Perlu dilakukan uji laju rekombinasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. & Khairurrijal, 2009. Karakterisasi Nanomaterial. *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*, 2(1), pp. 11-14.
- Ahriani, Sri Zelviani, Hernawati, dan Fitriyanti. 2021. Analisis Nilai Absorbansi Untuk Menentukan Kadar Flavonoid Daun Jarak Merah (*Jatropha Gossypifolia* L.) Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. *Jurnal Fisika dan Terapannya* (2021) Vol. 8 (2): 56 – 64.
- Arutanti, Osi, Mikrajuddin Abdullah, Khairurrijal, dan Hernawan Mahfudz. 2009. Penjernihan Air Dari Pencemar Organik dengan Proses Fotokatalis pada Permukaan Titanium Dioksida (TiO_2). *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*.
- Chen, Zhiwu, Hong Jiang, Wuliang Jin, Chunkai Shi. 2015. Enhanced photocatalytic performance over $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ nanosheets with controllable size and exposed {0 0 1} facets for Rhodamine B degradation. *Applied Catalysis B: Environmental*. 180.698–706.
- Cheng, Tingting, Xiaofeng Sun, Tao Xian, Zao Yi, Ruishan Li, Xiangxian Wang, Hua Yang. 2021. Tert-butylamine/oleic acid-assisted morphology tailoring of hierarchical $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ architectures and their application for photodegradation of simulated dye wastewater. *Optical Materials*. 112.110781.
- Dachriyanus. 2004. Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi. Padang: Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andalas.
- Desario, P. A., dan Gray, K. A. 2012. 13 - Passive Systems to Improve Air Quality and Reduce Heat Retention in the Urban Environment. *Metropolitan Sustainability*. Frank Zeman, Woodhead Publishing: 292-316.
- Dubey, Shivangi and Rajnish Kurchania. 2015. Study of dielectric and ferroelectric properties of five-layer Aurivillius oxides: $\text{A}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ (A = Ba, Pb and Sr) synthesized by solution combustion route. *Bull. Mater. Sci.*, Vol. 38, No. 7, pp. 1881–1889.
- Elaya Perumal, E and M. Malathi. 2015. Effect of CuO addition on magnetic and electrical properties of $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$. Lead-free ferroelectric ceramics. *Ceramics International*. 5830-5841.
- Fan, Y., Li, D., Deng, M., Luo, Y., Meng, Q. 2009. An Overview on Water Splitting Photocatalysts. *Frontiers of Chemistry in China*, 4: 343-351.

- Fukunaga, Masanori, Masaki Takesada, Akira Onodera. 2016. Ferroelectricity in Layered Perovskites as a Model of Ultra-Thin Films. *World Journal of Condensed Matter Physics*. 6, 224-243.
- Haikal, Fikri dan Anton Prasetya. 2021. Uji Aktivitas Fotokatalis Senyawa Aurivillius Lapis Empat $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dalam Mendegradasi Rhodamine-B. *Al-Kimiya*, Vol. 8, No. 1 (37-41).
- Hakim, L., Dirgantara, M., dan Nawir, M. 2019. Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C Dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (X-Rd) Di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*. 1(1). 44–51.
- He, H., Yin, J., Li, Y., Zhang, Y., Qiu, H., Xu, J., Xu, T., Wang, C. 2014. Size Controllable Synthesis of Single-Crystal Ferroelectric $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Nanosheet Dominated with {001} Facets Toward Enhanced Visible-Light-Driven Photocatalytic Activities. *Applied Catalysis B: Environmental*, 156–157, 35–43.
- He, R., Xu, D., Cheng, B., Yu, J., dan Ho, W. 2018. Review on Nanoscale Bi-Based Photocatalysts. *Nanoscale Horizons*, 3(5): 464-504.
- Ilyas, Rahmat. 2016. Manusia Sebagai Khalifah Dalam Perspektif Islam. *Mawa'izh*, Vol.1, No.7.
- Istianah. 2015. Upaya Pelestarian Lingkungan Hidup Dalam Perspektif Hadis. *Riwayah*, 1(2): 249-270.
- Ivanov, S., Webster, C. & Berezina, K. 2017. Adoption of robots and service automation by tourism and hospitality companies. *Paper presented at the INVTUR Conference*. 17-19 May 2017, Aveiro, Portugal.
- Kan, Y., Jin, X., Wang, P., Li, Y., Cheng, Y.-B., Yan, D. 2003. Anisotropic Grain Growth of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ in Molten Salt Fluxes. *Materials Research Bulletin*, 38: 567–576.
- Kimura, Toshio. 2011. Molten Salt Synthesis of Ceramic Powders. *In Advances in Ceramics-Synthesis and Characterization, Processing and Specific Applications*. ISBN 978-953-307-505-1.
- Lin, Ying, Yongjing Zhang, Chuang Sun, Shili Zhan, Qibin Yuan, Haibo Yang. 2020. Energy storage performance in polymer dielectrics by introducing 2D $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ nanosheets. *Ceramics International*.
- Machida, Masato., Jun-ichi Yabunaka, Tsuyoshi Kijima, Shigenori Matsushima, Masao Arai. 2001. Electronic structure of layered tantalates photocatalysts, $\text{RbLnTa}_2\text{O}_7$ (Ln = La, Pr, Nd, and Sm). *International Journal of Inorganic Materials* 3 545–550.

- Machida, Masato, Tomohiro Mitsuyama, and Keita Ikeue. 2005. Photocatalytic Property and Electronic Structure of Triple-Layered Perovskite Tantalates, $\text{MCA}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10}$ ($\text{M} = \text{Cs, Na, H, and C}_6\text{H}_{13}\text{NH}_3$). *American Chemical Society*, 109, 7801-7806.
- Mikrianto, Edi, Rizky Kurniawan, Dwi Rasy Mujiyanti, Utami Irawati. 2014. Sintesis Oksida Logam Aurivillius $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ Menggunakan Metode Hidrotermal Dan Penentuan Sifat Feroelektriknya. *Sains dan Terapan Kimia*, Vol.8, No. 1, 27–36.
- Mondal, S. 2008. Methods of dye removal from dye house effluent. *Environmental Engineering Science*. 25(3): 383-396.
- Naimah, Siti, Silvie Ardhania A., Bumiarto Nugroho Jati, Novi Nur Aidha dan Agustina Arianita C. 2014. Degradasi Zat Warna Pada Limbah Industri Cair Tekstil Dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Nanokomposit TiO_2 – Zeolit. *Jurnal Kimia Kemasan*, Vol.36: 225-236.
- Nalini, G. and T. N. Guru Row. 2002. Structure determination at room temperature and phase transition studies above T_c in $\text{ABi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ($A = \text{Ba, Sr or Pb}$). *Indian Academy of Sciences*, Vol. 25, No. 4, pp. 275–281.
- Niu, S., Zhang, R., Zhang, X., Xiang, J., dan Guo, C. 2020. Morphology-Dependent Photocatalytic Performance of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$. *Ceramics International*, 46(5): 6782-6786.
- Qi, W., Wang, Y., Wu, J., Hu, Z., Jia, C., Zhang, H. 2019. Relaxor Ferroelectric and Photocatalytic Properties of $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$. *Advances in Applied Ceramics*, 118(7), 418–424.
- Rashed, M. N., dan A. A. El-Amin, 2007, Photocatalytic Degradation of Methyl Orange in Aqueous TiO_2 Under Different Solar Irradiation Source, *Int.j.Phys.Sci*. Vol.2 (3), hal 73-81.
- Rosyidah Afifah, Atiek Rostika Noviyanti. 2008. Synthesis and ferroelectric properties of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ aurivillius phase. *Proceeding of The International Seminar on Chemistry_2008* (pp. 487-490).
- Sakthivel, S., Neppolian, B., Shankar, V., Arabindoo, B., Palanichamy, M., & Murugesan, V. 2003. Solar Photocatalytic Degradation of Azo Dye Comparison of Photocatalytic Efficiency of ZnO and TiO_2 . *Elsevier Science*, 77, 65-82.
- Sania., 2014, Karakteristik dan Kandungan Mineral Pasir Pantai Lhok Mee Beureunut dan Leungah Kabupaten Aceh Besar, *Jurnal Material* 3, 263-270.

- Shihab, M. Q. 2012. Tafsir Al-Misbah Pesan, Kesan dan Keserasian Al – Quran. Volume 6. Jakarta: Lentera Hati.
- Shihab, M. Q. 2012. Tafsir Al-Misbah Pesan, Kesan dan Keserasian Al – Quran. Volume 11. Jakarta: Lentera Hati.
- Sucahya Transmissia Noviska, Novie Permatasari, Asep Bayu Dani Nandiyanto. 2016. Review: Fotokatalis Untuk Pengolahan Limbah Cair. *Jurnal Integrasi Proses* Vol. 6, No. 1, 1 – 15.
- Syuhadi Imam, Afifah Rosyidah. 2014. Sintesis dan Karakterisasi Aurivillius $\text{LaBi}_2\text{TiNbO}_9$ dan $\text{Bi}_3\text{TiTaO}_9$. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits* Vol. 3, No. 2, (2014) 2337-3520 (2301-928X Print)
- Tu, S., Zhang, Y., Reshak, A. H., Auluck, S., Ye, L., Han, X., Ma, T., Huang, H. 2019. Ferroelectric Polarization Promoted Bulk Charge Separation for Highly Efficient CO_2 Photoreduction of $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$. *Nano Energy*, 56, 840–850.
- Wang, Lingli., Ma, Wanhong., Fang, Yanfen., Zhang, Yu., Jia, Manke., Li, Reiping. Huang, Yingping. 2013. $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Synthesized by High Temperature Solid Phase Method and It's Visible Catalytic Activity. *Procedia Environmental Sciences*.18: 547-558.
- Wei, Zhao, Nianqi Liu, Hongxing Wang, Yubo Zhang, Shimeng Zhang, Kexin Gao, Xu Chen, dan Zhiyun Fan. 2016. Hydrothermal Synthesis of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{TiO}_2$ Composite *School of Material & Engineering*.
- Zhang, Hang, Yujun Liang Yingli Zhu, Shiqi Liu, Kai Li, Jian Yang, Wen Lei.2018. Tuning photoluminescence in layered Pr doped $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ nanosheets via molten salt process. *Journal of Alloys and Compounds*.767 1030-1040.
- Zhao, Z., Li, X., Ji, H., Deng, M. 2014. Formation Mechanism of Plate-like $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Particles in Molten Salt Fluxes. *Integrated Ferroelectrics*, 154(1), 154–158.
- Zhao, Xuefeng, HuiYing Liu, Xiaoyue Pan, LingXu Wang, Zhe Feng, Zhibiao Ma, Fengqing Zhang, Luyi Zhu, Qingbo Tian, Suhua Fan. 2020. Study On Properties Of $\text{BiFe}_{0.98}\text{Mn}_{0.02}\text{O}_3 / \text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ Double-layer Composite Films. *Journal of Alloys and Compounds*.836. 155433.
- Zhou, H., Mao, Y., & Wong, S. S. (2007). Probing Structure-Parameter Correlation in the Molten Salt Synthesis of BaZrO_3 Perovskite Submicrometer-Sized Particles. *Chemistry of Materials*, Vol. 19, No. 22, (October 2007), pp. 5238-5249, ISSN 0897-4756
- Zulhadjri, Sabri Ella Afni, dan Syukri Arief. 2013. Sintesis Senyawa Aurivillius $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ yang Didoping Kation La^{3+} dengan Metode Lelehan Garam. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir

1. Sintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dan $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$

a. Sintesis Sampel $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$

Bi_2O_3 , TiO_2 dan NaCl-KCl dengan perbandingan 1:7

- Dihomogenkan dengan mortar agate selama satu jam dan ditambahkan aseton selama penghomogenan
- Dikalsinasi pada suhu 675, 775 dan 825 °C selama 6 jam
- Dikeluarkan sampel dari tanur
- Diletakkan diatas kertas saring dalam corong gelas
- Dicuci dengan air panas berulang kali
- Dilakukan pengecekan garam NaCl-KCl dengan diteteskan larutan AgNO_3 kedalam filtrat
- Dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100°C selama 4 jam

Hasil

b. Sampel $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$

Bi_2O_3 , TiO_2 , SrCO_3 dan NaCl-KCl dengan perbandingan 1:7

- Dihomogenkan dengan mortar agate selama satu jam dan ditambahkan aseton selama penghomogenan
- Dikalsinasi pada suhu 675, 775 dan 825 °C selama 6 jam
- Dikeluarkan sampel dari tanur
- Diletakkan diatas kertas saring dalam corong gelas
- Dicuci dengan air panas berulang kali
- Dilakukan pengecekan garam NaCl-KCl dengan diteteskan larutan AgNO_3 kedalam filtrat
- Dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100°C selama 4 jam

Hasil

c. Sampel SrBi₄Ti₄O₁₈

Bi₂O₃, TiO₂, SrCO₃ dan NaCl-KCl dengan perbandingan 1:7

- Dihomogenkan dengan mortar agate selama satu jam dan ditambahkan aseton selama penghomogenan
- Dikalsinasi pada suhu 675, 775 dan 825 °C selama 6 jam
- Dikeluarkan sampel dari tanur
- Diletakkan diatas kertas saring dalam corong gelas
- Dicuci dengan air panas berulang kali
- Dilakukan pengecekan garam NaCl-KCl dengan ditetaskan larutan AgNO₃ kedalam filtrat
- Dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100°C selama 4 jam

Hasil

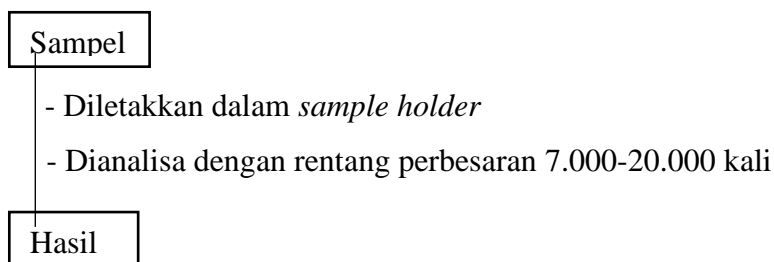
2. Karakterisasi dan analisis Bi₄Ti₃O₁₂, SrBi₄Ti₄O₁₅, dan SrBi₄Ti₄O₁₈ menggunakan Instrumen XRD

Sampel

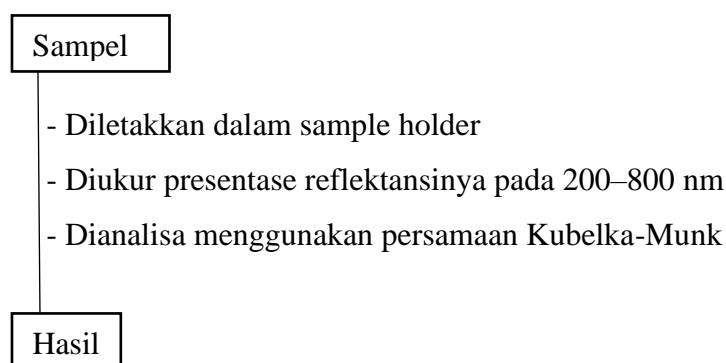
- Diletakkan dalam sample holder
- Dianalisa pada rentang 2θ (°) = 10-90
- Dianalisis spectra menggunakan software origin dibandingkan dengan standar ICSD

Hasil

3. Karakterisasi dan analisis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, dan $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{18}$ menggunakan Instrumen SEM

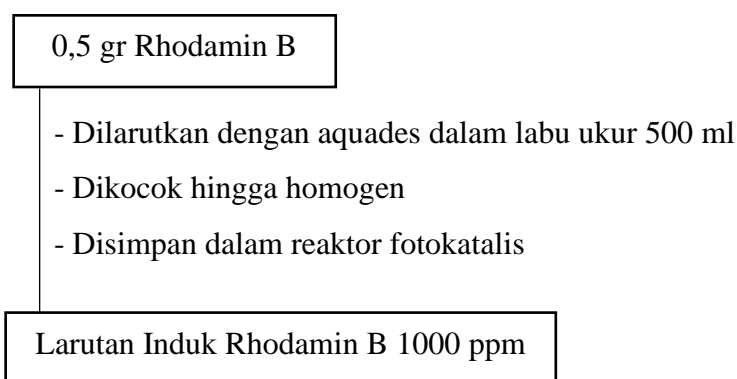


4. Karakterisasi dan analisis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, dan $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{18}$ menggunakan UV-Vis DRS

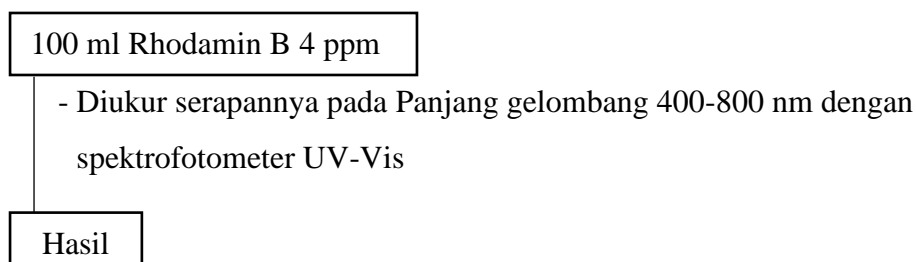


5. Uji aktivitas fotokatalitik

a. Pembuatan larutan induk Metilen Biru 1000 ppm



b. Penentuan panjang gelombang maksimum Rhodamin B



c. Pembuatan kurva standar untuk Spektroskopi UV-Vis

10 mL rhodamin B dengan konsentrasi 0.5-4 ppm dengan rentang 0,5 ppm

- Disiapkan 10 mL larutan
- Diukur absorbansinya dengan spektroskopi UV-Vis pada panjang gelombang maksimum

Hasil

d. Pengujian aktivitas fotokatalis pada Rhodamin B dengan Reaktor Fotokatalisir

100 mL rhodamin B 4 ppm + 0,1-gram serbuk $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$

- Dimasukkan gelas kimia 100 mL
- Diaduk dengan stirrer selama 30 menit dalam ruang gelap
- Diradiasi dibawah sinar UV selama 60 menit
- Disaring untuk memisahkan larutan dan katalis
- Diukur absorbansi larutan dengan spektroskopi UV-Vis pada panjang gelombang maksimum
- Dicek pH larutan dengan indikator universal

Hasil

100 mL rhodamin B 4 ppm + 0,1-gram serbuk $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$

- Dimasukkan gelas kimia 100 mL
- Diaduk dengan stirrer selama 30 menit dalam ruang gelap
- Diradiasi dibawah sinar UV selama 60 menit
- Disaring untuk memisahkan larutan dan katalis
- Diukur absorbansi larutan dengan spektroskopi UV-Vis pada panjang gelombang maksimum
- Dicek pH larutan dengan indikator universal

Hasil

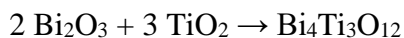
100 mL Rhodamin B 4 ppm + 0,1-gram serbuk $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{18}$

- Dimasukkan gelas kimia 100 mL
- Diaduk dengan stirrer selama 30 menit dalam ruang gelap
- Diradiasi dibawah sinar UV selama 60 menit
- Disaring untuk memisahkan larutan dan katalis
- Diukur absorbansi larutan dengan spektroskopi UV-Vis pada panjang gelombang maksimum
- Dicek pH larutan dengan indikator universal

Hasil

Lampiran 2. Perhitungan

Reaksi keseluruhan adalah :



Keterangan:

- Massa target 4 gram
- Perbandingan mol garam NaCl:KCl adalah 1:1
- Perbandingan mol $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$: mol garam adalah 1:7
- Perbandingan mol $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$: mol garam adalah 1:7
- Perbandingan mol $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$: mol garam adalah 1:7

1. Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$



$$\begin{aligned} n \text{ Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} &= \frac{\text{Massa}}{\text{Mr}} \\ &= \frac{4 \text{ gr}}{1171.6128 \text{ gr/mol}} \\ &= 0,003414097217 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Bi}_2\text{O}_3 &= \text{Mr} \times n \text{ Bi}_2\text{O}_3 \\ &= 465,959 \text{ gr/mol} \times 0,006828194434 \text{ mol} \\ &= 3,1816586 \text{ gr} = 3,1817 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa TiO}_2 &= \text{Mr} \times n \text{ TiO}_2 \\ &= 79,8658 \text{ gr/mol} \times 0,0102422917 \text{ mol} \\ &= 0,81800882 \text{ gr} = 0,8180 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NaCl} &= 7 \times n \text{ Bi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{12} \times \text{Mr NaCl} \\ &= 7 \times 0,003414097217 \text{ mol} \times 58,4427 \text{ gr/mol} \\ &= 1,39670342 \text{ gr} = 1,3967 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa KCl} &= 7 \times n \text{ Bi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{12} \times \text{Mr KCl} \\ &= 7 \times 0,003414097217 \text{ mol} \times 74,5513 \text{ gr/mol} \\ &= 1,7816777 \text{ gr} = 1,7817 \text{ gr} \end{aligned}$$

2. Senyawa SrBi₄Ti₄O₁₅



$$\begin{aligned} n \text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15} &= \frac{\text{Massa}}{\text{Mr}} \\ &= \frac{4 \text{ gr}}{1355,0006 \text{ gr/mol}} \\ &= 0,002952 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Bi}_2\text{O}_3 &= \text{Mr} \times n \text{Bi}_2\text{O}_3 \\ &= 465,959 \text{ gr/mol} \times 0,005904 \text{ mol} \\ &= 2,75102 \text{ gr} = 2,7510 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa TiO}_2 &= \text{Mr} \times n \text{TiO}_2 \\ &= 79,8658 \text{ gr/mol} \times 0,011808 \text{ mol} \\ &= 0,943055366 \text{ gr} = 0,9431 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa SrCO}_3 &= \text{Mr} \times n \text{SrCO}_3 \\ &= 147,6289 \text{ gr/mol} \times 0,002952 \text{ mol} \\ &= 0,4358 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NaCl} &= 7 \times n \text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15} \times \text{Mr NaCl} \\ &= 7 \times 0,002952 \text{ mol} \times 58,4427 \text{ gr/mol} \\ &= 1,20766 \text{ gr} = 1,2077 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa KCl} &= 7 \times n \text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15} \times \text{Mr KCl} \\ &= 7 \times 0,002952 \text{ mol} \times 74,5513 \text{ gr/mol} \\ &= 1,540528 \text{ gr} = 1,5405 \text{ gr} \end{aligned}$$

3. Senyawa Sr₂Bi₄Ti₅O₁₈



$$\begin{aligned} n \text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18} &= \frac{\text{Massa}}{\text{Mr}} \\ &= \frac{4 \text{ gr}}{1538,6492 \text{ gr/mol}} \\ &= 0,00259968289 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Bi}_2\text{O}_3 &= \text{Mr} \times n \text{Bi}_2\text{O}_3 \\ &= 465,959 \text{ gr/mol} \times 0,00519936578 \text{ mol} \\ &= 2,42269128 = 2,4227 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\text{Massa TiO}_2 = \text{Mr} \times n \text{TiO}_2$$

$$= 79,8658 \text{ gr/mol} \times 0,0129984144 \text{ mol}$$

$$= 1,03812876 \text{ gr} = 1,0381 \text{ gr}$$

$$\text{Massa SrCO}_3 = \text{Mr} \times n \text{ SrCO}_3$$

$$= 147,6289 \text{ gr/mol} \times 0,00259968289 \text{ mol}$$

$$= 0,383788325 \text{ gr} = 0,3838 \text{ gr}$$

$$\text{Massa NaCl} = 7 \times n \text{ SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15} \times \text{Mr NaCl}$$

$$= 7 \times 0,00259968289 \text{ mol} \times 58,4898 \text{ gr/mol}$$

$$= 1,06438453 \text{ gr} = 1,0644 \text{ gr}$$

$$\text{Massa KCl} = 7 \times n \text{ SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15} \times \text{Mr KCl}$$

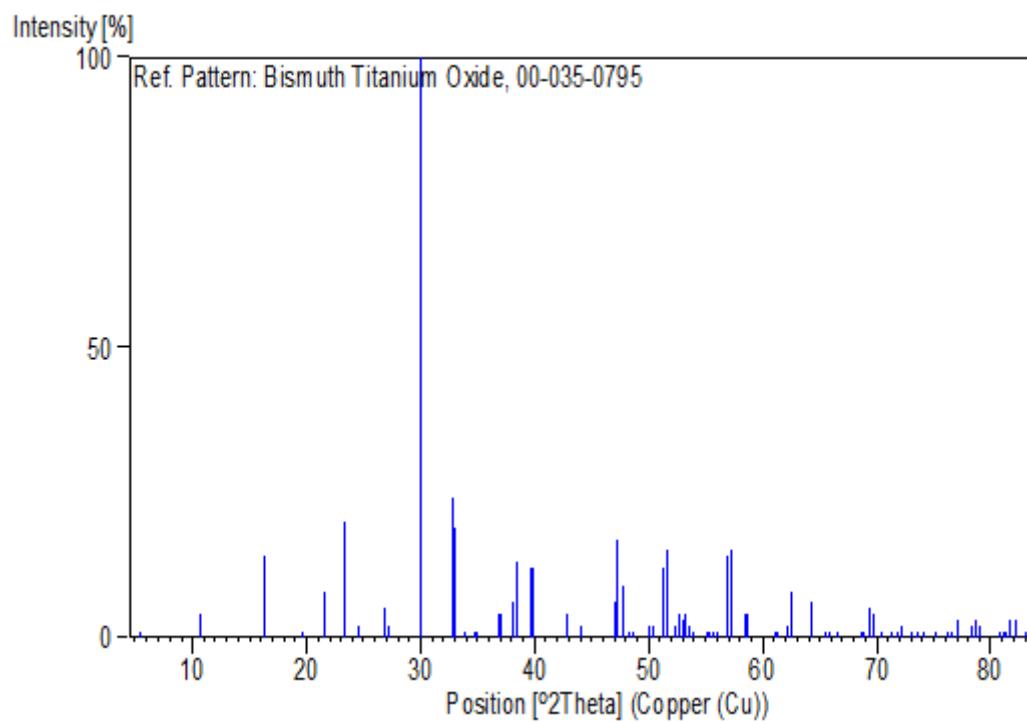
$$= 7 \times 0,00259968289 \text{ mol} \times 74,602 \text{ gr/mol}$$

$$= 1,3575908 \text{ gr} = 1,3576 \text{ gr}$$

Lampiran 3. Data Standart XRD JCPDS

a. Data JCPDS No. 00-035-0795 (BIT)

Stick Pattern



Peak list

No.	h	k	l	d[Å]	2Theta[deg]	I[%]
1	0	2	0	16.4773	5.359	1
2	0	4	0	8.20569	10.773	4
3	0	6	0	5.46862	16.195	14
4	0	4	1	4.51943	19.627	1
5	0	8	0	4.1013	21.651	8
6	1	1	1	3.8135	23.307	20
7	1	3	1	3.62273	24.553	2
8	1	5	1	3.31137	26.903	5
9	0	10	0	3.2811	27.156	2
10	1	7	1	2.9706	30.058	100
11	0	12	0	2.73433	32.725	14
12	2	0	0	2.72478	32.843	24
13	0	0	2	2.70461	33.095	19
14	1	9	1	2.6447	33.867	1
15	2	4	0	2.5854	34.668	1
16	0	4	2	2.56982	34.885	1

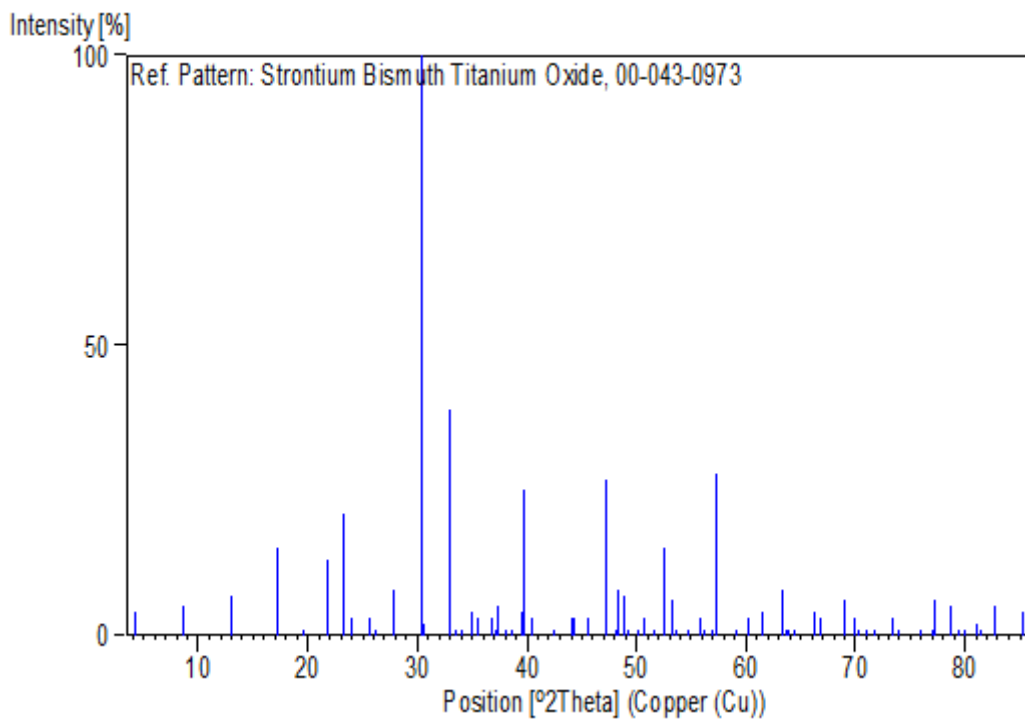
17	2	6	0	2.43832	36.832	4
18	0	6	2	2.42472	37.046	4
19	1	11	1	2.35658	38.158	6
20	0	14	0	2.34358	38.378	13
21	2	8	0	2.26968	39.679	12
22	0	8	2	2.25811	39.891	12
23	1	13	1	2.10896	42.846	4
24	0	16	0	2.05044	44.132	2
25	2	12	0	1.9307	47.028	6
26	2	0	2	1.91928	47.325	17
27	1	15	1	1.90071	47.816	9
28	1	11	2	1.88154	48.334	1
29	2	4	2	1.8684	48.696	1
30	0	18	0	1.82292	49.993	2
31	2	6	2	1.8112	50.339	2
32	2	14	0	1.77708	51.375	12
33	0	14	2	1.77159	51.546	15
34	1	13	2	1.74787	52.298	2
35	2	8	2	1.73861	52.598	4
36	1	17	1	1.72461	53.058	3
37	3	1	1	1.71968	53.222	4
38	1	1	3	1.70936	53.569	2
39	3	3	1	1.70116	53.848	1
40	3	5	1	1.66473	55.125	1
41	1	5	3	1.65643	55.425	1
42	0	8	3	1.65035	55.647	1
43	0	20	0	1.64038	56.015	1
44	3	7	1	1.61609	56.933	14
45	1	7	3	1.60802	57.245	15
46	1	19	1	1.5749	58.564	4
47	2	12	2	1.57087	58.729	4
48	2	18	0	1.51505	61.119	1
49	0	18	2	1.51178	61.265	1
50	3	11	1	1.49137	62.196	2
51	1	11	3	1.48485	62.5	8
52	1	21	1	1.44742	64.307	6
53	3	13	1	1.42281	65.557	1
54	1	13	3	1.41679	65.871	1
55	0	20	2	1.40235	66.637	1
56	2	10	3	1.3671	68.59	1
57	4	0	0	1.36193	68.887	1
58	3	15	1	1.35298	69.408	5

59	1	15	3	1.34838	69.679	4
60	1	23	1	1.33743	70.333	1
61	4	6	0	1.32178	71.292	1
62	0	6	4	1.31255	71.871	1
63	2	22	0	1.30837	72.136	2
64	0	22	2	1.30651	72.255	2
65	4	8	0	1.29289	73.139	1
66	3	17	1	1.28483	73.673	1
67	3	1	3	1.27875	74.082	1
68	0	26	0	1.26193	75.239	1
69	2	20	2	1.24743	76.269	1
70	1	25	1	1.24206	76.658	1
71	3	7	3	1.23471	77.199	3
72	3	19	1	1.2195	78.344	2
73	1	19	3	1.2159	78.621	3
74	2	0	4	1.21154	78.959	2
75	4	6	2	1.18772	80.865	1
76	3	21	0	1.18452	81.129	1
77	2	6	4	1.18282	81.27	1
78	4	14	0	1.17769	81.699	3
79	0	28	0	1.17173	82.204	3
80	2	8	4	1.16184	83.058	1

Keterangan :

h k l : indeks miller
d[A] : jarak antar bidang
2Theta[deg] : sudut terjadinya difraksi
I[%] : intensitas

b. JCPDS No. 00-143-0973 (SBT4)

Stick PatternPeak list

No.	h	k	l	d[Å]	2Theta[deg]	I[%]
1	0	0	2	20.5	4.307	4
2	0	0	4	10.2	8.662	5
3	0	0	6	6.82	12.97	7
4	0	0	8	5.12	17.306	15
5	1	0	5	4.53	19.581	1
6	0	0	10	4.09	21.712	13
7	1	1	1	3.82	23.267	21
8	1	1	3	3.7	24.033	3
9	1	1	5	3.48	25.577	3
10	0	0	12	3.41	26.111	1
11	1	1	7	3.21	27.769	8
12	1	1	9	2.935	30.431	100
13	0	0	14	2.92	30.591	2
14	0	2	0	2.72	32.902	39
15	1	1	11	2.675	33.472	1
16	2	0	4	2.627	34.102	1
17	0	0	16	2.56	35.023	4

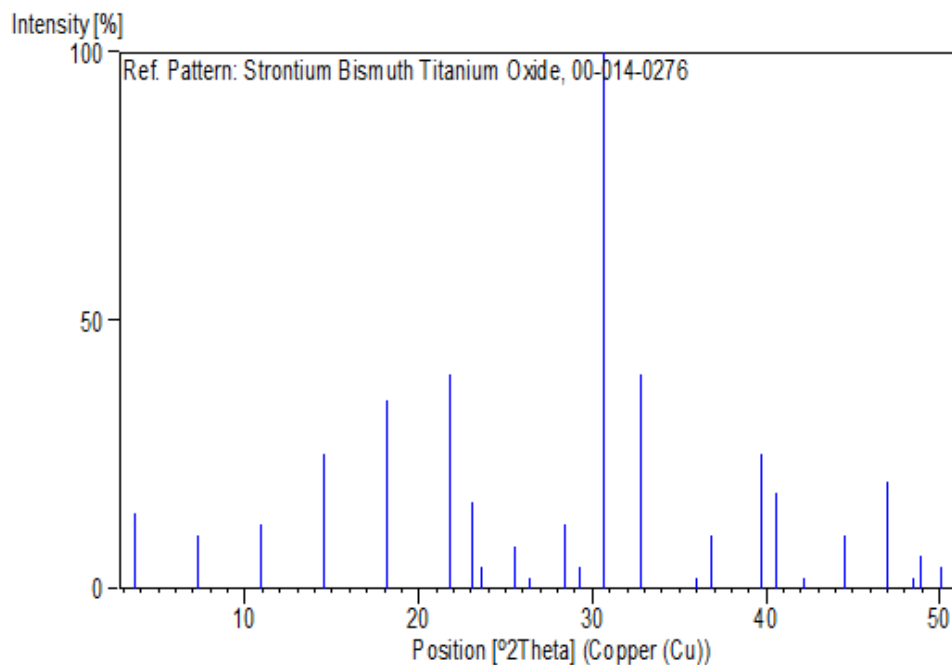
18	2	0	6	2.524	35.539	3
19	1	1	13	2.437	36.853	3
20	2	1	2	2.415	37.201	1
21	0	2	8	2.399	37.458	5
22	2	1	4	2.365	38.017	1
23	1	2	5	2.329	38.628	1
24	0	0	18	2.275	39.582	4
25	0	2	10	2.265	39.765	25
26	1	1	15	2.225	40.51	3
27	2	0	12	2.125	42.507	1
28	0	0	20	2.048	44.187	3
29	1	1	17	2.041	44.347	3
30	2	0	14	1.991	45.522	3
31	2	2	0	1.921	47.28	27
32	2	2	4	1.888	48.158	1
33	1	1	19	1.88	48.376	8
34	2	0	16	1.862	48.874	7
35	2	2	6	1.85	49.212	1
36	1	2	15	1.816	50.197	1
37	2	2	8	1.799	50.705	3
38	3	0	5	1.767	51.69	1
39	2	0	18	1.744	52.423	15
40	2	2	10	1.74	52.553	3
41	1	3	1	1.717	53.312	6
42	0	0	24	1.705	53.717	1
43	2	2	12	1.675	54.759	1
44	3	1	7	1.648	55.733	3
45	2	0	20	1.635	56.216	1
46	1	1	23	1.615	56.975	1
47	3	1	9	1.606	57.324	28
48	3	1	11	1.56	59.179	1
49	2	2	16	1.535	60.242	3
50	3	2	1	1.505	61.571	4
51	2	2	18	1.467	63.348	8
52	1	0	27	1.46	63.687	1
53	3	1	15	1.454	63.981	1
54	2	0	24	1.444	64.478	1
55	1	1	27	1.41	66.229	4
56	1	3	17	1.399	66.817	3
57	0	4	0	1.36	68.999	6
58	4	0	4	1.346	69.82	3
59	2	3	14	1.339	70.238	1

60	3	0	21	1.326	71.031	1
61	4	1	2	1.314	71.779	1
62	0	4	10	1.29	73.33	3
63	3	3	1	1.28	73.997	1
64	2	1	28	1.252	75.941	1
65	1	3	23	1.236	77.103	1
66	3	3	9	1.233	77.326	6
67	2	4	0	1.215	78.69	5
68	0	0	34	1.205	79.472	1
69	4	1	14	1.2	79.87	1
70	1	3	25	1.186	81.007	2
71	4	2	8	1.182	81.339	1
72	4	0	18	1.165	82.783	5
73	3	1	27	1.137	85.295	4

Keterangan :

h k l : indeks miller
d[A] : jarak antar bidang
2Theta[deg] : sudut terjadinya difraksi
I[%] : intensitas

c. JCPDS No. 00-014-0276 (SBT5).

Stick Pattern**Peak list**

No.	h	k	l	d[Å]	2Theta[deg]	I[%]
1	0	0	2	23.9	3.694	14
2	0	0	4	12.1	7.3	10
3	0	0	6	8.11	10.901	12
4	0	0	8	6.09	14.533	25
5	0	0	10	4.88	18.164	35
6	0	0	12	4.07	21.82	40
7	1	0	1	3.85	23.083	16
8	1	0	3	3.76	23.643	4
9	0	0	14	3.486	25.532	8
10	1	0	7	3.38	26.347	2
11	1	0	9	3.144	28.364	12
12	0	0	16	3.05	29.258	4
13	1	0	11	2.913	30.667	100
14	1	1	0	2.731	32.766	40
15	1	1	8	2.492	36.011	2
16	0	0	20	2.44	36.806	10
17	1	1	12	2.267	39.728	25
18	0	0	22	2.219	40.625	18
19	1	0	19	2.139	42.215	2

20	1	1	16	2.034	44.508	10
21	2	0	0	1.931	47.02	20
22	0	0	26	1.877	48.459	2
23	1	0	23	1.86	48.93	6
24	1	1	20	1.819	50.108	4

Keterangan :

$h k l$: indeks miller

$d[A]$: jarak antar bidang

$2\theta[\text{deg}]$: sudut terjadinya difraksi

$I[\%]$: intensitas

Lampran 4 Data Standart XRD ICSD

a. Data Standart ICSD Bi₄Ti₃O₁₂

Data for	ICSD #240210
Coll Code	240210
Rec Date	10/1/2005
Mod Date	8/1/2007
Chem Name	Tetrabismuth Trititanate
Structured	Bi ₄ (Ti ₃ O ₁₂)
Sum	Bi ₄ O ₁₂ Ti ₃
ANX	A3B4X12
D(calc)	8.04
Title	Structure and phase transitions in Aurivillius phase ferroelectrics
Author(s)	Lightfoot, P.;Hervoches, C.H. Proceedings of the 10th International Ceramics Congress (2003), 10, 623-630
Reference	10, 623-630
Unit Cell	5.44513(11) 5.41014(11) 32.8565(7) 90.0 90.0 90.0
Vol	967.9
Z	4
Space Group	B 2 c b
SG Number	41
Cryst Sys	orthorhombic
Pearson	oS76
Wyckoff	b9 a
Red Cell	B 5.410 5.445 16.652 99.409 90 89.999 483.952
Trans Red	0.000 1.000 0.000 / -1.000 0.000 0.000 / 0.500 0.000 0.500
Comments	<p>Proceedings of the 10th International Ceramics Congress - Part D, Advances in Science and Technology, 33, P. Vincenzini Editor, Techna, 2003, ISBN: 88-86538-35-9, pages 623-630. x and y coordinates of O(6) have been corrected. Previously reported structures by the same authors (col.code: 87808, 87809,87810) represent a stable, false minimum in the refinement (comment from Dr. P. Lightfoot)</p> <p>Neutron diffraction (powder) The structure has been assigned a PDF number (calculated powder diffraction data): 01-073-4117 Rietveld profile refinement applied Structure type : Bi₄Ti₃O₁₂ No R value given in the paper. At least one temperature factor is implausible or meaningless but agrees with the value given in the paper.</p>

Atom	#	OX	SITE	x	y	z	SOF	H
Bi	1	+3	8b	0	0.9981(4)	0.06691(4)	1	0
Bi	2	+3	8b	0.9992(5)	0.0179(4)	0.21142(4)	1	0
Ti	1	+4	8b	0.0441(8)	0	0.5	1	0
Ti	2	+4	8b	0.0474(6)	1.0015(9)	0.37153(7)	1	0
O	1	-2	8b	0.3222(7)	0.2542(6)	0.00818(9)	1	0
O	2	-2	8b	0.2711(6)	0.2424(5)	0.24984(9)	1	0
O	3	-2	8b	0.0866(5)	1.0607(4)	0.44109(8)	1	0
O	4	-2	8b	1.0558(6)	0.9474(5)	0.31879(6)	1	0
O	5	-2	8b	0.2900(5)	0.2270(5)	0.11220(6)	1	0
O	6	-2	8b	0.3597(5)	0.2952(5)	0.87591(7)	1	0
*end	for	ICSD	#240210					

Keterangan :

Atom : atom yang dideteksi
: jumlah atom yang terdeteksi
OX : muatan atom
x y z : sumbu bidang kristal

a. Data Standart ICSD SrBi₄Ti₄O₁₅

Data for	ICSD #51864
Coll Code	51864
Rec Date	10/1/2004
Mod Date	8/1/2007
Chem Name	Strontium Tetrabismuth Tetratitanium Oxide – Ht Structured
Structured	Sr Bi ₄ Ti ₄ O ₁₅
Sum	Bi ₄ O ₁₅ Sr ₁ Ti ₄
ANX	A4B5X15
D(calc)	7.25
Title	Structural behavior of the four-layer Aurivillius-phase ferroelectrics Sr Bi ₄ Ti ₄ O ₁₅ and Bi ₅ Ti ₃ Fe O ₁₅ Hervoches, C.H.;Snedden, A.;Riggs, R.;Kilcoyne, S.H.;Manuel P.;
Author(s)	Lightfoot, P.
Reference	Journal of Solid State Chemistry (2002), 164, 280-291 Journal of Solid State Chemistry (2002), 166, 449-449 Golden Book of Phase Transitions, Wroclaw (2002), 1, 1-123
Unit Cell	3.87469(4) 3.87469(4) 41.3523(5) 90 90 90
Vol	620.83
Z	2
Space Group	I 4/m m m
SG Number	139
Cryst Sys	tetragonal
Pearson	tI48
Wyckoff	g2 e6 d b a
R Value	0.052
Red Cell	I 3.874 3.874 20.856 95.329 95.329 89.999 310.417
Trans Red	1.000 0.000 0.000 / 0.000 -1.000 0.000 / -0.500 0.500 -0.500
Comments	Stable above 803 K, below A21am (3rd ref., Tomaszewski) This publication corrects errors in an earlier one Rietveld profile refinement applied Temperature in Kelvin: 923 Structure type : BaBi ₄ Ti ₄ O ₁₅ X-ray diffraction (powder)

Atom	#	OX	SITE	x	y	z	SOF	H
Bi	1	3	2a	0	0	0	0.667	0
Sr	1	2	2a	0	0	0	0.333	0
Bi	2	3	4e	0	0	0.1037(2)	0.667	0
Sr	2	2	4e	0	0	0.1037(2)	0.333	0
Bi	3	3	4e	0	0	0.2184(2)	1	0
Ti	1	4	4e	0	0	0.4509(3)	1	0
Ti	2	4	4e	0	0	0.3481(2)	1	0
O	1	-2	2b	0	0	0.5	1	0
O	2	-2	8g	0	0.5	0.0491	1	0
O	3	-2	4e	0	0	0.4052(2)	1	0
O	4	-2	8g	0	0.5	0.1444(2)	1	0
O	5	-2	4e	0	0	0.3045(3)	1	0
O	6	-2	4d	0	0.5	0.25	1	0
Lbl	Type	U11	U22	U33	U12	U13	U23	
Bi1	Bi3+	0.056(4)	0.056(4)	0.066(6)	0	0	0	
Sr1	Sr2+	0.056(4)	0.056(4)	0.066(6)	0	0	0	
Bi2	Bi3+	0.073(3)	0.073(3)	0.133(4)	0	0	0	
Sr2	Sr2+	0.073(3)	0.073(3)	0.133(4)	0	0	0	
Bi3	Bi3+	0.075(3)	0.075(3)	0.072(4)	0	0	0	
Ti1	Ti4+	0.027(4)	0.027(4)	0.044(5)	0	0	0	
Ti2	Ti4+	0.010(3)	0.010(3)	0.035(5)	0	0	0	
O1	O2-	0.084(7)	0.084(7)	0.029(7)	0	0	0	
O2	O2-	0.057(4)	0.118(6)	0.115(6)	0	0	0	
O3	O2-	0.072(4)	0.072(4)	0.043(5)	0	0	0	
O4	O2-	0.015(3)	0.058(4)	0.035(3)	0	0	0	
O5	O2-	0.066(4)	0.066(4)	0.067(6)	0	0	0	
O6	O2-	0.026(3)	0.026(3)	0.087(7)	0	0	0	

*end for ICSD #51864

Keterangan :

Atom : atom yang dideteksi
 # : jumlah atom yang terdeteksi
 OX : muatan atom
 x y z : sumbu bidang kristal

b. Data Standart ICSD Sr₂Bi₄Ti₅O₁₈

Data for	ICSD #150401
Coll Code	150401
Rec Date	4/1/2006
Mod Date	8/1/2007
Chem Name	Distrontium Tetrabismuth Pentatitanate
Structured	Sr ₂ Bi ₄ (Ti ₅ O ₁₈)
Sum	Bi ₄ O ₁₈ Sr ₂ Ti ₅
ANX	A2B4C5X18
D(calc)	7.01
Title	Structural studies of five layer Aurivillius oxides: A ₂ Bi ₄ Ti ₅ O ₁₈ (A = Ca, Sr, Ba and Pb)
Author(s)	Ismunandar;Kamiyama, T.;Hoshikawa, A.;Zhou, Q.;Kennedy, B.J.;Kubota, Y.;Kato, K.
Reference	Journal of Solid State Chemistry (2004), 177, 4188-4196 Golden Book of Phase Transitions, Wroclaw (2002), 1, 1-123
Unit Cell	5.4647(2) 5.4625(2) 48.8515(7) 90. 90. 90.
Vol	1458.26
Z	4
Space Group	B 2 c b
SG Number	41
Cryst Sys	orthorhombic
Pearson	oS116
Wyckoff	b14 a
R Value	0.0217
Red Cell	B 5.462 5.464 24.578 96.382 90 89.999 729.131
Trans Red	0.000 1.000 0.000 / -1.000 0.000 0.000 / 0.500 0.000 0.500
Comments	Stable up to 558 K, above tetragonal (2nd ref., Tomaszewski) Neutron diffraction (powder) Rietveld profile refinement applied Structure type : Ca ₂ Bi ₄ Ti ₅ O ₁₈

Atom	#	OX	SITE	x	y	z	SOF	H
Bi	1	3	8b	0	0.000(2)	0.0421(1)	0.5	0
Sr	1	2	8b	0	0.000(2)	0.0421(1)	0.5	0
Bi	2	3	8b	0.003(2)	-0.021(2)	0.2241(1)	1	0
Bi	3	3	8b	0.002(4)	0.004(2)	0.1297(1)	0.5	0
Sr	2	2	8b	0.002(4)	0.004(2)	0.1297(1)	0.5	0
Ti	1	4	8b	0.011(5)	0	0.5	1	0
Ti	2	4	8b	0.013(4)	0.994(4)	0.4168(2)	1	0
Ti	3	4	8b	0.018(3)	0.007(5)	0.3314(2)	1	0
O	1	-2	8b	0.290(3)	0.254(2)	0.0021(3)	1	0
O	2	-2	8b	0.266(3)	0.246(2)	0.2491(2)	1	0
O	3	-2	8b	0.005(3)	0.020(4)	0.2960(1)	1	0
O	4	-2	8b	0.041(4)	0.966(3)	0.3790(1)	1	0
O	5	-2	8b	0.042(3)	0.041(3)	0.4598(2)	1	0
O	6	-2	8b	0.262(3)	0.230(2)	0.0776(2)	1	0
O	7	-2	8b	0.316(2)	0.295(2)	0.9182(2)	1	0
O	8	-2	8b	0.263(3)	0.251(2)	0.8413(2)	1	0
O	9	-2	8b	0.282(2)	0.257(2)	0.1630(2)	1	0

Keterangan :

Atom : atom yang dideteksi
 # : jumlah atom yang terdeteksi
 OX : muatan atom
 x y z : sumbu bidang kristal