

**SINTESIS, KARAKTERISASI DAN UJI ANTIBAKTERI
SENYAWA $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ YANG DIPEROLEH DARI METODE SINTESIS
LELEHAN GARAM**

SKRIPSI

**Oleh:
IMAMATUS SHALEHA
NIM. 19630105**



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

**SINTESIS, KARAKTERISASI DAN UJI ANTIBAKTERI
SENYAWA $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ YANG DIPEROLEH DARI METODE SINTESIS
LELEHAN GARAM**

SKRIPSI

**Oleh:
IMAMATUS SHALEHA
NIM. 19630105**

**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**

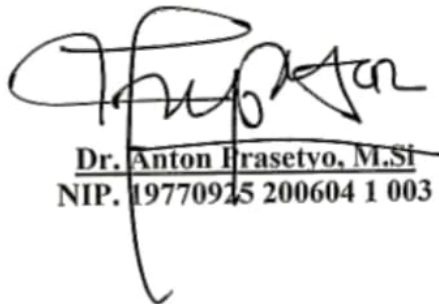
**SINTESIS, KARAKTERISASI DAN UJI ANTIBAKTERI
SENYAWA $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ YANG DIPEROLEH DARI METODE SINTESIS
LELEHAN GARAM**

SKRIPSI

**Oleh:
IMAMATUS SHALEHA
NIM. 19630105**

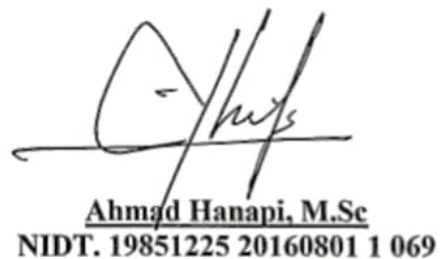
**Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal: 12 Desember 2023**

Pembimbing I



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

Pembimbing II



**Ahmad Hanapi, M.Sc
NIDT. 19851225 20160801 1 069**

**Mengetahui
Ketua Program Studi Kimia**



**Rachmawati Ningsih, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009**

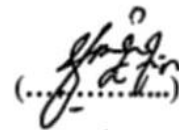
**SINTESIS, KARAKTERISASI DAN UJI ANTIBAKTERI
SENYAWA $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ YANG DIPEROLEH DARI METODE SINTESIS
LELEHAN GARAM**

SKRIPSI

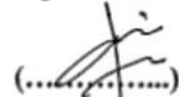
Oleh:
IMAMATUS SHALEHA
NIM. 19630105

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 18 Desember 2023

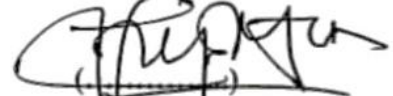
Penguji Utama : Dr. Anik Maunatin, M.P
NIDT. 19760105 20180201 2 248


(.....)

Ketua Penguji : Susi Nurul Kholifah, M.Si
NIP. 19851020 201903 2 012

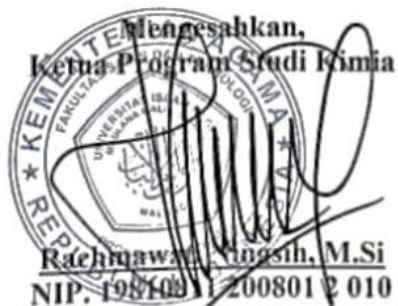

(.....)

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


(.....)

Anggota Penguji : Ahmad Hanapi, M.Sc
NIDT. 19851225 20160801 1 069


(.....)

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Kimia

Rachmawati Angsih, M.Si
NIP. 19870811 200801 2 010

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Imamatus Shaleha
NIM : 19630105
Program Studi : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Sintesis, Karakterisasi dan Uji Antibakteri Senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ Yang Diperoleh Dari Metode Sintesis Lelehan Garam

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

Malang, 22 Desember 2023

Yang membuat pernyataan



Imamatus Shaleha
NIM. 19630105

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji hanya bagi Allah *Subhanahuwata'ala*

Sholawat dan salam semoga senantiasa mengalir deras kepada baginda Nabi
Muhammad *Sallallahu'alaihiwasalaam*

Atas kehendak dan seiring ridho-Nya

Kepersembahkan catatan hitam sederhana ini untuk kedua orangtua ku ayahanda
H. M. Sirto dan ibunda Hj. Ana Nur Shaleha yang ku cinta beserta semua
keluarga yang tak mengenal lelah memberikan bimbingannya untuk terus
memotifasi jiwa yang penat menjadi jiwa yang semangat untuk terus menyusun
tulisan ini.

Segenap Dosen jurusan Kimia, terlebih kepada Dosen pembimbing saya
Dr. Anton Prasetyo, Dr. Anik Maunatin dan bapak Ahmad Hanapi, M.Sc yang
telah memberikan arahan dan bimbingan dalam penulisan skripsi ini, terimakasih
banyak sudah meluangkan waktu untuk membimbing kami.

Teruntuk teman sebimbitan anak abah yang telah melalui proses dalam keadaan
suka dan duka. Dan teruntuk besti seperjuangan Hokya-hokya terimakasih telah
membersamai. Luv buat kalian semua

Wa bilkhusus untuk diri saya sendiri,

Terimakasih sudah berjuang sampai titik ini. Tetaplah menjadi diri yang
menjadikan segalanya tawakkaltu ilallah. Semoga menjadi pribadi yang selalu
didoakan dalam namamu

IMAMATUS SHALEHA

MOTTO

كَيْفَ يَكُونُ مِنَ الْمُؤْمِنِينَ مَنْ يُرْضِي الْمَخْلُوقِينَ بِسَخَطِ رَبِّ الْعَالَمِينَ

Bagaimana seseorang dapat menjadi seseorang mukmin yang sejati,

jika ia rela dengan dosa-dosa yang dilakukannya terhadap

para makhluk, sehingga menyebabkan kemurkaan

tuhan alam semesta?

(Imam Al Haddad).

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberi rahmat dan nikmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian **“Sintesis, Karakterisasi dan Uji Antibakteri Senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ Yang Diperoleh Dari Metode Sintesis Lelehan Garam”**. Shalawat dan salam semoga senantiasa tetap terlimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa cahaya Islam untuk kesejahteraan ummat manusia. Penelitian ini dapat berjalan baik dan lancar berkat doa, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih 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 Saintek Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
3. Rachmawati Ningsih, M.Si, selaku ketua Program Studi Kimia Fakultas Saintek Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
4. Dr. Anton Prasetyo, M.Si selaku dosen pembimbing dan bapak Ahmad Hanapi, M.Sc selaku dosen pembimbing agama yang telah memberikan bimbingan, arahan dan nasihat, sehingga penulisan proposal ini dapat terselesaikan.
5. Seluruh jajaran dosen Program Studi Kimia Fakultas Saintek Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
6. Seluruh teman-teman mahasiswa Angkatan 2019 terutama teman sebimbingan yang telah memberikan dukungan dalam menyusun proposal penelitian.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan secara satu persatu dalam menyelesaikan proposal ini baik berupa moral maupun materi.

Penulis menyadari kritik dan saran pembaca sangat diharapkan agar penulis mengetahui kekurangan dari yang dituliskan. Semoga susunan proposal ini dapat berguna dan memberi manfaat kepada banyak orang. Sedikit kata penulis ucapkan, sekian dan terimakasih banyak.

Malang, 12 Desember 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	Error!
Bookmark not defined.	
HALAMAN PENGESAHAN	Error!
Bookmark not defined.	
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	Error!
Bookmark not defined.	
HALAMAN PERSEMBAHAN	i
MOTTO	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
البحث ملخص	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan	6
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Fotokatalis antibakteri.....	8
2.2 Senyawa Fotokatalis Aurivillius Sebagai Antibakteri	9
2.3 Senyawa Aurivillius Lapis Lima.....	11
2.4 Pengaruh Metode Sintesis pada Aktivitas Fotokatalis	14
2.5 Metode Lelehan Garam.....	16
2.6 Perspektif al-Quran Terhadap Senyawa Aurivillius sebagai Antibakteri	18
BAB III METODOLOGI	19
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	19
3.2 Alat dan Bahan.....	19
3.3 Tahapan Penelitian.....	19
3.4 Cara Kerja	20
3.4.1 Sintesis $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dengan Metode Lelehan Garam.....	20
3.4.2 Karakterisasi Sintesis dengan Difraksi Sinar-X.....	21
3.4.3 Karakterisasi Hasil Sintesis dengan SEM	21
3.4.4 Karakterisasi Hasil Sintesis dengan Spektroskopi UV-Vis DRS	22

3.5 Uji Aktivitas Antibakteri.....	22
3.5.1 Sterilisasi Alat	22

3.5.2 Pembuatan Media <i>Nutrient Agar</i> (NA) dan <i>Nutrient Broth</i> (NB)	22
3.5.3 Peremajaan Bakteri.....	23
3.5.4 Pembuatan Inokulum <i>Staphylococcus aureus</i>	23
3.5.5 Uji Aktivitas Antibakteri	23
3.5.5.1 Uji Aktivitas Antibakteri dalam Keadaan Ruang Terbuka.....	23
3.5.5.2 Uji Aktivitas Antibakteri dalam Keadaan Gelap.....	23
3.5.5.3 Uji Aktivitas Antibakteri dengan Radiasi Sinar UV	24
3.5.5.4 Uji Aktivitas Antibakteri Senyawa $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ dalam Keadaan Gelap.....	24
3.5.5.5 Uji Aktivitas Antibakteri Senyawa $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ dengan Radiasi Sinar UV	24
3.5.6 Perhitungan Jumlah Sel Bakteri.....	25
3.6 Analisis Data.....	25
3.6.1 Analisis Hasil Sintesis dengan Difraksi Sinar-X	25
3.6.2 Analisis Hasil Sintesis dengan SEM	25
3.6.3 Analisis Hasil Sintesis dengan UV-Vis DRS	26
3.6.4 Analisis Hasil Uji antibakteri	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1 Sintesis Senyawa $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ dengan Metode Lelehan Garam Campuran.....	28
4.2 Karakterisasi $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ Menggunakan Difraksi Sinar-X.....	29
4.3 Karakterisasi $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ Menggunakan SEM.....	30
4.4 Karakterisasi $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ Menggunakan UV-DRS	31
4.5 Uji Aktivitas Antibakteri Senyawa $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ terhadap <i>S. aureus</i>	32
4.6 Perspektif al-Quran Tentang Potensi Senyawa Aurivillius sebagai Antibakteri terhadap <i>S. aureus</i>	35
BAB V PENUTUP.....	37
5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN.....	Error!
Bookmark not defined.	

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 2. Diagram Alir.....	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 3. Perhitungan.....	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 4. Data Karakterisasi XRD	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 5. Hasil karakterisasi SEM	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 6. Hasil Karakterisasi UV-Vis DRS	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 7. Hasil Perhitungan TPC Bakteri <i>S.aureus</i>	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 8. Dokumentasi.....	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Mekanisme antibakteri fotokatalitik	9
Gambar 2. 2	Inaktivasi bakteri <i>Escherichia coli</i> dalam (a) Bi_2WO_6 dalam gelap (0,5 mg/mL), (b) tidak ada katalis dan (c) dibawah iridiasi cahaya tampak (0,5 mg/mL)	10
Gambar 2. 3	Aktivitas antibakteri pada bakteri <i>S.aureus</i> dan <i>E.coli</i> dan perlakuan kontrol, PVDF, PVDF/BT40-10, PVDF/BT40-30, dan PVDF/ BT40-50	11
Gambar 2. 4	Struktur senyawa Aurivillius lapis lima $\text{Ca}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ (kiri) dan $\text{Ba}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ (kanan)	12
Gambar 2. 5	Aktivitas fotodegradasi RhB dengan $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dibawah iradiasi sinar ultraviolet	13
Gambar 2. 6	Aktivitas fotodegradasi RhB dengan $\text{Bi}_6\text{Ti}_3\text{Fe}_2\text{O}_{18}$ dan $\text{Bi}_5\text{LaTi}_3\text{Fe}_2\text{O}_{18}$ dibawah sinar matahari.....	14
Gambar 2. 7	Hasil karakterisasi SEM Rh-doped $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ menggunakan metode (a) MSS, (b) SSR, dan (c) PC	15
Gambar 2. 8	Hasil karakterisasi SEM Rh-doped $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ menggunakan metode (a) MSS, (b) SSR, dan (c) PC.....	16
Gambar 2. 9	Proses pembentukan produk menggunakan metode lelehan garam.....	17
Gambar 2. 10	Pola SEM senyawa $\text{Bi}_6\text{Ti}_3\text{Fe}_2\text{O}_{18}$ menggunakan metode lelehan garam campuran KCl/NaCl pada suhu 850°C	17
Gambar 4. 1	Perubahan warna sampel $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ (a) sebelum kalsinasi (b) setelah kalsinasi suhu 750 dan 820°C selama 6 jam..... Error!	Bookmark not defined.
Gambar 4. 2	Difraktogram senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ Error! Bookmark not defined.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 3	Mikrograf senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$. Error! Bookmark not defined.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 4	Distribusi Partikel SEM senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ Error! Bookmark not defined.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 5	Spektra DRS hubungan % reflektansi dengan Panjang gelombang senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ Error! Bookmark not defined.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 6	Plot Tauch energi celah pita senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ Error!	Bookmark not defined.
Gambar 4. 7	Uji antibakteri senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ terhadap pertumbuhan <i>staphylococcus aureus</i>	Error! Bookmark not defined.

No table of figures entries found.

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Data kristalografi senyawa $A_2Bi_4Ti_5O_{18}$ (A= Ba, Ca, Pb dan Sr).....	13
Tabel 3.1	Komposisi prekursor senyawa $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$	21
Tabel 4. 1	Jumlah koloni hidup <i>Staphylococcus aureus</i> ..	Error! Bookmark not defined.
Tabel L.7. 1	Perhitungan jumlah koloni bakteri <i>S.aureus</i> pengulangan 1	Error! Bookmark not defined.
Tabel L.7. 2	Perhitungan jumlah koloni bakteri <i>S.aureus</i> pengulangan 1	Error! Bookmark not defined.

ABSTRAK

Shaleha, Imamatus. 2023. “**Sintesis, Karakterisasi dan Uji Antibakteri Senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ Yang Diperoleh Dari Metode Sintesis Lelehan Garam**”. Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: Dr. Anton Prasetyo, M,Si; Pembimbing II: Ahmad Hanapi M.Sc.

Kata Kunci: $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$, Antibakteri fotokatalitik, metode lelehan garam.

Senyawa Aurivillius $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ merupakan salah satu bahan fotokatalis yang berpotensi sebagai material antibakteri yang dapat digunakan untuk menghambambat kontaminasi bakteri. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan antibakteri senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ yang diperoleh dari metode sintesis lelehan garam NaCl-KCl dengan rasio mol 1:7 (produk:garam). Sintesis dilakukan dengan mencampurkan prekursor dan garam secara stoikiometrik. Campuran dikalsinasi pada suhu 750 dan 820°C selama 6 jam, kemudian di oven dengan suhu 80°C selama 2 jam. Hasil sintesis $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dikarakterisasi menggunakan Teknik difraksi sinar-X (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Ultraviolet Visible Diffuse Reflectance* (UV-Vis DRS). Difraktogram menunjukkan bahwa senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ berhasil disintesis dengan sistem kristal ortorombik dan grup ruang *B2bc*. Difraktogram juga menunjukkan bahwa ditemukan senyawa pengotor berupa Sr_2TiO_4 yang ditunjukkan dengan keberadaan puncak pada 2θ ($^\circ$): 43,85. Mikrograf SEM menunjukkan bahwa morfologi yang dihasilkan yaitu *plate-like* dan cenderung terbentuk aglomerasi. Spektra UV-Vis DRS menunjukkan senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ memiliki energi celah pita sebesar 3,2 eV. Hasil uji antibakteri senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dengan konsentrasi 2,5; 5; dan 10 mg/mL dengan bantuan cahaya sebesar 1,55; 2,6; dan $2,6 \times 10^7$ (CFU/mL) dan tanpa cahaya (gelap) sebesar 2,24; 2,33; dan $2,21 \times 10^7$ (CFU/mL) menunjukkan bahwa senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ berpotensi sebagai antibakteri karena dapat menghambat pertumbuhan bakteri yang dibandingkan dengan kontrol bakteri $18,9 \times 10^7$ (CFU/mL) melalui atau tanpa mekanisme fotokatalis antibakteri.

ABSTRACT

Shaleha, Imamatus. 2023. **Synthesis, Characterization and Antibacterial Test of $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ Using Syntesis Molten Salt Method.** Chemistry Department, Faculty of Science and Tecnology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor I: Dr. Anton Prasetyo, M.Si; Supervisor II: Ahmad Hanapi, M.Sc.

Kata Kunci: $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$, Photocatalytic antibacterial, molten salt synthesis

The Aurivillius compound $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ was one of the photocatalytic materials with the potential to serve as an antibacterial material, which could be used to inhibit bacterial contamination. The research aimed to determine the antibacterial capability of the $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ compound obtained through the molten salt synthesis method of NaCl-KCl with a molar ratio of 1:7 (product:salt). The synthesis was conducted by stoichiometrically mixing precursors and salt. The mixture was calcined at temperatures of 750 and 820°C for 6 hours, followed by oven treatment at 80°C for 2 hours. The synthesized $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ was characterized using X-ray diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), and Ultraviolet Visible Diffuse Reflectance (UV-Vis DRS) techniques. The diffractogram indicated that the compound $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ was successfully synthesized with an orthorhombic crystal system and *B2bc* space group. The diffractogram also revealed that a contaminant compound in the form of Sr_2TiO_4 was found, as evidenced by the presence of peaks at 2θ (0): 43.85. SEM micrographs revealed a *plate-like* morphology with a tendency to form agglomerations. UV-Vis DRS spectra indicated that the $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ compound had a band gap energy of 3,2 eV. The antibacterial test results of the $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ compound with concentrations of 2,5; 5; and 10 mg/mL, assisted by light at 1,55; 2,6; dan $2,6 \times 10^7$ (CFU/mL), and without light (dark) at 2,24; 2,33; dan $2,21 \times 10^7$ (CFU/mL), demonstrated the potential of $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ as an antibacterial agent. It inhibited bacterial growth compared to the bacterial control at $18,9 \times 10^7$ (CFU/mL), with or without the antibacterial photocatalytic mechanism.

ملخص البحث

الصالحه ، امامة. 2023. "التوليف والتوصيف والاختبار المضاد للبكتيريا لمركب $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ الذي تم الحصول عليه من طريقة تخليق ذوبان الملح" بحث جامعي. قسم الكيمياء، كلية العلوم والتكنولوجيا. جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: الدكتور أنطون براسيديو الماجستير؛ المشرف الثاني: أحمد حنيي الماجستير

الكلمات الرئيسية: $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ ، مضاد للجراثيم مخفز ضوئيا ، طريقة ذوبان الملح.

مركب أوريفيلبوس $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ هو أحد مواد المحفز الضوئي التي لديها القدرة كمادة مضادة للبكتيريا يمكن استخدامها لمنع التلوث البكتيري. يهدف هذا البحث إلى تحديد القدرة المضادة للبكتيريا لمركبات $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ التي تم الحصول عليها من طريقة تخليق ذوبان الملح NaCl-KCl بنسبة مولية 1:7 (المنتج: الملح). يتم التوليف عن طريق خلط السلائف والأملاح متكافئة. تم تحميص الخليط عند 750 و 820 درجة مئوية لمدة 6 ساعات ، ثم في فرن على حرارة 80 درجة مئوية لمدة 2 ساعة. تم توصيف تخليق $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ باستخدام تقنيات حيود الأشعة السينية (XRD) والمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) وانعكاس الأشعة فوق البنفسجية المرئية المنتشرة (UV-Vis DRS). يُظهر مخطط الحيود أن المركب $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ قد تم تصنيعه بنجاح باستخدام النظام البلوري المعيني والمجموعة الفضائية $B2bc$. يوضح مخطط الحيود أيضًا أنه تم العثور على مركب شوائب على شكل Sr_2TiO_4 كما يتضح من وجود قمة عند 43.852 : 2θ (0). تظهر الصور المجهرية SEM أن التشكل الناتج يشبه الصفائح ويميل إلى تكوين تكتلات. تظهر أطياف UV-Vis DRS أن المركب $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ لديه طاقة فجوة نطاق تبلغ 2,3 eV. نتائج اختبار مضاد للجراثيم لمركب $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ بتركيز 5,2 ؛ 5 ؛ و 10 mg/mL بمساعدة ضوء (CFU/mL) $2,6 \times 10^7$ dan 1,55؛ 2,6؛ ولا يوجد ضوء (مظلم) من 24,2 ؛ 33,2 ؛ و 2,24؛ $2,21 \times 10^7$ (CFU/mL) أن المركب $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ لديه إمكانات مضادة للبكتيريا لأنه يمكن أن يمنع نمو البكتيريا مقارنة بالتحكم البكتيري في 107×18.9 CFU/mL من خلال أو بدون آلية محفز ضوئي مضاد للبكتيريا.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembuangan limbah kimia pada industri dan laboratorium yang tidak sempurna telah menyebabkan masalah lingkungan yang semakin memburuk dan kontaminasi bakteri (Ferraris dan Spriano, 2016). Setiap tahun, ribuan orang meninggal karena terkontaminasi bakteri yang mematikan, diantaranya *Mycobacterium tuberculosis*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, *Escherichia coli*, dan *Bacillus anthracis* (Falkow, 2006 dan Hamad, 2019). Keberadaan *S. aureus* di lingkungan perairan dapat menurunkan kualitas air sehingga memudahkan terjadi wabah. Penting untuk mengelola limbah industri dan laboratorium dengan baik agar mencegah kontaminasi bakteri dan risiko kesehatan yang mungkin timbul akibat cemaran bakteri. Teknologi fotokatalitik telah menarik minat yang cukup besar sebagai teknologi sederhana dan menjanjikan dalam mengatasi masalah lingkungan. Selain itu, efisiensi dari fotokatalitik menjadi salah satu solusi dalam membunuh bakteri atau memperlambat pertumbuhan bakteri tanpa menjadi racun bagi jaringan disekitarnya (Mahipati, dkk., 2016).

Upaya penanganan dan pencegahan dalam mengatasi kontaminasi bakteri sangat diperlukan untuk menghadapi wabah penyakit. Sebagian telah ada obatnya dan banyak yang belum ditemukan antivirus atau antibakterinya. Hal ini menunjukkan adanya kemajuan ilmu pengetahuan. Integrasi al-Quran dalam bidang bakteri dijelaskan pada surat al-Baqoroh ayat 26 sebagai berikut:

إِنَّ اللَّهَ لَا يَسْتَحْيِي أَنْ يَضْرِبَ مَثَلًا مَا بَعُوضَةٌ فَمَا فَوْقَهَا فَأَمَّا الَّذِينَ آمَنُوا فَيَعْلَمُونَ أَنَّهُ الْحَقُّ مِنْ رَبِّهِمْ وَأَمَّا الَّذِينَ كَفَرُوا فَيَقُولُونَ مَاذَا أَرَادَ اللَّهُ بِهَذَا مَثَلًا يُضِلُّ بِهِ كَثِيرًا وَيَهْدِي بِهِ كَثِيرًا وَمَا يُضِلُّ بِهِ إِلَّا الْفَاسِقِينَ (٢٦)

Artinya: “*Sesungguhnya Allah tidak segan membuat perumpamaan seekor nyamuk atau yang lebih kecil dari itu. Adapun orang-orang yang beriman, mereka tahu bahwa itu kebenaran dari Tuhan. Tetapi mereka yang kafir berkata, "Apa maksud Allah dengan perumpamaan ini?" Dengan (perumpamaan) itu banyak orang yang dibiarkan-Nya sesat, dan dengan itu banyak (pula) orang yang diberi-Nya petunjuk. Tetapi tidak ada yang Dia sesatkan dengan (perumpamaan) itu selain orang-orang fasik.*”

Tafsir Jalalain menjelaskan kalimat *bau'dhoh* digunakan sebagai perumpamaan makhluk yang sangat kecil, sedangkan dalam kaidah Bahasa arab berarti nyamuk atau makhluk yang lebih kecil dari nyamuk seperti bakteri. Ayat tersebut menyebutkan bahwa Allah tidak segan mengangkat nyamuk sebagai perumpamaan, atau bahkan yang lebih kecil dari nyamuk seperti bakteri karena di dalamnya terdapat hikmah. Orang yang beriman meyakini kebenaran perumpamaan itu dari Allah, orang-orang yang kafir mempertanyakan dengan ingkar manfaat dan urgensi perumpamaan tersebut. Sedangkan orang fasik yang disesatkan oleh perumpamaan Allah itu adalah orang yang keluar dari ketaatan terhadap Allah. Bakteri dapat dibagi menjadi dua yaitu bakteri baik dan bakteri patogen. Keberadaan bakteri patogen pada limbah industri dan laboratorium menyebabkan kontaminasi bakteri dan risiko kesehatan yang mungkin timbul akibat cemaran bakteri, maka penting untuk mengelola limbah dengan baik sebelum dibuang ke lingkungan. Salah satu bentuk interpretasi dalam disiplin ilmu kimia yaitu dengan mengembangkan bahan fotokatalis senyawa Aurivillius sebagai antibakteri dengan memanfaatkan sinar *ultra violet* (UV).

Fotokatalis antibakteri adalah sebuah proses dimana bahan fotokatalis digunakan untuk membunuh bakteri dan mikroorganisme patogen dari lingkungan dengan bantuan cahaya. Dalam proses ini, bahan fotokatalis yang menyerap foton dengan energi yang sama atau lebih besar dari energi celah pita dapat bertindak sebagai substrat fotokatalitik dengan menghasilkan *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang bersifat sangat reaktif terhadap mikroorganisme (Pillai, dkk., 2017). Sebagai contoh, Bi_2WO_6 telah dilaporkan sebagai fotokatalis antibakteri yang mampu menonaktifkan *Escherichia coli* hampir sepenuhnya dalam waktu 2 jam dibawah penyinaran cahaya tampak dengan daya aktivitasnya 95% dan konsentrasi Bi_2WO_6 0,5 mg/mL, sedangkan Bi_2WO_6 dalam keadaan gelap maupun tanpa katalis tidak menunjukkan inaktivasi bakteri, yang mengindikasikan bahwa fotokatalis tersebut tidak bersifat toksik terhadap bakteri *Escherichia coli* (Ren, dkk., 2009).

Beberapa pihak melakukan uji aktivitas antibakteri senyawa Aurivillius lapis satu yang melibatkan efek *photo-killing* pada bakteri Gram positif dan Gram negatif. Wang, dkk. (2021) melaporkan $\text{Bi}_2\text{MoO}_6/\text{Ag}_3\text{PO}_4$ sebagai fotokatalis antibakteri mampu menonaktifkan *E. coli* dan *S. aureus* hampir sepenuhnya dalam waktu 30 menit dibawah penyinaran UV dengan daya antibakteri terhadap *E. coli* dan *S. aureus* masing-masing mencapai 95,72 dan 94,72 %. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri Gram negatif lebih tahan terhadap aktivitas bakterisida fotokatalitik dari pada bakteri Gram positif. Bakteri Gram negatif memiliki dinding sel tiga lapis dengan membran dalam, lapisan peptidoglikan tipis, dan membran luar sedangkan bakteri Gram positif memiliki lapisan peptidoglikan yang lebih tebal tanpa membran luar (Yadav, dkk., 2016). Efisiensi aktifitas antibakteri dapat diperoleh dengan mengembangkan bahan fotokatalitik antibakteri yang efisien dalam

menghasilkan ROS yang cukup untuk membunuh bakteri atau memperlambat pertumbuhan bakteri.

Material oksida perovskite merupakan salah satu senyawa golongan Aurivillius mempunyai potensi sebagai senyawa fotokatalis antibakteri. Senyawa Aurivillius mempunyai rumus molekul $\text{Bi}_2\text{A}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+3}$ yang tersusun atas lapis bismuth $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^{2-}$ dan lapis perovskite $(\text{A}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+1})^2$. Senyawa Aurivillius berpotensi sebagai fotokatalis antibakteri karena mempunyai sifat fotokatalitik yang dapat menghasilkan pasangan *electron* (e^-) *hole* (h^+). Pasangan elektron ini kemudian berdifusi ke permukaan partikel sehingga diperoleh ROS (Hunge, dkk., 2022). Selain itu, senyawa golongan Aurivillius mempunyai aktivitas fotokatalis yang baik karena celah pita yang sempit dan stabilitas yang baik (Ren, dkk., 2004). Salah satu senyawa Aurivillius yang mempunyai kandidat yang baik di bidang fotokatalis antibakteri yaitu senyawa Aurivillius lapis lima. Berdasarkan penelitian Shi, dkk. (2023) senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dengan energi celah pita 3,2 eV dilaporkan mempunyai sifat fotokatalitik yang dapat mendegradasi RhB sebesar 99% dibawah radiasi matahari selama 180 menit.

$\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dari golongan Aurivillius lapis lima dianggap sebagai bahan yang berpotensi sebagai bahan fotokatalis antibakteri karena memiliki sifat ferroelektrik karena kekuatan dielektriknya yang tinggi dan sebagai fotokatalis karena dapat mendegradasi polutan organik (Liu, dkk., 2019 dan Shi, dkk., 2023). Namun belum ada penelitian yang menyelidiki aplikasinya di bidang fotokatalis antibakteri. Selain itu, sintesis $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ sebagian besar dilakukan dengan metode solid-state, reaksi fasa padat atau hidrotermal. Hal ini menghasilkan ukuran partikel yang tidak

homogen, ukuran kristalit yang besar, dan fasa pengotor (Bhimireddi, dkk. 2022). Penggunaan metode lelehan garam diharapkan dapat menghindari masalah ini.

Metode sintesis yang dapat dilaporkan dapat menghasilkan senyawa aurivillius dengan morfologi *sheet/plate-like* salah satunya yaitu metode lelehan garam. Metode lelehan garam adalah metode sintesis senyawa oksida dengan memanfaatkan campuran garam sebagai medium reaksi (Chang, dkk., 2014). Sintesis metode lelehan garam merupakan metode yang sederhana, murah dan ramah lingkungan (Xue, dkk., 2018). Mekanisme pembentukan *plate-like* diawali dengan reaksi padatan dan nukleasi, kemudian terbentuk struktur lempeng, proses difusi antar kristal dan nukleasi pinggiran, terakhir yaitu terjadi proses difusi dan pertumbuhan kristal (Zhao, dkk., 2014). Beberapa pihak melakukan sintesis senyawa Aurivillius lapis lima menggunakan metode lelehan garam. Gracia, dkk. (2006) telah mensintesis senyawa $\text{Bi}_6\text{Ti}_3\text{Fe}_2\text{O}_{18}$ menggunakan metode lelehan garam campuran KCl/NaCl pada suhu 850°C dan diperoleh senyawa produk dengan morfologi *plate-like*. Hal ini menunjukkan bahwa metode lelehan garam berpeluang digunakan untuk memperoleh senyawa aurivillius lapis lima.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka pada penelitian kali ini akan dilakukan uji antibakteri pada senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ untuk menghambat pertumbuhan bakteri *staphylococcus aureus*. Senyawa Aurivillius $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ disintesis dengan metode lelehan garam campuran NaCl-KCl. Kemudian dilakukan uji karakteristiknya dengan menggunakan teknik difraksi sinar-X (XRD) untuk mengetahui struktur kristal dan kemurniannya, *scanning electron microscopy* (SEM) untuk menganalisa morfologi, dan *ultraviolet-visible diffuse reflectance spectroscopy* (UV-DRS) untuk mengetahui nilai energi celah pita.

1.2 Rumusan Masalah

- a. Bagaimana karakteristik struktur kristal, morfologi partikel, ukuran partikel dan energi celah pita senyawa Aurivillius lapis lima $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ yang disintesis dengan metode lelehan garam NaCl/KCl?
- b. Bagaimana potensi senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ sebagai antibakteri dalam menghambat pertumbuhan *S. aureus*.

1.3 Tujuan

- a. Untuk mengetahui karakteristik struktur kristal, morfologi partikel, dan energi celah pita senyawa Aurivillius lapis lima $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ yang disintesis dengan metode lelehan garam NaCl/KCl
- b. Untuk mengetahui potensi senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ sebagai antibakteri dalam menghambat pertumbuhan *S.aureus*.

1.4 Batasan Masalah

- a. Metode yang digunakan metode sintesis lelehan garam NaCl:KCl dengan perbandingan rasio mol $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dan NaCl:KCl adalah 1:7:7.
- b. Suhu sintesis yang digunakan adalah 750 dan 820°C selama 6 jam.
- c. Bakteri yang digunakan yaitu bakteri *S. aureus*.
- d. Sumber sinar yang digunakan yaitu lampu UV.
- e. Variasi konsentrasi uji antibakteri yaitu 2,5; 5; dan 10 mg/ml

1.5 Manfaat

Manfaat dalam penelitian ini didapatkan karakteristik dan aktivitas antibakteri dari senyawa fotokatalis $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ yang diperoleh dari metode lelehan garam campuran $\text{NaCl}:\text{KCl}$. Informasi tersebut dapat digunakan untuk dasar pengembangan dan pemanfaatan senyawa Aurivillius sebagai bahan antibakteri dalam penguraian limbah Industri.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

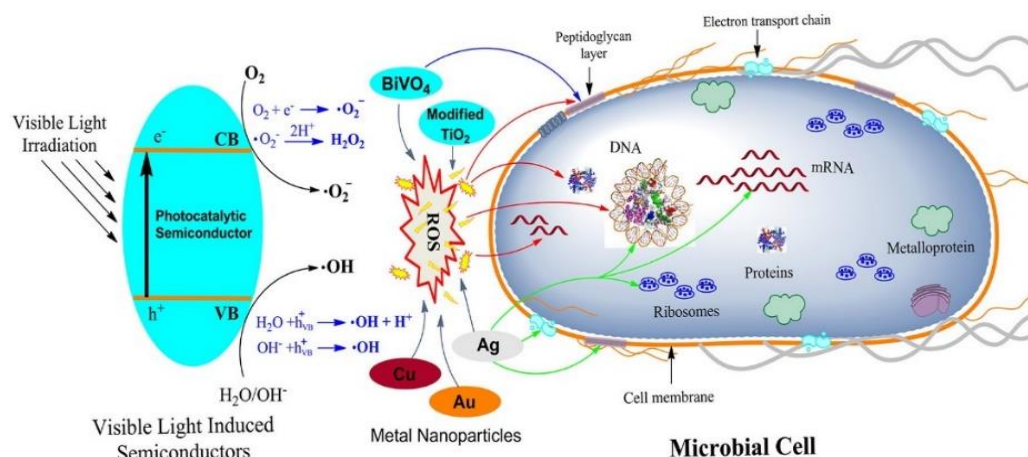
2.1 Fotokatalis antibakteri

Fotokatalis merupakan teknologi sederhana dan menjanjikan untuk menghambat kontaminasi bakteri. Antibakteri fotokatalitik merupakan reaksi antara bakteri dan ROS yang dihasilkan dari proses fotokatalis dan bersifat sangat reaktif mikroba. ROS seperti $\bullet\text{OH}$, O_2 , $\bullet\text{O}_2\text{H}$, H_2O_2 yang terbentuk dalam reaksi fotokatalisis sehingga mampu membunuh atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme seperti bakteri dan virus (Naimah dan Ermawati, 2011).

Fotokatalis adalah suatu reaksi yang dipercepat karena adanya katalis yang diaktifkan melalui induksi foton dan salah satunya material fotokatalis yaitu material semikonduktor. Syarat sebuah material dapat dikatakan sebagai fotokatalis yaitu memiliki energi celah pita > 1.23 eV dan < 3 eV (Domen, dkk., 2007). Energi celah pita adalah energi yang dibutuhkan suatu elektron saat terjadinya eksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi, semakin lebar energi celah pita yang didapatkan, maka semakin besar energi yang dibutuhkan. Besarnya energi yang dibutuhkan dapat diukur dengan menggunakan panjang gelombang cahaya yang mengeksitasi elektron (Ningsih, 2012). Fotokatalis semikonduktor merupakan bahan fungsional baru untuk mengubah energi foton menjadi energi kimia yang telah banyak diterapkan pada aspek kehidupan seperti proses disinfeksi air minum, sensor gas, *water splitting*, dan fotoreduksi CO_2 (Liu, dkk., 2017 dan Gamage, dkk., 2014).

Mekanisme fotokatalis diilustrasikan pada Gambar 2.1 yaitu ketika foton diserap material semikonduktor dimana energi foton sama dengan atau energi yang lebih tinggi dari energi celah pita, elektron pada pita valensi (*VB*) mengalami

eksitasi ke tempat kosong pada pita konduksi (CB) dan meninggalkan *hole* positif (h^+) pada pita valensi (Huang, dkk., 2016). *Hole* positif (h^+) pada pita valensi dapat bereaksi dengan air atau dengan gugus fungsi (OH^-) yang dioksidasi membentuk OH^\bullet dan elektron akan bereaksi dengan oksigen membentuk anion radikal superoksida $\text{O}_2^{\bullet-}$. ROS seperti $\bullet\text{OH}$, O_2 , $\bullet\text{O}_2\text{H}$, H_2O_2 yang terbentuk dapat menyebabkan dekomposisi bakteri melalui berbagai tindakan (Schneider, dkk., 2014). ROS ekstraseluler dapat masuk ke dalam bakteri sehingga menyebabkan peningkatan kadar ROS lalu bereaksi dengan enzim antioksidan sehingga dapat mengganggu keseimbangan oksidasi dan antioksidan dalam sel bakteri (Sun, dkk., 2014).

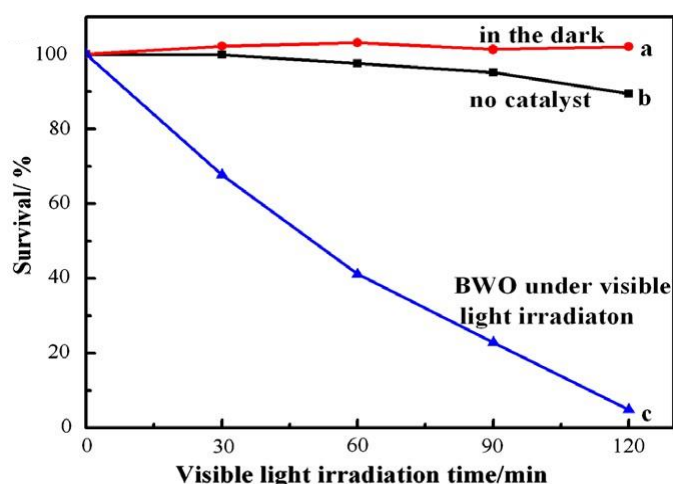


Gambar 2. 1 Mekanisme antibakteri fotokatalitik (Regmi, dkk., 2018)

2.2 Senyawa Fotokatalis Aurivillius Sebagai Antibakteri

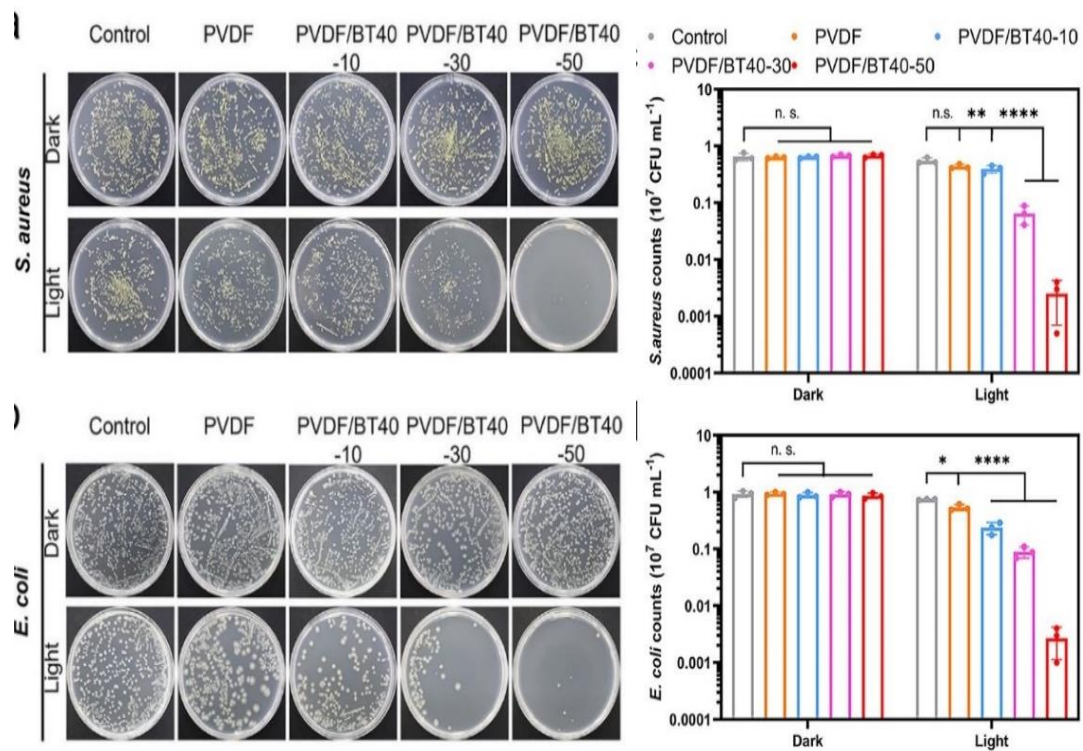
Kemampuan senyawa fotokatalis Aurivillius sebagai antibakteri telah dilaporkan oleh beberapa pihak. Ren, dkk. (2009) melaporkan bahwa senyawa Aurivillius Bi_2WO_6 mempunyai kemampuan inaktivasi bakteri *Escherichia coli* dibawah iradiasi cahaya tampak ($\lambda > 420$). Hasil karakteristik UV-Vis pada Gambar

2.4 menunjukkan bakteri *E. coli* hampir sepenuhnya dinonaktifkan dalam waktu 2 jam dibawah penyinaran cahaya tampak dengan daya aktivitasnya 95% selama 2 jam dan konsentrasi Bi_2WO_6 0,5 mg/ml, sedangkan Bi_2WO_6 dalam keadaan gelap maupun tanpa katalis tidak menunjukkan inaktivasi bakteri, yang mengindikasikan bahwa fotokatalis tersebut tidak bersifat toksik terhadap bakteri *E. coli*.



Gambar 2. 2 Inaktivasi bakteri *Escherichia coli* dalam (a) Bi_2WO_6 dalam gelap (0,5 mg/mL), (b) tidak ada katalis dan (c) dibawah iridiasi cahaya tampak (0,5 mg/mL) (Ren, dkk., 2009)

Wang, dkk. (2022) melaporkan uji aktivitas antibakteri diperoleh dengan metode *spread plate* dibawah iradiasi sinar matahari. Hasil uji aktivitas antibakteri pada Gambar 2.3 menunjukkan aktivitas antibakteri dari membran PVDF/ BT40-50 sangat signifikan, dengan penurunan jumlah antibakteri secara dramatis dan koloni dari *S.aureus* dan *E.coli* hampir tidak ada. Membran BT40-50 mempunyai aktifitas antibakteri yang tinggi yaitu $99,61 \pm 0,28$ dan $99,71 \pm 0,16$ % terhadap bakteri *S.aureus* dan *E.coli* dibawah iradiasi sinar matahari selama 20 menit. Hal ini menunjukkan bahwa PVDF/ BT40-50 memiliki aktivitas antibakteri spektrum luas yang sangat efektif dalam membunuh bakteri.

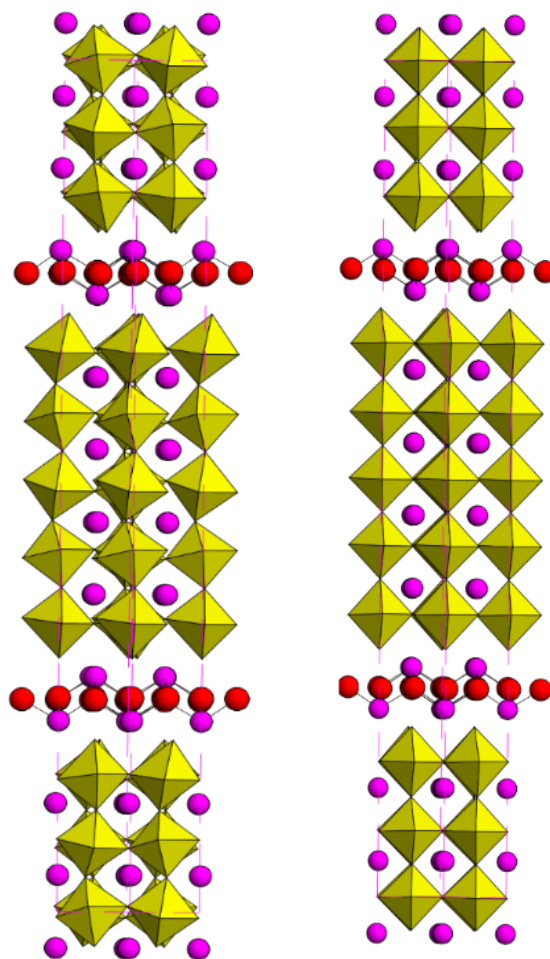


Gambar 2. 3 Aktivitas antibakteri pada bakteri *S.aureus* dan *E.coli* dan perlakuan kontrol, PVDF, PVDF/BT40-10, PVDF/BT40-30, dan PVDF/ BT40-50 (Wang, dkk., 2022)

2.3 Senyawa Aurivillus Lima

Senyawa Aurivillius dikenal dengan oksida aurivillius merupakan suatu senyawa dengan struktur berlapis yang terdiri atas $[\text{Bi}_2\text{O}_2]^{2-}$ dengan perovskite $(\text{A}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+1})^{2-}$. Rumus umum senyawa aurivillius adalah $\text{Bi}_2\text{O}_2[\text{A}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+1}]^{2-}$ dimana A mewakili ion mono-, di-, atau tri-valen dan memiliki bilangan koordinasi 12 seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Bi^{3+} , Pb^{2+} , Sr^{2+} sedangkan kation B terdiri dari tetra, penta atau heksavalen (unsur tanah jarang) seperti Ti^{4+} , Nb^{5+} , Ta^{5+} , W^{6+} , Mo^{6+} dan lainnya, sedangkan n adalah jumlah lapisan oktahedral pada lapisan BO_6 . Contoh senyawa Aurivillius adalah Bi_2WO_6 ($n=1$), $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ($n=3$), $\text{Bi}_6\text{Ti}_3\text{Fe}_2\text{O}_{18}$ ($n=5$) dan lain-lain (Dubey, dkk., 2017; Huang, dkk., 2019; Chen, dkk., 2016; dan Wang, dkk., 2021).

Oksida aurivillius lapis lima ($A_2Bi_4Ti_5O_{18}$) mempunyai beberapa sifat yang bagus pada feroelektrik, magnetik, fotokatalis dan optiknya (Dubey, 2018) $A_2Bi_4Ti_5O_{18}$ ($A= Ca, Ba, dan Sr$) merupakan anggota keluarga Aurivillius lapis lima yang berbentuk *pseudo-tetragonal* pada suhu kamar dan suhu *Curie* 310-330°C untuk senyawa $Ba_2Bi_4Ti_5O_{18}$ dan 267°C untuk $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$. Ismunandar, dkk. (2004) melaporkan senyawa $A_2Bi_4Ti_5O_{18}$ ($A= Ca, Ba, dan Sr$) memiliki struktur kristal ortorombik dengan grup ruang *B2eb*, struktur senyawa $A_2Bi_4Ti_5O_{18}$ ($A= Ca$ dan Ba) ditunjukkan pada Gambar 2.4 dan data kristalografi dirangkum pada Tabel 2.1.

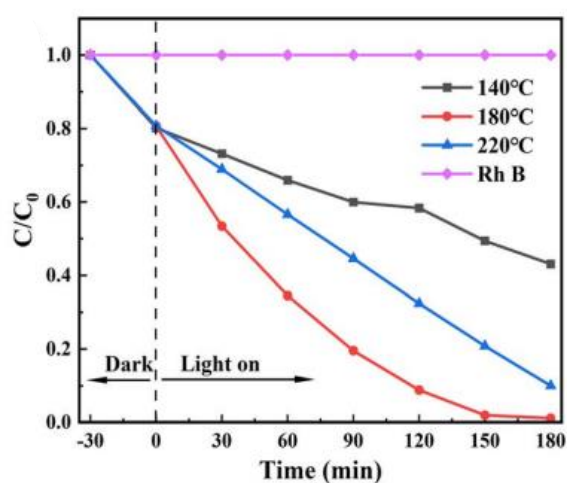


Gambar 2. 4 Struktur senyawa Aurivillius lapis lima $Ca_2Bi_4Ti_5O_{18}$ (kiri) dan $Ba_2Bi_4Ti_5O_{18}$ (kanan) (Ismunandar, dkk., 2004)

Tabel 2.1 Data kristalografi senyawa $A_2Bi_4Ti_5O_{18}$ ($A= Ba, Ca, Pb$ dan Sr) (Ismunandar, dkk., 2004)

	$Ca_2Bi_4Ti_5O_{18}$	$Ba_2Bi_4Ti_5O_{18}$	$Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$
Grup Ruang	$B2eb$	$B2eb$	$B2eb$
Parameter Kisi			
a (Å)	5,4251	5,4985	5,4647
b (Å)	5,4034	5,4980	5,4625
c (Å)	48,486	50,3524	48,8515

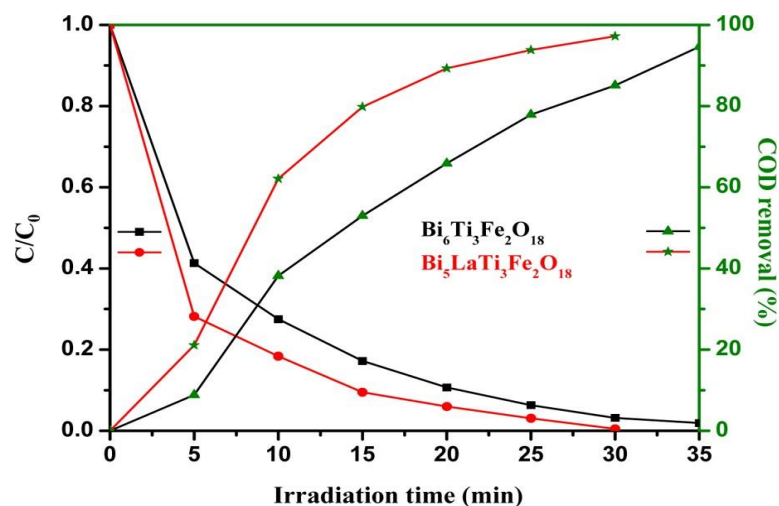
Shi, dkk. (2023) telah berhasil menyintesis senyawa $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ menggunakan metode hidrotermal dengan variasi suhu 140, 180, dan 220°C. $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ dilaporkan memiliki energi celah pita 3,2 eV dan mempunyai sifat fotokatalitik yang dapat mendegradasi RhB sebesar 57% pada suhu 140°C, 99% pada suhu 180°C dan 90% pada suhu 220°C dibawah radiasi matahari selama 180 menit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Aktivitas fotodegradasi RhB dengan $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ dibawah iradiasi sinar ultraviolet (Shi, dkk., 2023)

Naresh, dkk. (2015) melaporkan senyawa Aurivillius lapis lima $Bi_6Ti_3Fe_2O_{18}$ memiliki aktifitas fotokatalitik yaitu dapat mendegradasi RhB sebanyak 96,8% dalam 30 menit. $Bi_6Ti_3Fe_2O_{18}$ dilakukan pendopingan dengan La^{3+} yang dapat menurunkan energi celah pita dan laju rekombinannya, sehingga

aktifitas fotokatalitik meningkat. Aktifitas fotokatalitik dari pendopongan tersebut dapat mendegradasi RhB sebanyak 99,8%. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Aktivitas fotodegradasi RhB dengan $\text{Bi}_6\text{Ti}_3\text{Fe}_2\text{O}_{18}$ dan $\text{Bi}_5\text{LaTi}_3\text{Fe}_2\text{O}_{18}$ dibawah sinar matahari (Naresh, dkk., 2015)

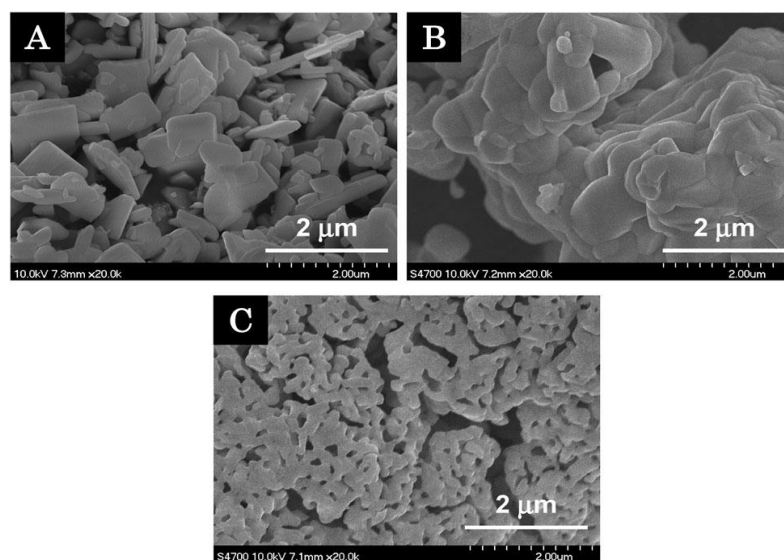
2.4 Pengaruh Metode Sintesis pada Aktivitas Fotokatalis

Metode dalam sintesis dilaporkan dapat mempengaruhi aktivitas fotokatalitik yang berkaitan dengan luas permukaan dan keseragaman yang tinggi (He, dkk., 2018). Berdasarkan penelitian He, dkk. (2014) melaporkan bahwa aktivitas senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ yang diperoleh dengan metode lelehan garam mempunyai morfologi *plate-like* dan mampu mendegradasi RhB sebesar 93%. Hasil ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan hasil sintesis menggunakan metode padatan yang menghasilkan morfologi partikel *irregular shape* dimana dapat dilaporkan hanya dapat mendegradasi RhB sebanyak 25% dalam waktu yang sama. Hal ini menunjukkan morfologi *sheet/plate-like* pada senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ memiliki aktivitas fotokatalis yang baik.

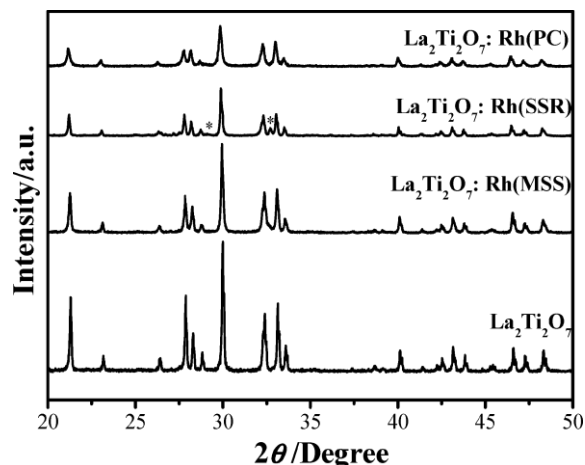
Hal yang sama juga dilaporkan oleh Wang, dkk. (2013) bahwa senyawa $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ yang disintesis menggunakan metode (a) *molten salt synthesis* (MSS)

campuran garam NaCl dan KCl rasio 1:1, (b) *solid state reaction* (SSR), dan (c) *polymerized complex* (PC). Hasil karakterisasi SEM pada Gambar 2.7 terhadap $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ Rh-doped yang diperoleh dengan metode MSS mempunyai morfologi pelat karena garam klorida dapat menstabilkan permukaan kristalografi tertentu dalam pembuatan oksida pipih oleh MSS. Hasil ini jauh lebih baik dibandingkan hasil sintesis menggunakan metode SSR dan PC yang tidak diperoleh morfologi terdefiniskan karena terjadi aglomerasi pada senyawa $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$.

Hasil karakterisasi XRD pada Gambar 2.8 menunjukkan bahwa metode MSS dan PC menghasilkan kemurnian dan kristalinitas yang lebih baik, dibandingkan metode SSR yang terdapat pengotor. Hasil sintesis senyawa $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ yang disintesis dengan lelehan garam memiliki aktivitas fotokatalik yang lebih tinggi karena luas permukaan, kristalinitas, kemurnian, dan penyerapan cahaya lebih tinggi yang diinduksi oleh Rh^{3-} ion. Sedangkan, pada metode SSR dan PC menunjukkan kinerja yang lebih rendah.



Gambar 2. 7 Hasil karakterisasi SEM Rh-doped $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ menggunakan metode (a) MSS, (b) SSR, dan (c) PC (Wang, dkk., 2013)

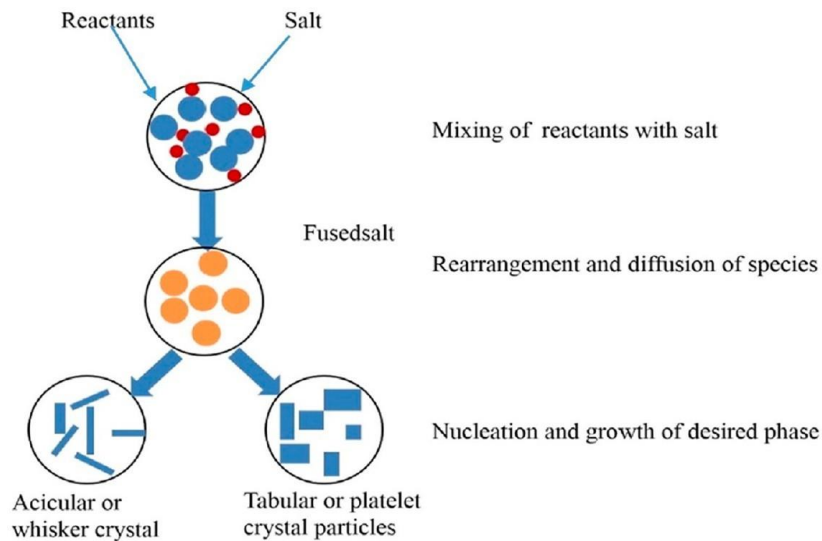


Gambar 2. 8 Hasil karakterisasi SEM Rh-doped $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ menggunakan metode (a) MSS, (b) SSR, dan (c) PC (Wang, dkk., 2013)

2.5 Metode Lelehan Garam

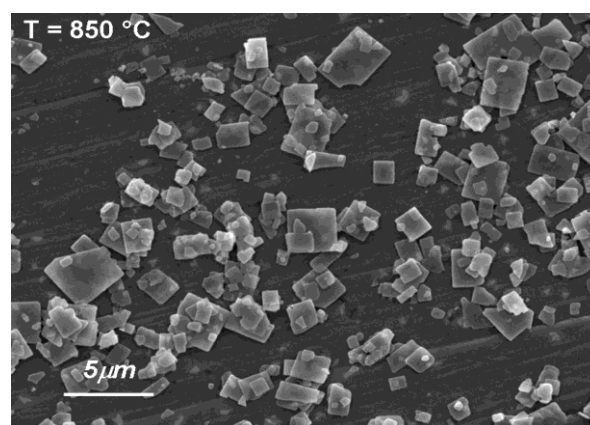
Metode sintesis lelehan garam atau *molten salt synthesis* (MSS) adalah metode sintesis senyawa oksida yang melibatkan penggunaan lelehan garam sebagai medium reaksi (Chang, dkk., 2014). MSS merupakan salah satu teknik sintesis sederhana, ramah lingkungan, hemat biaya, selain itu MSS tidak memerlukan instrument canggih atau bahan kimia mahal dan dapat dilakukan dengan mudah di laboratorium (Mao, dkk., 2009 dan Zuniga, dkk., 2018). Produk akhir MSS terbentuk dalam fluks garam dengan titik leleh rendah dan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan *solid state reaction* (SSR) (Varma, dkk., 2016).

Secara umum, metode MSS melibatkan tahapan pencampuran, difusi, nukleasi dan pertumbuhan. Terdapat tiga tahapan MSS yaitu tahap pertama Pencampuran prekursor. Tahap kedua pemanasan prekursor dan campuran garam diatas suhu leleh garam untuk membentuk fluks cair. Tahap ketiga yaitu nukleasi dan pembentukan kristal melalui proses pengendapan (Gupta dan Mao, 2021). Proses pembentukan produk menggunakan metode lelehan garam ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Proses pembentukan produk menggunakan metode lelehan garam (Gupta dan Mao, 2021)

Gracia, dkk. (2006) melaporkan senyawa $\text{Bi}_6\text{Ti}_3\text{Fe}_2\text{O}_{18}$ yang disintesis menggunakan metode lelehan garam campuran KCl-NaCl. Hasil sintesis $\text{Bi}_6\text{Ti}_3\text{Fe}_2\text{O}_{18}$ diperoleh morfologi terbentuk *plate-like* yang terbentuk pada suhu 850°C . Hal ini menunjukkan ukuran partikel sangat bergantung pada suhu reaksi: semakin rendah suhu reaksi, semakin kecil kristalinitasnya. Suhu yang digunakan berkisar antara 800 hingga 950°C . Hasil pola XRD dan SEM sintesis dengan garam campuran KCl/NaCl ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Pola SEM senyawa $\text{Bi}_6\text{Ti}_3\text{Fe}_2\text{O}_{18}$ menggunakan metode lelehan garam campuran KCl/NaCl pada suhu 850°C (Gracia, dkk., 2006)

2.6 Perspektif al-Quran Terhadap Senyawa Aurivillius sebagai Antibakteri

Antibakteri merupakan bahan yang dapat membunuh bakteri patogen melalui sifat toksisitas selektif. Bahan ini dapat mengatasi masalah kesehatan yang paling mengkhawatirkan sehingga menyebabkan kematian setiap tahun (Hamad, dkk., 2019). Oleh karena itu, pengembangan bahan antibakteri sangat dibutuhkan dan diperlukan karena sangat efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri. Salah satu material antibakteri adalah material fotokatalis yang berlapis Aurivillius. Masalah kesehatan yang menimpa makhluk Allah pasti ada obatnya. Hal ini sesuai dengan sabda Rasulullah:

إِنَّ اللَّهَ لَمْ يَنْزِلْ دَاءً إِلَّا وَأَنْزَلَ لَهُ شِفَاءً، جَهْلُهُ مِنْ جَهْلِهِ وَ عِلْمُهُ مِنْ عِلْمِهِ

Artinya; “*Sesungguhnya Allah tidaklah menurunkan penyakit kecuali Dia turunkan pula obat bersamanya. (Hanya saja) tidak mengetahui orang yang tidak mengetahui dan mengetahui orang yang mengetahuinya.*” (HR. Ahmad 1/337,413 dan 453. Dan hadits ini disahkan dalam Ash-Shahihah no.451)

Hadist diatas menjelaskan bahwa sesungguhnya setiap penyakit masalah kesehatan yang diturunkan oleh Allah pasti ada obatnya. Namun manusia harus berikhtiyar untuk menemukan obatnya. Seperti halnya masalah kesehatan yang disebkan oleh bakteri patogen yang berdampak akan kematian. Hal ini dapat diatasi dengan salah satu material antibakteri seperti material fotokatalis seperti senyawa Aurivillius

BAB III

METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Agustus-November 2023 di Laboratorium Kimia Fisik, Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan diantaranya seperangkat alat gelas, neraca analitik, *mortar agate*, tanur, *hot plate*, *furnace*, alumina krusibel, oven, gelas ukur 50 mL, Erlenmeyer 100 mL, corong gelas, autoklaf, ose, korek, cawan petri, aluminium foil, seperangkat instrumen UV-Vis DRS, XRD, dan SEM.

Bahan yang digunakan antara lain Bi_2O_3 (Aldrich, 99,9% serbuk), TiO_2 (Aldrich, 99% serbuk), SrCO_3 (Aldrich, 99,9% serbuk), KCl (Merck, 99,9% serbuk), NaCl (Merck, 99,9% serbuk), AgNO_3 (Merck, 99,9% serbuk), aseton, aluminium foil, Nutrient broth (Nb), Nutrien agar (Na) dan aquades.

3.3 Tahapan Penelitian

Penelitian secara garis besar dibagi dalam 3 tahap, meliputi:

- a. Tahapan sintesis senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dengan metode lelehan garam

Senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ disintesis dengan metode lelehan garam dengan dengan perbandingan rasio mol $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dan NaCl:KCl adalah 1:7:7. Sintesis dilakukan dengan mencampurkan prekursor dan garam secara stoikiometrik.

Campuran dikalsinasi pada suhu 750 dan 820°C selama 6 jam, kemudian dilakukan pendinginan sampai suhu ruang dan penghilangan garam dengan air panas. Kandungan garam diuji dengan ditetesi menggunakan AgNO_3 hingga tidak ada kandungan garam. Endapan kemudian dioven pada suhu 80°C selama 2 jam.

b. Tahapan proses karakterisasi

Proses ini mencakup karakterisasi hasil sintesis $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dengan menggunakan (a) XRD, (b) SEM, dan (c) UV-Vis DRS

c. Tahapan Uji Aktivitas Antibakteri

Aktivitas antibakteri senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ berbasis cahaya tampak dilakukan dengan beberapa tahapan (a) Sterilisasi alat (b) Pembuatan media nutrient Agar (Na) dan Nutrient Broth (Nb), (c) Peremajaan bakteri *S.aureus*, (d) Pembuatan inokulum bakteri *S.aureus*, (e) Uji aktivitas antibakteri *S.aureus* dan (f) Perhitungan jumlah sel bakteri *S.aureus*.

3.4 Cara Kerja

3.4.1 Sintesis $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dengan Metode Lelehan Garam

Senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ disintesis sebanyak 3 gram dan komposisi berat prekursor yang digunakan sesuai pada Tabel 3.1. Langkah yang pertama yaitu pencampuran bahan prekursor dan garam dengan rasio 1:7, kemudian digerus dengan *mortar agate* selama 1,5 jam dengan ditambahkan aseton selama penggerusan. Campuran kemudian dikalsinasi menggunakan tanur dengan suhu 750 dan 820°C selama 6 jam. Hasil produk dikeluarkan dari tanur, kemudian diletakkan pada corong kaca yang sudah diberi kertas saring pada Erlenmeyer. Sampel dicuci beberapa kali dengan air panas sampai kandungan garam hilang dan

dianalisis dengan cara ditetesi menggunakan AgNO_3 hingga tidak ada kandungan garam. Endapan yang diperoleh kemudian di oven pada suhu 80°C selama 2 jam (Marella, 2017; Zhao dkk, 2014).

Tabel 3. 1 Komposisi prekursor senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$

Target Senyawa	Massa Target (gram)	Massa pereaksi (gram)				
		SrCO_3	Bi_2O_3	TiO_2	NaCl	KCl
$\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$	3	0,57545	1,81630	0,77829	0,79733	1,01710

3.4.2 Karakterisasi Sintesis dengan Difraksi Sinar-X

Karakterisasi senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ menggunakan Instrumen XRD dimulai dengan sampel dihaluskan hingga menjadi serbuk yang halus, kemudian ditempatkan pada prepat dan dipres. Selanjutnya ditempatkan pada sampel *holder* dan disinari dengan sinar-X. Pengukuran dilakukan pada suhu kamar menggunakan radiasi $\text{Cu-K}\alpha$ pada 40 kV dan 30 mA pada rentang 2θ ($^\circ$) = 10-90 (Ranieri dkk, 2013).

3.4.3 Karakterisasi Hasil Sintesis dengan SEM

Karakterisasi senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ hasil sintesis menggunakan SEM dilakukan dengan meletakkan sampel pada mesin pelapis emas dengan tebal sekitar 8 nm. Selanjutnya sampel ditempatkan dalam *holder* dengan ketebalan 12-15 nm, kemudian diukur pada perbesaran 5.000-15.000 kali. SEM akan menembakkan elektron berenergi tinggi yang akan dipantulkan sehingga ukuran dan bentuk objek terlihat dengan jelas (Handayani dkk, 2013).

3.4.4 Karakterisasi Hasil Sintesis dengan Spektroskopi UV-Vis DRS

Karakterisasi senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ menggunakan spektroskopi UV-Vis DRS dimulai dengan menghaluskan sampel, kemudian sampel diletakkannya sampel pada sampel *holder*. Setelah itu sampel diukur persentase reflektansinya pada panjang gelombang 200-800 nm (Thoif, dkk, 2020).

3.5 Uji Aktivitas Antibakteri

3.5.1 Sterilisasi Alat

Sterilisasi alat dilakukan sebelum semua peralatan digunakan, yaitu dengan cara semua alat dibungkus dengan menggunakan kertas dan disterilkan dalam autoklaf pada 121°C dengan tekanan 15 *per square inci* (psi) selama 15 menit. Alat yang tidak tahan terhadap panas disterilkan dengan alkohol 90%.

3.5.2 Pembuatan Media *Nutrient Agar* (NA) dan *Nutrient Broth* (NB)

Pembuatan media dilakukan dengan cara disiapkan 2 g NA 100 ml akuades pada erlenmeyer. Campuran tersebut dihomogenkan dengan bantuan *magnetic stirrer* sambil dipanaskan sampai mendidih dan NA terlarut sempurna. Setelah NA larut, tuangkan NA pada tabung reaksi ditutup menggunakan kapas dan disterilkan dalam autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit. Media dibiarkan pada suhu ruang selama 1 jam dengan posisi miring (Yanti, dkk., 2017).

Media NB ditimbang sebanyak 0,8 g dalam 100 mL akuades, lalu dimasukkan dalam Erlenmeyer dan ditutup dengan kapas. Suspensi dipanaskan sampai mendidih lalu didinginkan dalam suhu ruangan, media disterilkan dalam autoklaf selama 15 menit dengan suhu 121°C (Yanti, dkk., 2016)

3.5.3 Peremajaan Bakteri

Peremajaan bakteri dilakukan dengan menggunakan metode gores. Biakan murni bakteri *S. aureus* diambil satu ose kemudian diinokulasikan dengan cara digoreskan pada media NA secara aseptik. NA yang berisi bakteri diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam (Yanti, dkk., 2017).

3.5.4 Pembuatan Inokulum *Staphylococcus aureus*

Pembuatan inokulum ini dilakukan dengan cara memindahkan dua ose *Staphylococcus aureus* masing-masing ke dalam 25 mL media NB, kemudian di shaker dengan kecepatan 100 rpm selama 18 jam dalam suhu ruang. Kekeruhan inokulum sel *S. aureus* yang digunakan disetarakan dengan *optical density* (OD) 0,1 pada panjang gelombang 600 nm (Yanti, 2017).

3.5.5 Uji Aktivitas Antibakteri

3.5.5.1 Uji Aktivitas Antibakteri dalam Keadaan Ruang Terbuka

Inokulum *Staphylococcus aureus* dengan OD 0,1 sebanyak 10 mL dan Nutrient Broth steril 100 mL dimasukkan dalam beaker glass. Diletakkan dalam ruang terbuka didiamkan selama 120 menit pada suhu ruang.

3.5.5.2 Uji Aktivitas Antibakteri dalam Keadaan Gelap

Inokulum *Staphylococcus aureus* dengan OD 0,1 sebanyak 10 mL dan Nutrient Broth steril 100 mL dimasukkan dalam beaker glass. Diletakkan dalam tempat gelap dan didiamkan selama 120 menit pada suhu ruang.

3.5.5.3 Uji Aktivitas Antibakteri dengan Radiasi Sinar UV

Inokulum *Staphylococcus aureus* dengan OD 0,1 sebanyak 10 mL dan Nutrient Broth steril 100 mL dimasukkan dalam beaker glass. Kemudian dipapar dengan lampu UV 40 W dan dioptimasi selama 120 menit serta diaduk dengan menggunakan stirrer selama perlakuan.

3.5.5.4 Uji Aktivitas Antibakteri Senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dalam Keadaan Gelap

Inokulum *Staphylococcus aureus* dengan OD 0,1 sebanyak 10 mL dan Nutrient Broth steril 100 mL dimasukkan dalam beaker glass. Kemudian ditambahkan $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ sesuai perlakuan dioptimasi dengan variasi konsentrasi 2,5; 5; dan 10 mg. Dihomogenkan dengan menggunakan stirrer selama 120 menit pada suhu ruang.

3.5.5.5 Uji Aktivitas Antibakteri Senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dengan Radiasi Sinar UV

Inokulum *Staphylococcus aureus* dengan OD 0,1 sebanyak 10 mL dan Nutrient Broth steril 100 mL dimasukkan dalam beaker glass, kemudian ditambahkan $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ sesuai perlakuan dioptimasi dengan variasi konsentrasi 2,5; 5; dan 10 mg, kemudian dihomogenkan. Sampel dipapar dengan lampu UV 40 W dan dioptimasi selama 120 menit serta diaduk dengan menggunakan stirrer selama perlakuan. Dihitung bakteri *Staphylococcus aureus* yang mati dengan metode total plate count (TPC).

3.5.6 Perhitungan Jumlah Sel Bakteri

Tabung reaksi disiapkan sebanyak 7 buah diisi dengan NaCl 0,85% steril sebanyak 9 mL. Inokulum bakteri *S.aureus* dalam media NB diambil sebanyak 1 mL dan dihomogenkan dengan vortex dan dihitung sebagai pengenceran pertama (10^{-1}). Larutan dari tabung pertama dipipet sebanyak 1 mL dan dimasukkan kedalam tabung kedua sehingga diperoleh pengenceran tingkat kedua (10^{-2}). Demikian seterusnya hingga dapat pengenceran 10^{-10} . Perhitungan jumlah sel bakteri dilakukan dengan metode *Total Plate Count* (TPC). Setiap pengenceran diambil sebanyak 0,01 mL dan dimasukkan dalam cawan petri yang berisi media NA. Cawan petri digoyang-goyang hingga merata dan didiamkan hingga membeku kemudian diinkubasi dengan posisi terbalik selama 24 jam pada suhu 37°C .

3.6 Analisis Data

3.6.1 Analisis Hasil Sintesis dengan Difraksi Sinar-X

Analisis data hasil karakterisasi menggunakan difraksi sinar-X serbuk dilakukan dengan membandingkan difraktogram dengan standar database $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ pada *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD-150402) untuk menyesuaikan fasa kristal hasil sintesis. Selain itu, dari data XRD juga dapat menunjukkan kristalinitas dan kemurnian $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ hasil sintesis (Ranieri dkk, 2013).

3.6.2 Analisis Hasil Sintesis dengan SEM

Analisis data SEM berupa gambar yang berisi morfologi sampel yang dianalisis dengan program *Image J* untuk mengetahui ukuran partikel secara kualitatif (Handayani, 2018).

3.6.3 Analisis Hasil Sintesis dengan UV-Vis DRS

Analisis data dari instrumen UV-Vis DRS dilakukan dengan 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.

Nilai energi celah pita ditentukan dengan membuat plot antara sumbu y berupa $(F(R).hv)^2$ dan sumbu x berupa energi foton (hv). Energi foton dapat ditentukan dari data panjang gelombang, dimana $hv = hc/\lambda$ dengan h ketetapan planck dan c adalah ketetapan cahaya. Kemudian, energi celah pita dihitung secara regresi linier pada nilai energi celah pita (sumbu x) ketika $y=0$ (Gu, dkk, 2017).

3.6.4 Analisis Hasil Uji antibakteri

Analisis data hasil uji antibakteri dilakukan dengan menghitung aktivitas antimikroba secara kuantitatif dilakukan dengan cara menghitung koloni. Cara menghitung yaitu dipilih cawan petri yang mempunyai koloni antar 25-250. Jika perbandingan antara kedua pengenceran < 2 , maka nilai yang diambil adalah rata-rata dari kedua nilai tersebut dengan memperhatikan nilai pengencerannya. Jika perbandingan > 2 , maka diambil yang terbesar atau yang terkecil. Adapun perhitungan jumlah bakteri ditunjukkan pada persamaan 3.2. Sedangkan faktor pengenceran ditunjukkan pada persamaan 3.3.

$$\text{Perhitungan jumlah bakteri} = \text{jumlah koloni tiap cawan} \times \frac{1}{Fp} \text{ CFU} \dots \dots \dots (3.2)$$

Dengan F_p adalah factor pengenceran yang dirumuskan pada persamaan 3.5:

Faktor pengenceran= Pengenceran \times jumlah yang diencerkan (3.3)

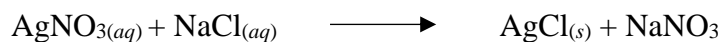
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

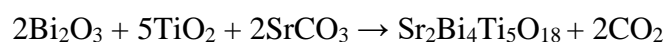
Pada penelitian ini dilakukan sintesis senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dengan metode lelehan garam campuran NaCl-KCl yang dikalsinasi pada suhu 750 dan 820°C selama 6 jam. Senyawa hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengetahui struktur kristal dan kemurniannya, SEM untuk mengetahui morfologi partikel, dan UV-DRS untuk mengetahui nilai energi celah pita. Selanjutnya dilakukan uji aktivitas antibakteri pada *Staphylococcus aureus* dengan menggunakan metode TPC.

4.1 Sintesis Senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dengan Metode Lelehan Garam Campuran

Senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ disintesis menggunakan metode lelehan garam campuran NaCl-KCl (1:1) dengan perbandingan bahan prekursor dan garam dengan rasio 1:7. Langkah yang pertama yaitu penggerusan campuran bahan prekursor dan garam selama 1,5 jam dengan ditambahkan aseton selama penggerusan yang bertujuan agar campuran menjadi homogen. Aseton digunakan karena mudah menguap dan tidak dapat bereaksi dengan prekursor. Campuran kemudian dikalsinasi dengan suhu 750 dan 820°C selama 6 jam. Hasil produk dicuci beberapa kali dengan air panas yang bertujuan untuk menghilangkan garamnya dan air hasil cucian dianalisis menggunakan larutan AgNO_3 untuk memastikan sudah tidak ada garam dalam produk yang dihasilkan. Adapun reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Langkah terakhir sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 2 jam. Sampel $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ terjadi perubahan warna dari sebelum kalsinasi berwarna kuning pucat menjadi warna kuning terang setelah kalsinasi 820°C yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Perubahan warna tersebut menunjukkan terjadinya reaksi selama kalsinasi dan terbentuk senyawa baru. Reaksi yang terjadi dalam pembentukan senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ sebagai berikut:



4.2 Karakterisasi $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ Menggunakan Difraksi Sinar-X

Hasil sintesis metode lelehan garam dikarakterisasi menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui fasa dan kemurniannya. Difraktogram hasil sintesis $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ yang diperoleh dari metode lelehan garam dibandingkan dengan standar database pada *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD-150402), yang ditampilkan pada Gambar 4.2.

Berdasarkan data difraktogram yang diperoleh menunjukkan bahwa senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ telah berhasil disintesis karena memiliki kesesuaian puncak dengan data standar ICSD-150402 senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dengan struktur kristal ortorombik dan bergrup ruang *B2cb*. Kesesuaian puncak ditemukan pada posisi 2θ ($^\circ$) = 30.74, 32.73, 39.93, 47.40, 53.24 dan 57.26. Difraktogram sampel juga menunjukkan bahwa kristalinitas senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ yang dihasilkan rendah, hal ini ditunjukkan oleh daerah puncak melebar dan sebagian puncak tidak muncul (intensitas terlalu kecil). Pada sampel produk juga ditemukan puncak pengotor

Sr_2TiO_4 dengan intensitas yang kecil pada 2θ ($^\circ$) = 43,85. Keberadaan puncak pengotor menunjukkan bahwa terjadi reaksi yang tidak sempurna antara reaktan Sr_2CO_3 dan TiO_2 selain itu, Sr_2TiO_4 juga memiliki struktur yang sama dengan $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ yaitu ortorombik. Zuhajri, dkk. (2013) melaporkan bahwa kesulitan dalam pembentukan fasa Aurivillius dengan metode lelehan garam disebabkan penggunaan suhu yang dibutuhkan yaitu kalsinasi dengan suhu tinggi. Pada penelitian Hua, dkk. (2005) melaporkan sintesis senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{15}$ menggunakan metode *solid state reaction* pada suhu 850°C ditemukan fasa pengotor SrTiO_3 , akan tetapi setelah dilakukan pemanasan suhu $1000\text{-}1200^\circ\text{C}$ tidak ditemukan lagi fasa pengotor. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ membutuhkan energi yang tinggi untuk sintesis.

4.3 Karakterisasi $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ Menggunakan SEM

Hasil sintesis metode lelehan garam senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dikarakterisasi menggunakan SEM yang bertujuan untuk mengetahui morfologi partikel. Hasil karakterisasi SEM dengan perbesaran 10.000 kali ditunjukkan pada Gambar 4.3 diperoleh morfologi senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ yaitu berbentuk *plate-like*. Perhitungan distribusi partikel dilakukan untuk mengetahui ukuran partikel. Hasil perhitungan distribusi partikel senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ yang disintesis menggunakan metode sintesis lelehan garam campuran NaCl-KCl menunjukkan bahwa rata-rata ukuran partikel diperoleh sebesar $0.9\ \mu\text{m}$ yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.

Morfologi yang diperoleh senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ yaitu berbentuk *plate-like* namun tidak seragam dan cenderung mengalami aglomerasi. Aglomerasi partikel terjadi karena pengondisian suhu sintesis yang kurang tinggi, sehingga memiliki

lebih sedikit energi termal, sehingga dapat menyebabkan senyawa yang disintesis cenderung saling menempel dan membentuk gumpalan. Selain itu, ditunjukkan juga dengan hasil XRD yang masih terdapat puncak yang belum muncul, sehingga dimungkinkan hasil morfologi yang tidak teratur disebabkan material amorf dan kristalinitas yang lebih rendah. Pada penelitian Gracia, dkk., (2006) telah mensintesis $\text{Bi}_6\text{Ti}_3\text{Fe}_2\text{O}_{18}$ dengan metode lelehan garam campuran KCl/NaCl pada suhu 850°C diperoleh morfologi *plate-like* tanpa adanya aglomerasi. Sedangkan penelitian Kijamnajsak (2008) telah berhasil mensintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dengan garam NaCl-KCl pada suhu 650, 850 dan 1050°C . Morfologi yang dihasilkan berbentuk *plate-like*, akan tetapi pada suhu 650°C menunjukkan aglomerasi partikel dan terdapat fase lain $\text{Bi}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar suhu maka kristalinitasnya meningkat secara stabil dan tidak terjadi aglomerasi.

4.4 Karakterisasi $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ Menggunakan UV-DRS

Hasil sintesis metode lelehan garam senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dikarakterisasi menggunakan UV-DRS yang bertujuan untuk mengetahui nilai energi celah pita. Spektra DRS yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 merupakan analisis difusi pantulan cahaya digunakan untuk mengukur sejauh mana cahaya diserap dan dipantulkan oleh sampel pada berbagai panjang gelombang ultraviolet. Senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ mengalami peningkatan dalam penyerapan cahaya pada panjang gelombang <500 nm sehingga, semakin rendah nilai $R\%$, maka semakin banyak cahaya diserap oleh sampel pada panjang gelombang UV tertentu.

Data reflektansi kemudian diolah menggunakan persamaan Kubelka-Munk dengan metode *direct-gap* untuk mendapatkan energi celah pita (Shi, dkk., 2023).

Nilai energi celah pita ditentukan dengan membuat plot antara sumbu y berupa $(F(R).hv)^2$ dan sumbu x berupa energi foton (hv) yang kemudian diperoleh hasil plot Tauch. Hasil plot Tauch dari persamaan Kubelka-Munk ditunjukkan pada Gambar 4.4.

Senyawa Aurivillius memiliki celah pita energi elektronik yang menciptakan pemisahan antara tingkat energi elektronik valensi dan konduksi. Transisi elektronik terjadi ketika elektron tereksitasi dari pita valensi (VB) orbital O $2p$ dan Bi $6s$ ke pita konduksi (CB) yang ada pada orbital Ti $3d$ melalui absorpsi energi foton (eV) sama dengan atau melebihi energi celah pita (Gu et al., 2017). Berdasarkan Gambar 4.5 senyawa $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ diolah menggunakan metode *direct-gap* memiliki energi celah pita sebesar 3,2 eV.

4.5 Uji Aktivitas Antibakteri Senyawa $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ terhadap *S. aureus*

Uji antibakteri pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ dalam menghambat kontaminasi bakteri pada lingkungan. Keberadaan *S. aureus* di lingkungan perairan menyebabkan turunnya kualitas air dan memudahkan terjadi wabah, sehingga penting untuk meminimalisir keberadaan *S. aureus* di lingkungan. Uji Aktivitas antibakteri dilakukan menggunakan senyawa $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ menggunakan variasi konsentrasi 2,5; 5; dan 10 mg dengan sinar *ultra violet* (UV) dan di ruang gelap. Hasil uji aktivitas antibakteri senyawa $Sr_2Bi_4Ti_5O_{18}$ terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* yang dirangkum pada Tabel 4.2 dan ditampilkan pada Gambar 4.6.

Pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa jumlah koloni bakteri ruang terbuka menunjukkan pertumbuhan bakteri yang tinggi yaitu $18,9 \times 10^7$ (CFU/mL). Hal ini disebabkan pertumbuhan bakteri tidak mengalami hambatan sehingga dapat tumbuh secara maksimal. Hasil pertumbuhan bakteri dalam keadaan gelap mengalami penurunan dengan jumlah bakteri sebesar $4,22 \times 10^7$ (CFU/mL). Hal ini dipengaruhi oleh kondisi perlakuan yang lebih steril sehingga tidak terjadi kontaminasi yang tinggi dan didapatkan jumlah bakteri yang lebih sedikit. Sedangkan, pertumbuhan bakteri dengan cahaya UV dimungkinkan dapat mensterilkan sehingga laju pertumbuhan bakteri juga menjadi lebih rendah dengan jumlah bakteri sebesar $5,20 \times 10^7$ (CFU/mL). Hasil pertumbuhan bakteri dalam kondisi gelap, dengan cahaya UV atau dengan penambahan senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ didapatkan jumlah bakteri hampir sama. Hal ini dikarenakan desain reactor yang digunakan setiap perlakuan berbeda, sehingga dimungkinkan kontaminannya lebih rendah.

Gambar 4.6 juga menunjukkan bahwa jumlah koloni bakteri dengan penambahan senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ baik dengan kondisi cahaya maupun gelap mempunyai jumlah bakteri yang lebih sedikit yang menunjukkan bahwa laju pertumbuhannya lebih rendah. Hal ini dimungkinkan senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dapat menghambat pertumbuhan bakteri dengan atau tanpa melalui mekanisme fotokatalis. Pada penelitian Azam, dkk. (2012) telah melaporkan bahwa nanomaterial oksida logam memiliki potensi antimikroba yang sangat baik. Hal yang sama juga dilaporkan oleh Liandro, dkk, (2021) dimana penambahan senyawa Bi_2WO_6 dapat menghambat pertumbuhan *S. aureus* tanpa dipapar oleh cahaya. Hal ini menunjukkan senyawa oksida logam dapat berfungsi sebagai antibakteri.

Senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ konsentrasi 2,5 mg dengan cahaya atau dalam keadaan gelap dapat menghambat bakteri, tetapi perbedaannya tidak terlalu signifikan yaitu dengan jumlah bakteri 2,53 dan $2,92 \times 10^7$ (CFU/mL), sedangkan jumlah bakteri dengan konsentrasi 5 mg sebanyak 3,68 dan $3,67 \times 10^7$ (CFU/mL). Senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ konsentrasi 10 mg dalam keadaan gelap dapat menghambat 2 kali lebih besar dibandingkan dengan cahaya yaitu 2,80 dan $4,52 \times 10^7$ (CFU/mL). Secara umum, dengan meningkatnya konsentrasi dapat menyediakan situs katabolik aktif karena banyaknya cahaya yang diserap, akan tetapi pada senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ hasil sintesis terjadi aglomerasi sehingga penyerapan cahaya yang diberikan kurang maksimal dan mempengaruhi terhadap pembentukan ROS. Pada penelitian Abebe, dkk. (2020) melaporkan sintesis nanokomposit $\text{ZnO}/\text{Mn}_2\text{O}_3$ dengan adanya aglomerasi partikel dapat mengurangi pembentukan ROS dan berkurangnya aktivitas fotokatalitik.

Hasil uji antibakteri senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dalam kondisi dipapar cahaya atau gelap apabila dibandingkan didapatkan jumlah bakteri hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme penghambatan bakteri dengan mekanisme fotokatalis masih belum bisa terlihat. Hal ini mengindikasikan bahwa ada mekanisme fotokatalis yang bekerja, akan tetapi dalam penelitian ini tidak terlihat karena sterilisasi yang cukup sulit. Selain itu, efektivitas mekanisme antibakteri fotokatalitik dapat bervariasi tergantung pada jenis bakteri, sumber cahaya, struktur senyawa fotokatalis, luas permukaan, dan kondisi lingkungan lainnya. Mekanisme antibakteri fotokatalis dapat diterangkan sebagai berikut: senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ mampu menyerap sinar yang sama dengan energi atau lebih besar dari energi celah pita sehingga menghasilkan pasangan *electron-hole*. Pasangan *electron-hole* ini

kemudian berdifusi ke permukaan partikel sehingga menghasilkan ROS. ROS tersebut dapat menyebabkan kerusakan oksidatif pada bakteri sehingga dapat menghambat pertumbuhan bakteri (Regmi, dkk., 2018).

4.6 Perspektif al-Quran Tentang Potensi Senyawa Aurivillius sebagai Antibakteri terhadap *S. aureus*

Keberadaan *S. aureus* di lingkungan perairan dapat menurunkan kualitas air sehingga memudahkan terjadi wabah. Penting untuk mengelola limbah industri dan laboratorium dengan baik agar mencegah kontaminasi lingkungan dan risiko kesehatan yang mungkin timbul akibat cemaran *S. aureus*. Manusia sebagai Ulul Albab diperintahkan untuk memikirkan kekuasaan dan ciptaan Allah SWT baik yang berada di langit maupun bumi, sebagaimana telah dijelaskan dalam al-Quran surah Ali-Imran (3): 191

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ (١٩٠) الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَاطِلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ (١٩١)

Artinya: "Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan pergantian malam dan siang terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berakal. (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk atau dalam keadaan berbaring, dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), "Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia; Maha Suci Engkau, lindungilah kami dari azab neraka."

Tafsir Sihab (2007) menjelaskan sebagian dari ciri-ciri siapa yang dinamai Ulul Albab. Mereka adalah orang-orang baik lelaki maupun perempuan yang terus menerus mengingat Allah, dengan ucapan, dan atau hati dalam seluruh situasi dan

kondisi saat bekerja atau istirahat, sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring, atau bagaimanapun dan mereka memikirkan tentang penciptaan, yakni kejadian dan sistem kerja langit dan bumi. Definisi *ulul albab* dalam al-Qur 'an diterjemahkan berbeda oleh beberapa cendekiawan, yakni orang yang berakal sebagaimana diartikan oleh Yunus, Hamka mengartikan *ulul albâb* sebagai orang yang mempunyai pikiran, Hamidi mengartikan *ulul albâb* sebagai orang yang mengerti, sementara Rifa'i mengartikannya sebagai orang yang berakal kuat. Salah satu bentuk berpikir terhadap ciptaan Allah adalah cara mencegah kontaminasi lingkungan dan risiko kesehatan yang mungkin timbul akibat cemaran *S. aureus*. Teknologi Fotokatalis antibakteri merupakan salah satu teknologi yang menjanjikan, sederhana, dan ramah lingkungan dalam menghambat kontaminasi bakteri. Hasil sintesis senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ diperoleh dari metode sintesis lelehan garam NaCl-KCl didapatkan energi celah pita sebesar 3,2 eV yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri. $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dengan konsentrasi 2,5; 5; dan 10 mg/mL dengan bantuan cahaya sebesar 1,55; 2,6; dan $2,6 \times 10^7$ (CFU/mL) dan tanpa cahaya (gelap) sebesar 2.24; 2.33; dan 2.21×10^7 (CFU/mL) menunjukkan bahwa senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ berpotensi sebagai antibakteri karena dapat menghambat pertumbuhan bakteri yang dibandingkan dengan kontrol bakteri 18.9×10^7 (CFU/mL) melalui atau tanpa mekanisme fotokatalis antibakteri.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- a. Hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan difraktogram menunjukkan bahwa senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ berhasil disintesis dengan sistem kristal ortorombik dan grup ruang $B2bc$. Difraktogram juga menunjukkan bahwa ditemukan senyawa pengotor berupa Sr_2TiO_4 yang ditunjukkan dengan keberadaan puncak pada 2θ ($^\circ$): 43,85. Mikrograf SEM menunjukkan bahwa morfologi yang dihasilkan yaitu *plate-like* dan cenderung terbentuk aglomerasi. Spektra UV-Vis DRS menunjukkan senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ memiliki energi celah pita sebesar 3,2 eV.
- b. Hasil uji antibakteri senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dengan konsentrasi 2,5; 5; dan 10 mg/mL dengan bantuan cahaya sebesar 1,55; 2,6; dan $2,6 \times 10^7$ (CFU/mL) dan tanpa cahaya (gelap) sebesar 2,24; 2,33; dan $2,21 \times 10^7$ (CFU/mL) menunjukkan bahwa senyawa $\text{Sr}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ berpotensi sebagai antibakteri karena dapat menghambat pertumbuhan bakteri yang dibandingkan dengan kontrol bakteri $18,9 \times 10^7$ (CFU/mL) melalui atau tanpa mekanisme fotokatalis antibakteri.

5.2 Saran

- a. Perlu dilakukan pengoptimalan suhu sintesis untuk mengurangi aglomerasi partikel sehingga memiliki sifat antibakteri yang lebih baik.
- b. Perlu dikaji uji aktivitas antibakteri dengan memperhatikan konsentrasi senyawa untuk memperoleh sifat antibakteri yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyadi. 2018. Al-Quran Views Relating to Environmental Conservation. *Jurnal Daun*, vol. 5 No.1.
- Azam, A., Ahmed, A. S., Oves, M., Khan, M. S., Habib, S. S., & Memic, A. (2012). Antimicrobial activity of metal oxide nanoparticles against Gram-positive and Gram-negative bacteria: A comparative study. *International Journal of Nanomedicine*, 7, 6003–6009.
- Abebe, B., Zereffa, E. A., & Murthy, H. C. A. (2021). Synthesis of Poly (vinyl alcohol)-Aided ZnO/Mn₂O₃Nanocomposites for Acid Orange-8 Dye Degradation: Mechanism and Antibacterial Activity. *ACS Omega*, 6(1), 954–964.
- Bhimireddi, R., Prashanth Shadu, S., P., Dhavala, L., Shet, T., Kundu, S., Ansari, A., A., Manthrammel, M., A., AlFaify S. 2022. Concomitant strrrructural and ferroelectric properties of Sr₂Bi₄Ti₅O₁₈ ceramics sintered with (K_{0.41}Na_{0.53}Li_{0.06}) (Nb_{0.89}Sb_{0.06}Ta_{0.05}) O₃ perovskite. *Journal Solid State Chem* 309: 122959.
- Cahyo, I., D. 2020 Sintesis dan Karakterisasi SrBi₄Ti₄O₁₅ Terdoping Fe³⁺ dengan Metode Lelehan Garam Na₂SO₄-K₂SO₄. *Skripsi*. Jurusan Kimia. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Uin Malang
- Chang, Y., Wu, J., Yang, B., Zhang, S., L., T., dan Cao, W. 2014. Synthesis and Properties of High Aspect Ratio SrBi₄Ti₄O₁₅ Microplatelets. *Material Letters*, 129(4): 12-15.
- Dima, L. R. (2016). Uji aktivitas antibakteri ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera* L.) terhadap bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. *Pharmacon*, 5(2).
- Domen, K., and Maedah, K. 2007. New Non-oxide Photocatalys Designed for Overall Water Splitting under Visible Light. *Journal Physical Chemistry*.
- Dubey S., Kurchania R. 2015. Study of dielectric and ferroelectric properties of five-layer Aurivillius oxides: A₂Bi₄Ti₅O₁₈ (A=Ba, Pb and Sr) Sentized by solution combustion route. *Bulletin Materials Science*, 48: 1881-8277.
- Dubey S., Kurchania R., 2017. Effect of sintering temperature on morphologi, dielectric and ferroelectric properties of five layers Aurivillius oxides: A₂Bi₄Ti₅O₁₈ (A=Ba, Pb and Sr) synthesized by co-precipitation route. *Journal Meterials Science Materials Electron*,137(12): 658-661.

- Dubey S., Subohi O., Kurchania R. 2018. A comparative study of the properties of five-layer Aurivillius oxides: $A_2B_4Ti_5O_{18}$ ($A=Ba, Pb$ and Sr) synthesized by different wet route. *Applied Physics*, 124: 461.
- Falkow, S. 2006. Is persistent bacterial infection good for your health? *Cell*, 124(4): 699-702.
- Ferraris, S., and Spriano. 2016. Antibacterial titanium surfaces for medical implants. *Materials Science and Engineering*, 61: 965.
- Garcia, G., Fuentes, M., Rodriguez, M., and Fuentes, L. 2006. Structural Characterization of $Bi_6Ti_3Fe_2O_{18}$ Obtained by Molten Salt Synthesis. *Integrated Ferroelectric*, 83: 41-47.
- Gemage, M. J., dan Zhang, Z. 2014. Antimicrobial and Photocatalytic Disinfection Mechanism in Silver Modified Photocatalysts Under Dark and Light Condition. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Review*, 19: 62-65.
- Gu, D., Qin, Y., Wen, Y., Li, T., Qin, L., Seo, H.J. 2017. Electronic Structure and Optical Properties of V-doped $Bi_4Ti_3TiO_2$ Nanoparticles. *Journal of Alloys and Compounds*, 695: 2224-2231.
- Gupta, S. K., dan Mao, Y. 2021. Recent Developments on Molten Salt Synthesis of Inorganic Nanomaterials: A review. *Journal Physical Chemistry*.
- Hamad, M., Al-Marzooq, F., Orive, G., Al-Tel, T. H. 2019. Superbugs but No Drugs: Steps in Averting a Post-Antibiotic Era. *Drug Discovery Today*, 24(12): 2225-2228.
- He, H., Yin J., Li, Y., Zang, Y., Qiu, H., Xu, T., dan Wang, C. 2014. Size controllable synthesis of single-crystal ferroelectric $Bi_4Ti_3O_{12}$ 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 nanoscale Bi-Based photocatalysis. *Nanoscale Horizons*, 3(5): 464-504.
- Huang C., Chen L., Li H., Mu Y., Yang Z. 2019. Synthesis and application of Bi_2WO_6 for the photocatalytic degradation of two typical fluoroquinolones under visible light irradiation. *RSC Advances*, 9(48): 27768-27779.

- Huang, X., Yan, X., Wu, H., Fang, Y., Min, Y., Li, W., Wang, S., dan Wu, Z. 2016. Preparation of Zr-doped CaTiO_3 with Enhanced Charge Separation Efficiency and Photocatalytic Activity. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26: 464-471.
- Hunge, Y. M., Yadav, A. A., Kang, S. W., & Kim, H. (2022). Photocatalytic degradation of tetracycline antibiotics using hydrothermally synthesized two-dimensional molybdenum disulfide/titanium dioxide composites. *Journal of Colloid and Interface Science*, 606, 454–463.
- Ismunandar, Kamiya T., Hoshikawa A., Zhou, Q., Kennedy, B.J., Kubota Y., Kato, K. 2004. Structural studies of five-layer Aurivillius oxides: $\text{A}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ (A=Ca, Sr, Ba and Pb). *Journal Solid State Chemical*, 4188-4196.
- Kimura, T. 2011. Molten Salt Synthesis of Ceramic Powders. Advances in Ceramics-Synthesis and Characterization, Processing and Specific Applications. *Rijeka: InTech*.
- Liandro, M. K. N. S., Moura, J. V. B., Freire, P. T. C., Vega, M. L. (2021) Characterization and Evaluation of Layered Bi_2WO_6 Nanosheets as a New Antibacterial Agent. *Antibiotics*, 10, 1068
- Liu, Y., Zhu, G., Peng, J., Gao, J., Wang, C., dan Liu, P. 2017. One-Step Molten-Salt Method Fabricated $\text{Bi}_2\text{Ti}_2\text{O}_7/\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Composites with Enhanced Photocatalytic Activity. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28: 2172-218.
- Mahipati Y. H., Kim J. S., and Hariba P. S. 2016. Development in Photocatalytic Antibacterial of Nano TiO_2 : A review. *Korean Journal Chemistry and Engineering*, 33(7): 1989-1998.
- Mao, Y., Guo, X., Huang, J. Y., Wang, K. L., Chang, J. P. 2009. Luminescent Nanocrystals with $\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_7$ Composition Synthesized a Kinetically Modified Molten Salt Method. *Journal Physical Chemistry*, 113: 1204-1208.
- Naimah dan Ermawati, R. 2011. Efek Fotokatalis Nano TiO_2 Terhadap Mekanisme Antimikroba. *Jurnal Riset Industri*, (2)5: 113-120.
- Ningsih, T. 2012. Pemanfaatan Bahan Additive Abu Sekam Padi pada *Cement Portland* PT Semen Baturaja (PERSERO). *Jurnal Teknik Kinia Universitas Sriwijaya* Vol 18 No.4 (ISSN 2339-1960).
- Pillai, S. C., McGuinness, N. B., Byrne, C., Han, C., Lalley, J., Nadagouda, M. N. 2017. Photocatalysis as an effective advance oxidation process. *Advanced Oxidation Processes for Water Treatment: Fundamentals and Applications*. 33-382.

- Rahmawati, R. (2014). Uji aktivitas antibakteri ekstrak etanol daun sisik naga (*Drymoglossum piloselloides* (L.) Presl) dan binahong (*Anredera cordifolia* (Ten.) Steenis) terhadap bakteri *Streptococcus mutans* (*Doctoral dissertation*, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Regmi, C., Joshi, B., Ray, S. K., Gyawali, G., & Pandey, R. P. 2018. Understanding Mechanism of photocatalytic microbial decontamination of environmental wastewater. *Frontiers in chemistry*. 6: 33.
- Ren, J., Wang, W., Zhang, L., Chang, J., & Hu, S. 2009. Photocatalytic inactivation of bacteria by photocatalyst Bi₂WO₆ under visible light. *Catalysis Communications*, 10(14), 1940–1943.
- Retnowati, P. A., & Kusnadi, J. (2014). Pembuatan Minuman Probiotik Sari Buah Kurma (*Phoenix Dactylifera*) Dengan Isolat *Lactobacillus Casei* Dan *Lactobacillus Plantarum* [In Press April 2014]. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 2(2), 70-81.
- Schneider, J., Matsuoka, M., Takeuchi, M., Zhang, J., Horiuchi, Y., Anpo, M., Bahnemann, D.W. 2014. Understanding TiO₂ Photocatalysis: Mechanisms and Materials. *Chemical Reviews*, 114: 9919-9989.
- Shi, H., Liu, Z., Chen, J., Cui, L., Wang, Z., Luo, Y., & Zhang, J. 2023. Hydrothermal synthesis of layered perovskite Sr₂Bi₄Ti₅O₁₈ for efficient photocatalytic degradation of organic pollutants. *Journal of Materials Science*, 58. 16, 7092–7105.
- Sun, H., Li, G., Nie, X., Shi, H., Wong, P. K., Zhao, H., An, T. 2014. Systematic approach in-depth understanding of photoelectrocatalytic bacterial inactivation mechanisms by tracking the decomposed building blocks. *Environmental Science and Technology*, 48: 9412-9.
- Thoif, M., Prasetyo, A., & Aini, N. 2020. Sintesis Material Fotokatalis Strontium titanat (SrTiO₂) dengan Metode Hidrotermal pada Variasi Suhu. JC-T (Journal Cis-Trans): *Jurnal Kimia Dan Terapannya*, 4(1), 8-13.
- Varma, A., Mukasyan, A. S., Rogacev, A. S., Manukyan K. V. 2016. Solution Combustion Synthesis of Nanoscale Materials. *Chemical Reviews*, 116: 14493-14586.
- Wang, Q., Hisatomi, T., Moriya Y., Maeda, K., and Domen, K. 2013. Physicochemical properties and photocatalytic H₂ evolution activity of Rh-doped La₂Ti₂O₇ prepared by molten salt synthesis. *Catalysis Science & Technology*, 2098-2103.

- Wang, Y., Zhang, M., Wu, J., Hu, Z., Zhang, H., Yan, H. 2020. Ferroelectric and photocatalytic properties of Aurivillius phase $\text{Ca}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$. *Journal American Ceramic Society*, 104: 322-328.
- Wang, Q., Ji, S., Li, S., Zhou, X., Yin, J., Liu, P., Shi, W., Wu, M., & Shen, L. 2021. Electrospinning visible light response $\text{Bi}_2\text{MoO}_6/\text{Ag}_3\text{PO}_4$ composite photocatalytic nanofibers with enhanced photocatalytic and antibacterial activity. *Applied Surface Science*, 569.
- Wang, Z., Li, J., Qiao, Y., Liu, M.X., Zheng, Y., Li, Z., Shen, J., Zang, Y., Zhu, S., Jiang, H., Liang, Y., Cui, Z., Chu K.Z., Wu, W.L. 2022. Rapid Ferroelectric-Photoexcited Bacteria-Killing $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{Ti}_3\text{C}_2\text{Tx}$ Nanofiber Membranes. *Advanced Fiber Materials*.
- Xue, P., Wu, H., Lu, Y., Zhu, X. 2018. Recent Progress in Molten Salt Synthesis of Low-Dimensional Perovskite Oxide Nanostructures, Structural Characterization, Properties, and Functional Application: A Review. *Journal of Materials Science and Technology*, 34: 914-930.
- Yanti, Y. N., & Mitika, S. (2017). Uji efektivitas antibakteri ekstrak etanol daun sambiloto (*Andrographis paniculata* Nees) terhadap bakteri *Staphylococcus aureus*. *Jurnal Ilmiah Ibnu Sina*, 2(1), 158-168.
- Yadav, H. M., Kim, J. S., & Pawar, S. H. 2016. Developments in photocatalytic antibacterial activity of nano TiO_2 : A review. In *Korean Journal of Chemical Engineering*. Vol. 33, Issue 7, pp. 1989–1998.
- Zhang, X., Zhang, H., Jiang, H., Yu, F., dan Shang, Z. 2020. Hydrothermal Synthesis and Characterization of Ce^{3+} Doped Bi_2MoO_6 for Water Treatment. *Catalist Letters*, 150(1): 159-169.
- Zhou, Y., Tong, L., Zeng, X., Chen, X. 2014. Green Synthesis of Flower-Like Bi_2WO_6 Microspheres as a Visible-Light-Driven Photocatalyst. *Journal Chem*, 38: 1973-1979.
- Zulhadjri, Z., Prijamboedi, B., A., Nugroho, A., Mufti, N., Ismundar, I. 2013. Five Layers Aurivillius Phases $\text{Pb}_{2-x}\text{Bi}_{4+x}\text{Ti}_{5-x}\text{Mn}_x\text{O}_{18}$: Synthesis, Structure, Relaxor Ferroelectric and Magnetic Properties. *ITB Journal of Sciences*, 43: 139-150.
- Zuniga, J. P., Gupta, S. K., Abdou, M., Mao, Y. 2018. Effect of Molten Salt Synthesis Processing Duration on the Photo- and Radioluminescence of UV-, Visible-, and X-Ray Excitable $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7:\text{Eu}^{3+}$ Nanoparticles. *ACS Omega*, 3: 7757-7770.

