

**UJI ANTIBAKTERI SENYAWA $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ YANG DIPEROLEH DENGAN METODE
LELEHAN GARAM**

SKRIPSI

Oleh:
USWATUN KHASANAH
NIM. 19630061



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

**UJI ANTIBAKTERI SENYAWA $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ YANG DIPEROLEH DENGAN METODE
LELEHAN GARAM**

SKRIPSI

**Oleh:
USWATUN KHASANAH
NIM. 19630061**

**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
2024**

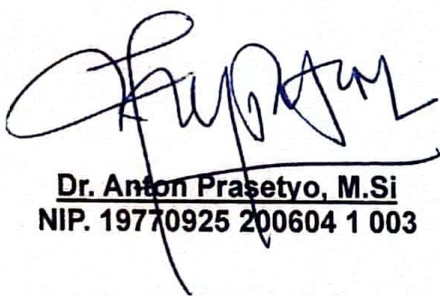
UJI ANTIBAKTERI SENYAWA $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ YANG DIPEROLEH DENGAN METODE
LELEHAN GARAM

SKRIPSI

Oleh:
USWATUN KHASANAH


NIM: 19630061
Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal: 19 Juni 2024

Pembimbing I



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

Pembimbing II



Kivah Aha Putra, M.Pd.I
NIP. 19900425 202321 1 024

Mengetahui,
Ketua Program Studi Kimia



Rachmawati Ningsih, M.Si
NIP. 19841119 200801 2 010

UJI ANTIBAKTERI SENYAWA $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ YANG DIPEROLEH DENGAN METODE
LELEHAN GARAM

SKRIPSI

Oleh:

USWATUN KHASANAH

NIM: 19630061

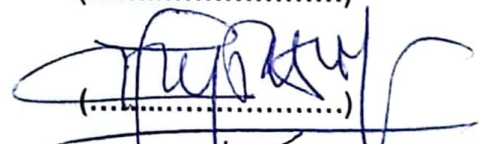
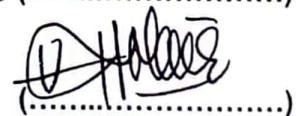
Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan Dinyatakan Diterima
Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 19 Juni 2024

Ketua Penguji : Dr. Akyunul Jannah, S.Si, M.P
NIP. 19750410 200501 009

Anggota Penguji I : Nur Aini, M.Si
NIP. 19840608201903 2 009

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

Anggota Penguji III : Kivah Aha Putra, M.Pd.I
NIP. 19900425 202321 1 024



Mengetahui
Ketua Program Studi Kimia



Rachmawati Ningsih, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 010

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Uswatun Khasanah
NIM : 19630061
Program Studi : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Uji Antibakteri Senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ yang Diperoleh dengan Metode Lelehan Garam

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

Malang, 24 Juni 2024

Yang membuat pernyataan,

A 10,000 Rupiah Indonesian postage stamp is affixed to the document. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text '10000', 'METERA TEMPEL', and the serial number '39843ALX245535701'. A handwritten signature in black ink is written over the stamp.

Uswatun Khasanah
NIM.19630061

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil 'alamin,

dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan rasa syukur kepada Allah Swt. atas segala nikmat dan Rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang masih jauh dari kata sempurna ini dengan baik. Saya persembahkan karya ini kepada:

Kedua orang tua saya, Ibu Winarsih dan Alm. Bapak Sutrisno, S.Pd.I yang selalu memberikan doa dan dukungan. Kedua kakak saya Levy Ekayanti dan M. Andi Azhar yang selalu memotivasi dan mendoakan saya. Serta orang yang banyak membantu saya selama ini yaitu A. Zakarya Annas yang selalu memberikan doa dan dukungan untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.

Terima kasih yang tak terhingga kepada Bapak Dr. Anton Prasetyo, M.Si selaku pembimbing utama dan Bapak Kivah Aha Putra, M.Pd.I selaku pembimbing agama yang telah sabar dalam membimbing dan memberikan dukungan serta arahan kepada saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Ibu Dr. Anik Maunatin, S.T., M.P selaku konsultan dan Ibu Dr. Akyunul Jannah, S.Si, M.P selaku penguji utama yang telah membimbing, memberikan arahan, dan masukan dalam proses menyelesaikan tugas akhir ini. Ibu Nur Aini, M.Si selaku penguji yang telah membimbing dan memberi arahan dalam proses menyelesaikan tugas akhir ini. Ibu Lilik Miftahul Khoiroh M.Si selaku dosen wali yang telah membantu, membimbing dan memberikan arahan selama masa perkuliahan dan penelitian. Para dosen dan seluruh laboran Program Studi Kimia UIN Malang yang telah membantu saya dalam menyelesaikan penelitian.

Saya ucapkan terima kasih kepada teman seperbimbingan "Anak Abah" yaitu Nuril, Ima, Amal, Vio, dan Bima yang memberikan doa, dukungan, saling bertukar pikiran dan saling membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini. Terima kasih sahabat saya Thata dan Dinda yang memberikan doa, semangat dan dukungan. Terima kasih juga teman-teman "EPS" dan kakak-kakak "amilase" yang berjuang bersama di laboratorium. Terima kasih kepada teman-teman terdekat yang tidak bisa disebutkan satu per satu, serta teman-teman "Uranium" yang memberikan kenangan selama masa perkuliahan dan mendukung penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Terakhir, saya ucapkan terima kasih kepada diri saya sendiri yang telah bertahan dan berjuang sampai akhir. Terima kasih dan selamat Ussy.

MOTTO

“The future belongs to those who believe in the beauty of their dreams.”

-Eleanor Roosevelt-

“Tidak ada sesuatu yang mustahil untuk dikerjakan, hanya tidak ada sesuatu yang mudah”

-Napoleon Bonaparte-

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufiq, hidayah dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Shalawat dan salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW yang selalu menyebarkan dan mengembangkan ajaran Islam kepada umatnya. Selanjutnya, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran penyusunan Skripsi ini, baik berupa dorongan moril maupun materil. Penulis yakin tanpa bantuan dan dukungan tersebut, sulit rasanya bagi penulis untuk menyelesaikan Skripsi ini. Dengan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Kedua orang tua penulis tercinta, keluarga serta teman-teman seperbimbingan yang telah memberikan dukungan moral, berupa do'a, dan nasihat sehingga penyusunan Skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, MA, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Sri Harini, M.Si, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si, selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Dr. Anton Prasetyo, M.Si, selaku Dosen Pembimbing I. Karena atas bimbingan, pengarahan, kesabaran, dan motivasinya penyusunan Proposal ini dapat terselesaikan.
6. Bapak Kivah Aha Putra, M.Pd.I selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan nasihat dalam penulisan proposal ini.

Semoga semua pihak yang telah membantu penulis mendapatkan pahala yang berlipat ganda dari Allah SWT. Aamiin. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan naskah ini masih jauh dari kata sempurna. Demi perbaikan dari naskah ini, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sehingga kelak penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

Malang, 24 Juni 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN.....	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
MOTTO.....	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR PERSAMAAN	xxiii
ABSTRAK.....	xxv
ABSTRACT	xxvii
ملخص البحث.....	xxix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Masalah	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Senyawa Aurivillius	5
2.2 Fotokatalis	5
2.3 Senyawa Aurivillius $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	7
2.4 Pengaruh Morfologi Partikel Terhadap Aktivitas Fotokatalitik.....	8
2.5 Metode Sintesis dengan Lelehan Garam	10
2.6 Sintesis Senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan Metode Lelehan Garam	11
2.7 Bakteri <i>S.aureus</i>	12
2.8 Senyawa Fotokatalis Aurivillius Sebagai Antibakteri	13
2.9 Pemanfaatan Senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ sebagai Antibakteri dalam Perspektif Islam	14
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.2 Alat dan Bahan	17
3.3 Tahapan Penelitian	17
3.4 Prosedur Kerja.....	18
3.4.1 Preparasi Bahan.....	18
3.4.2 Sintesis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan Metode Lelehan Garam	18
3.4.3 Karakterisasi Hasil Sintesis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan <i>X-Ray Diffraction</i>	18
3.4.4 Karakterisasi Hasil Sintesis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan <i>Scanning Electron Microscopy</i>	18
3.4.5 Karakterisasi Hasil Sintesis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan <i>UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy</i>	19
3.5 Analisis Data.....	19
3.5.1 Analisis Data <i>X-Ray Diffraction</i>	19
3.5.2 Analisis Data <i>Scanning Electron Microscopy</i>	19

3.5.3 Analisis Data UV-Vis <i>Diffuse Reflectance Spectroscopy</i>	19
3.6 Uji Antibakteri.....	19
3.6.1 Pembuatan Media <i>Nutrient Agar (NA)</i>	19
3.6.2 Pembuatan Media <i>Nutrient Broth (NB)</i>	20
3.6.3 Peremajaan Bakteri	20
3.6.4 Pembuatan Inokulum <i>Straphylococcus aureus</i>	20
3.6.5 Uji Aktivitas Antibakteri Senyawa SrBi ₄ Ti ₄ O ₁₅ terhadap Bakteri <i>Straphylococcus aureus</i>	20
3.6.5.1 Uji Aktivitas Antibakteri dalam Keadaan Ruang Terbuka.....	20
3.6.5.2 Uji Aktivitas Antibakteri dalam Keadaan Gelap	20
3.6.5.3 Uji Aktivitas Antibakteri dengan Radiasi Sinar UV.....	20
3.6.5.4 Uji Aktivitas Antibakteri Senyawa SrBi ₄ Ti ₄ O ₁₅ dengan Radiasi Sinar UV	20
3.6.5.5 Perhitungan Jumlah Sel Bakteri.....	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Sintesis Senyawa SrBi ₄ Ti ₄ O ₁₅ dengan Metode Lelehan garam.....	23
4.2 Karakterisasi Hasil Sintesis SrBi ₄ Ti ₄ O ₁₅ dengan XRD.....	24
4.3 Karakterisasi Hasil Sintesis SrBi ₄ Ti ₄ O ₁₅ dengan SEM	25
4.4 Karakterisasi Hasil Sintesis SrBi ₄ Ti ₄ O ₁₅ dengan UV-Vis DRS.....	26
4.5 Uji Aktivitas Senyawa SrBi ₄ Ti ₄ O ₁₅ terhadap Bakteri <i>Staphylococcus</i> <i>Aureus</i>	27
4.6 Uji Aktivitas Antibakteri Senyawa SrBi ₄ Ti ₄ O ₁₅ yang Diperoleh dengan Metode Lelehan Garam dalam Perspektif Islam	28
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	31
5.1 Kesimpulan	31
5.2 Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN.....	37

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Rencana Penelitian	37
Lampiran 2 Diagram Alir	38
Lampiran 3 Perhitungan.....	43
Lampiran 4 Gambar Hasil Karakterisasi.....	48
Lampiran 5 Data Uji Aktivitas Antibakteri	50
Lampiran 6 Dokumentasi	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur senyawa Aurivillius lapis empat $\text{ABi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	5
Gambar 2.2 Mekanisme reaksi fotokatalis	6
Gambar 2.3 Mekanisme antibakteri oleh fotokatalis	6
Gambar 2.4 (a) Spektrum UV-Vis DRS, dan (b) plot-Tauc $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	7
Gambar 2.5 Persentase degradasi metilen biru oleh $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	8
Gambar 2.6 Aktivitas fotokatalitik degradasi RhB Senyawa BTO	8
Gambar 2.7 Morfologi partikel BTO (a) menggunakan metode reaksi keadaan padatan dan menggunakan metode lelehan garam; (b) BTO-4, (c) BTO-8, (d) BTO-16, (e) BTO-32, (f) BTO-40, (g) BTO-50, dan (h) BTO-60	9
Gambar 2.8 Aktivitas fotokatalitik degradasi RhB senyawa BTO	9
Gambar 2.9 Mekanisme metode MSS pada sintesis bubuk oksida perovskit	11
Gambar 2.10 Difraktogram $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	11
Gambar 2.11 Mikrograf SEM dari $\text{SrBi}_4\text{Ti}_{4-n}\text{V}_n\text{O}_{15}$; (a) $n = 0$; (b) $n = 0.05$; (c) $n = 0,1$ dan (d) $n = 0.15$	12
Gambar 2.12 Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	13
Gambar 2.13 % kelangsungan hidup <i>Staphylococcus aureus</i> dengan sampel TC NCs Sebagai fungsi waktu	14
Gambar 2.14 Inaktivasi bakteri <i>E. coli</i> dalam (a) Bi_2WO_6 dalam gelap (0,5 mg /mL), (b) tidak ada katalis dan (c) dibawah iradiasi cahaya tampak (0,5 mg/mL)	14
Gambar 4.1 (a) Sampel $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ sebelum kalsinasi; (b) Sampel $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ setelah kalsinasi	23
Gambar 4.2 Difraktogram senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	24
Gambar 4.3 Puncak perbandingan pada posisi 2θ	24
Gambar 4.4 (a) Gambar SEM $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$; (b) Aglomerasi sampel $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	25
Gambar 4.5 Distribusi partikel senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	25
Gambar 4.6 Spektrum UV-Vis DRS senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	26
Gambar 4.7 Plot Tauc energi celah pita senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	26
Gambar 4.8 Uji aktivitas antibakteri senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	27

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Komposisi prekursor senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	18
Tabel 4.1 Hasil uji aktivitas antibakteri terhadap bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	27

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 3.1 Kubelka-Munk.....	19
Persamaan 3.2 Persentase reduksi biakan bakteri % <i>R</i>	21
Persamaan 3.3 Perhitungan jumlah bakteri	21
Persamaan 3.4 Faktor Pengenceran	21
Persamaan 4.1 Persamaan reaksi $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	23

ABSTRAK

Khasanah, Uswatun. 2024. **Uji Antibakteri Senyawa SrBi₄Ti₄O₁₅ yang diperoleh dengan Metode Lelehan Garam**. Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Dr. Anton Prasetyo, M.Si; Pembimbing II: Kivah Aha Putra, M.Pd.I.

Kata Kunci: SrBi₄Ti₄O₁₅, Antibakteri, Fotokatalis, Lelehan Garam

Teknologi fotokatalis berpeluang digunakan sebagai material antibakteri. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aktivitas fotokatalis sebagai antibakteri dari SrBi₄Ti₄O₁₅ yang disintesis dengan metode lelehan garam NaCl-KCl. Hasil sintesis dikarakterisasi dengan teknik *X-ray diffraction* (XRD) untuk mengidentifikasi fasa dan struktur kristal produk, *scanning electron microscopy-energy dispersive spectroscopy* (SEM-EDS) untuk menentukan morfologi dan ukuran partikel serta *ultraviolet-visible diffuse reflectance spectroscopy* (UV-Vis DRS) untuk menghitung energi celah pita. Difraktogram sampel menunjukkan bahwa senyawa SrBi₄Ti₄O₁₅ berhasil disintesis dengan tidak ditemukan adanya fasa pengotor dan didapat struktur kristal dengan bentuk ortorombik. Morfologi yang terbentuk adalah *plate-like* dan partikel yang dihasilkan cenderung tidak seragam dengan luas area partikelnya relatif besar pada rentang $80,5659 \pm 0,87233 \mu\text{m}$. Didapatkan energi celah pita senyawa SrBi₄Ti₄O₁₅ dengan sebesar 3,14 eV. Hasil uji aktivitas antibakteri senyawa SrBi₄Ti₄O₁₅ menunjukkan bahwa senyawa ini mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* dengan variasi konsentrasi 10; 20; dan 30 mg sebesar 96,4; 96,4; dan 96,9%, penurunan pertumbuhan pada kondisi dengan cahaya UV menunjukkan bahwa senyawa SrBi₄Ti₄O₁₅ dapat menghambat pertumbuhan bakteri dengan mekanisme fotokatalis.

ABSTRACT

Uswatun, Khasanah. 2023. **Antibacterial Test of SrBi₄Ti₄O₁₅ Obtained by Melt Salt Method**. Chemistry Study Program, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor I: Dr. Anton Prasetyo, M.Si; Supervisor II: Kivah Aha Putra, M.Pd.I

Keywords: SrBi₄Ti₄O₁₅, Antibacterial, Photocatalyst, Molten Salt

Photocatalyst technology has the opportunity to be used as an antibacterial material. This research aims to determine the photocatalytic activity as an antibacterial of SrBi₄Ti₄O₁₅ which is synthesized using the NaCl-KCl salt melt method. The synthesis results were characterized using X-ray diffraction (XRD) techniques to identify the phase and crystal structure of the product, scanning electron microscopy-energy dispersive spectroscopy (SEM-EDS) to determine particle morphology and size and ultraviolet-visible diffuse reflectance spectroscopy (UV-Vis DRS) to calculate the band gap energy. Diffractogram of the sample showed that the SrBi₄Ti₄O₁₅ compound was successfully synthesized with no impurity phase found and a crystal structure with an orthorhombic form was obtained. The morphology formed is plate-like and the resulting particles tend to be non-uniform with a relatively large particle area in the range of $80,5659 \pm 0,87233 \mu\text{m}$. The band gap energy of the SrBi₄Ti₄O₁₅ compound was found to be 3.14 eV. The results of the antibacterial activity test for the SrBi₄Ti₄O₁₅ compound showed that this compound was able to inhibit the growth of *Staphylococcus aureus* with a concentration variation of 10; 20; and 30 mg bacteria by 96.4; 96.4; and 96.9%, decreased growth under UV light conditions shows that the SrBi₄Ti₄O₁₅ compound can inhibit bacterial growth by a photocatalytic mechanism.

ملخص البحث

الخشانة، أوسواتون. ٢٠٢٣. اختبار مضاد للجراثيم لمركب $SrBi_4Ti_4O_{15}$ الذي تم الحصول عليه عن طريق طريقة صهر الملح. برنامج دراسة الكيمياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: د. أنطون براسيتيو، M.Si؛ المشرف الثاني: كيفاه آها بوترا، M.Pd.I.

الكلمات الرئيسية: $SrBi_4Ti_4O_{15}$ ، مضاد للبكتيريا، محفز ضوئي، ملح مذاب

تتمتع تقنية المحفز الضوئي بفرصة استخدامها كمادة للبكتيريا. يهدف هذا البحث إلى تحديد نشاط التحفيز الضوئي كمضاد للجراثيم لمركب $SrBi_4Ti_4O_{15}$ المحضر بطريقة ذوبان ملح NaCl-KCl. تميزت نتائج التوليف باستخدام تقنيات حيود الأشعة السينية (XRD) لتحديد الطور والبنية البلورية للمنتج، ومسح التحليل الطيفي لتشتت الطاقة بالمجهر الإلكتروني (SEM-EDS) لتحديد التشكل وحجم الجسيمات والتحليل الطيفي للانعكاس المنتشر فوق البنفسجي والمرئي. (UV-Vis DRS) لحساب طاقة فجوة النطاق. أظهر الحيود من العينة أن مركب $SrBi_4Ti_4O_{15}$ تم تصنيعه بنجاح مع عدم العثور على مرحلة شوائب وتم الحصول على بنية بلورية ذات شكل معيني متعامد. التشكل يشبه الصفيحة وتميل الجزيئات الناتجة إلى أن تكون غير موحدة مع مساحة جسيمات كبيرة نسبياً في حدود 5.0036 ± 85.01179 ميكرومتر. وجد أن طاقة فجوة النطاق لمركب $SrBi_4Ti_4O_{15}$ تبلغ 3.14 فولت. أظهرت نتائج اختبار النشاط المضاد للبكتيريا لمركب $SrBi_4Ti_4O_{15}$ أن هذا المركب قادر على تثبيط نمو بكتيريا *Staphylococcus aureus* بنسبة 96.4؛ 96.4؛ و 96.9% مع اختلاف تركيز 10؛ 20؛ و 30 مجم، يظهر انخفاض النمو تحت ظروف الإضاءة أن مركب $SrBi_4Ti_4O_{15}$ يمكن أن يثبط نمو البكتيريا عن طريق آلية التحفيز الضوئي..

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Infeksi bakteri telah menjadi penyebab utama kematian di seluruh dunia sehingga pengendalian bakteri menjadi penting serta diperlukan usaha-usaha untuk mengatasinya. Antibiotik pada umumnya telah digunakan untuk mengobati infeksi yang disebabkan oleh bakteri. Namun, penggunaan antibakteri dapat menimbulkan efek samping seperti, menyebabkan bakteri menjadi resisten, sehingga penggunaan antibiotik cukup menjadi tidak efektif. Bakteri yang resisten terhadap antibiotik akan menjadi penyebab meningkatnya angka kesakitan dan angka kematian. Oleh karena itu diperlukan sebuah teknologi yang dapat menghambat pertumbuhan dari bakteri tersebut. Kondisi ini sesuai dengan ayat al-Qur'an surat Ali 'Imran ayat 190:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ

Artinya: *"Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal."*

Allah Swt. menganugerahkan akal kepada manusia sebagai makhluk hidup untuk mengkaji tentang apa yang ada di langit dan di bumi, agar manusia senantiasa berpikir dan mencari manfaat maupun bahaya dari apa yang telah diciptakan Allah Swt. baik berupa benda hidup maupun benda mati. Allah menciptakan segala sesuatu yang ada di bumi ini dengan manfaatnya masing-masing yang penting sekali untuk dikaji, salah satunya adalah bakteri. Sebagaimana firman Allah Swt. dalam surat al-Baqarah ayat 26 sebagai berikut:

إِنَّ اللَّهَ لَا يَسْتَحْيِي ۚ أَنْ يَضْرِبَ مَثَلًا مَّا بَعُوضَةً فَمَا فَوْقَهَا ۚ فَأَمَّا الَّذِينَ ءَامَنُوا 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

Artinya: *"Sesungguhnya Allah tiada segan membuat perumpamaan berupa nyamuk atau yang lebih kecil dari itu. Adapun orang-orang yang beriman, maka mereka yakin bahwa perumpamaan itu benar dari Tuhan mereka, tetapi mereka yang kafir mengatakan: "Apakah maksud Allah menjadikan ini untuk perumpamaan?". Dengan perumpamaan itu banyak orang yang disesatkan Allah, dan dengan perumpamaan itu (pula) banyak orang yang diberi-Nya petunjuk. Dan tidak ada yang disesatkan Allah kecuali orang-orang yang fasik."*

Perumpaan nyamuk pada ayat tersebut diturunkan sebagai bantahan Allah terhadap orang-orang kafir yang menyepelkan hewan kecil seperti nyamuk. Meskipun nyamuk memiliki tubuh yang kecil, tetapi ia mempunyai hubungan yang sangat penting bagi kesehatan manusia. Bahkan banyak penyakit yang disebabkan atas gigitan nyamuk. Dalam ayat ini juga

mengajarkan kepada manusia, agar tidak menyepelekan sesuatu yang kecil menurut kasat mata karena sesuatu yang kecil bisa jadi lebih bermanfaat atau lebih berbahaya dari yang terlihat besar kuat dan gagah (Shihab, 2002). Begitupun dengan bakteri yang juga memiliki ukuran yang sangat kecil dan tidak dapat dilihat oleh mata secara langsung. Terdapat beberapa bakteri yang memiliki peran penting bagi makhluk hidup dan sekitarnya. Namun, tidak sedikit pula bakteri yang dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, seperti *Escherichia coli* (*E. coli*) dan *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*). Penekanan jumlah bakteri terhadap bakteri jahat tersebut sangat diperlukan agar tidak menyebabkan peningkatan angka kematian

Teknologi fotokatalis dilaporkan berpeluang digunakan sebagai material antibakteri seperti titanium dioksida (TiO_2), seng oksida (ZnO), tembaga sulfida (CuS), bismut sulfida (Bi_2S_3), molibdenum sulfida (MoS_2), karbon nitrida graphene ($g\text{-C}_3\text{N}_4$) (Zhou, dkk. 2020). Penggunaan teknologi fotokatalis sebagai antibakteri pertama kali dilaporkan oleh Matsunaga, dkk. (1985) yang melaporkan senyawa Pt-TiO_2 mampu menghambat pertumbuhan sel mikroba *saccharomyces cerevisiae* (ragi), *Lactobacillus acidophilus* dan *Escherichia coli* (bakteri), dan *Chlorella vulgaris* (ganggang hijau). ZnO juga memiliki aktivitas antibakteri yang sangat baik terhadap spektrum bakteri yang luas seperti *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) dan *Escherichia coli* (*E.coli*) karena kemampuan penghambatannya yang membuatnya menjadi agen antibakteri yang menjanjikan. Pada penelitian Podporska-Carrol, dkk (2016) yang menggunakan metode sol-gel untuk memfabrikasi ZnO NPs yang didoping fluorin (F). Hasil mereka menunjukkan bahwa di bawah penyinaran cahaya tampak, F-doped ZnO memiliki efisiensi antibakteri sebesar 99,99% terhadap *S.aureus* dan 99,87% terhadap *E.coli*.

Golongan senyawa lain yang dilaporkan mempunyai kemampuan antibakteri yang baik adalah senyawa berstruktur Aurivillius yang mempunyai rumus molekul $\text{Bi}_2\text{Am}_{-1}\text{BmO}_3\text{m}_{+3}$, yang mana kation *A* merupakan kation dengan ukuran besar dan muatan kecil (Na^+ , Sr^{2+} , atau Bi^{3+}), kation *B* merupakan kation dengan ukuran kecil dan muatan besar (Fe^{3+} , Ti^{4+} , atau Ta^{5+}), sedangkan *m* menunjukkan suatu jumlah lapis *pseudo perovskite*. Senyawa Aurivillius sebagai antibakteri telah dilaporkan beberapa pihak. Ren, dkk. (2009) melaporkan bahwa senyawa Bi_2WO_6 mampu menghambat pertumbuhan *E. coli*. Pada penelitian lain, Wang, dkk. (2022) menyatakan bahwa membran BT40-50 yang diintegrasikan dengan Polyvinylidene Fluoride (PVDF/BT40-50) menunjukkan efek antibakteri dengan efisiensi tinggi terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* dan *E. coli* dengan adanya reaksi antara spesies oksigen reaktif (ROS) dan panas. Mekanisme antibakteri senyawa Aurivillius dapat digolongkan sebagai mekanisme fotokatalis, yaitu kombinasi reaksi kimia yang memerlukan cahaya dan fotokatalis untuk mempercepat transformasi kimia. Proses ini menghasilkan spesies oksigen radikal (ROS) yang mampu menonaktifkan bakteri.

Sifat fotokatalis senyawa Aurivillius lapis empat ($\text{ABi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$) telah dilaporkan beberapa pihak. Al-Abror, dkk. (2022) melaporkan bahwa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dapat mendegradasi metilen biru

hingga 47,8% dalam waktu 120 menit. Hasil ini menyatakan bahwa fotokatalis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ (SBTO) menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang baik. Meskipun senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dapat bertindak sebagai adsorben namun mekanisme fotokatalisnya lebih kuat. Kim, dkk. (2005) juga melaporkan bahwa perovskite berstruktur $\text{M}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ ($M = \text{Ca}, \text{Sr}$) dan $\text{R}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ ($R = \text{Y}, \text{La}, \text{Yb}$) menunjukkan tingkat fotokatalitik tertinggi dan hasil kuantumnya dilaporkan setinggi 20-50% dibawah iradiasi UV.

Salah satu faktor yang mempengaruhi aktivitas fotokatalitik senyawa Aurivillius yaitu morfologi partikelnya (Cheng, dkk. 2021). Chen, dkk. (2016) melaporkan bahwa ukuran partikel yang kecil dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik nanosheet $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ untuk reaksi degradasi. Selain itu, tingginya keteraturan pola dari morfologi *plate-like* dan luas permukaan terbukti dapat meningkatkan aktivitas fotokatalisnya (He, dkk. 2014). Metode sintesis yang dilaporkan dapat menghasilkan morfologi partikel yang khas yaitu metode lelehan garam dan metode hidrotermal (He, dkk. 2014; Li, dkk. 2012).

Arney, dkk. (2008) melaporkan sifat fotokatalitik dari perovskite platelet seperti $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ dengan ketebalan dibawah 100 nm yang disintesis dengan metode lelehan garam dan menghasilkan tingkat fotokatalitik hampir dua kali lebih tinggi dari pada bubuk $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ yang disintesis dengan metode reaksi padat. Metode lelehan garam telah banyak digunakan oleh peneliti dalam mensintesis senyawa Aurivillius dan untuk melaporkan morfologi partikel yang khas (Garcia-Guederrama, dkk. 2005; Zuhadjri, dkk. 2011; Kimura, 2011). Metode lelehan garam memiliki beberapa keunggulan yaitu suhu reaksi yang dibutuhkan relatif rendah, mampu mengontrol ukuran dan bentuk partikel, serta mampu meningkatkan derajat homogenitas (Rahman, 2003). Berdasarkan penelitian Kato, dkk. (2013) bahwa efek perlakuan fluks logam alkali klorida dan strontium klorida pada morfologi kristal strontium titanat (SrTiO_3) dengan metode lelehan garam menghasilkan peningkatan aktivitas fotokatalitik SrTiO_3 . Selain itu, Dai, dkk. (2019) juga melaporkan bahwa senyawa Bi_2WO_6 yang disintesis dengan metode lelehan garam menghasilkan derajat kristalinitas dan kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan pada reaksi padatan.

Berdasarkan kajian diatas maka dalam penelitian ini dilakukan sintesis, karakterisasi dan uji antibakteria senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan menggunakan metode lelehan garam. Sampel yang diperoleh akan dikarakterisasi dengan teknik: (a) *X-ray diffraction* (XRD) untuk mengidentifikasi fasa dan struktur kristal produk, (b) *scanning electron microscopy* (SEM) untuk menentukan morfologi, ukuran partikel, dan komposisi unsur senyawa, serta (c) *ultraviolet-visible diffuse reflectance spectroscopy* (UV-Vis DRS) untuk menghitung energi celah pita.

1.2 Rumusan Penelitian

Bagaimana aktivitas fotokatalis sebagai antibakteri dari $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ yang disintesis dengan metode lelehan garam?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui fasa dan struktur kristal, morfologi, ukuran partikel, energi celah pita serta aktivitas antibakteri dari material $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ yang disintesis dengan metode lelehan garam.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Sintesis senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan menggunakan metode lelehan garam.
- b. Suhu dan waktu sintesis yang diperlukan ialah 750 dan 820°C masing-masing selama 6 jam.
- c. Hasil sintesis diuji aktivitas antibakteri menggunakan metode *total plate counting* (TPC).

1.5 Manfaat Penelitian

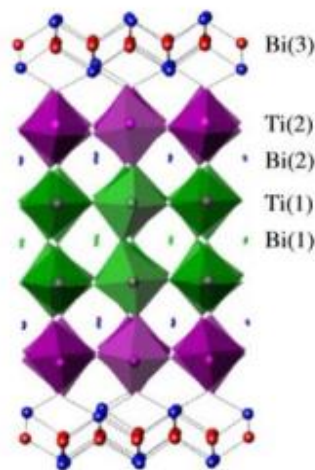
Penelitian ini akan memberikan informasi mengenai struktur kristal, morfologi, ukuran partikel, energi celah pita senyawa Aurivillius $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, serta pengaruhnya terhadap aktivitas antibakteri yang disintesis dengan metode lelehan garam.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Senyawa Aurivillius

Aurivillius adalah nama yang diberikan untuk kelompok senyawa oksida lapisan bismut yang juga disebut fase Aurivillius. Rumus umum Aurivillius ditulis sebagai $\text{Bi}_2\text{A}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+3}$, $n = 1, 2, 3, \dots$ dan yang tersusun atas kombinasi dari struktur $[\text{Bi}_2\text{O}_2]^{2+}$ dengan struktur yang berbasis perovskit $[\text{A}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+3}]^{2-}$ (Shrinagar, dkk. 2008). Posisi A dapat diisi oleh kation ukuran sebesar Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Pb^{2+} , Bi^{3+} atau Ln^{3+} dan pada posisi B di struktur perovskite dapat diisi oleh kation kecil seperti Fe^{3+} , Mn^{3+} , Cr^{3+} , Ti^{4+} , Nb^{5+} atau W^{6+} . Struktur dari senyawa Aurivillius ditampilkan pada Gambar 2.1.



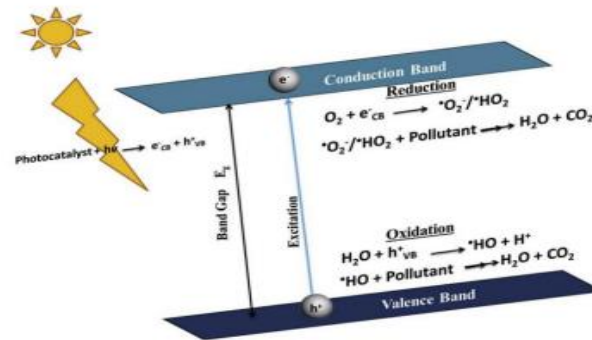
Gambar 2.1 Struktur senyawa Aurivillius lapis empat $\text{ABi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ (Kennedy, dkk. 2008).

Senyawa Aurivillius dilaporkan memiliki beberapa sifat yang menarik yaitu sifat dielektrik, piezoelektrik, feroelektrik, dan fotokatalitik (Lazarevic, dkk. 2009). Berdasarkan sifat tersebut maka material Aurivillius dapat digunakan sebagai fotokatalis, sensor, aktuator, ferroelektrik random acces memories (FeRAMs), dan beberapa fungsi elektronik lainnya (Khokar, dkk. 2013; dan Murugesan, dkk. 2010).

2.2 Fotokatalis

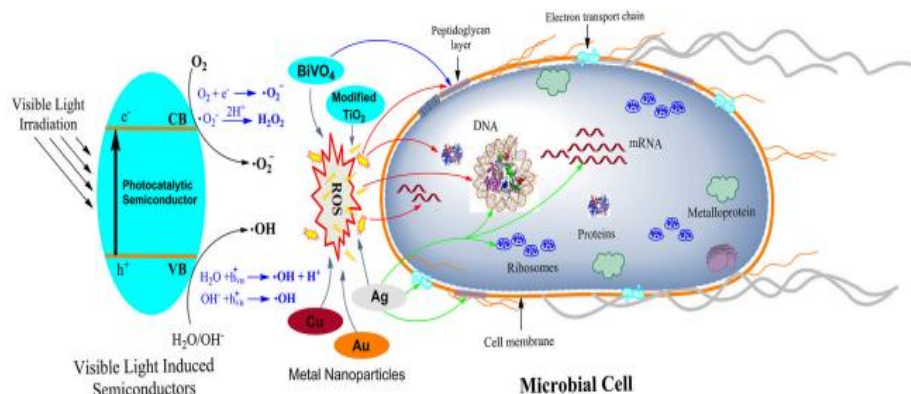
Fotokatalis adalah kombinasi dari fotokimia dan katalis. Proses reaksi fotokimia yang melibatkan cahaya (foton). Fotokatalis itu sendiri adalah sebuah proses yang dibantu dengan adanya cahaya dan bahan katalis. Katalis adalah zat yang mempengaruhi laju reaksi tanpa diubah secara kimia. Katalis dapat mempercepat fotoreaksi dari interaksinya dengan substrat baik keadaan dasar ataupun tereksitasi atau dengan fotoproduk utamanya, tergantung dari mekanisme fotoreaksi (Serpone dan Emeline, 2002).

Proses fotokatalitik yaitu cahaya foton yang mempunyai energi lebih besar dari energi celah pita mengenai bahan semikonduktor, maka elektron (e^-) dalam pita valensi (VB) akan tereksitasi ke pita konduksi (CB) dan dihasilkan hole (h^+) pada VB. Proses generasi pasangan e^-/h^+ ini disebut fotoeksitasi. Elektron pada CB pindah ke permukaan katalis dan berpartisipasi dalam reaksi reduksi, sedangkan hole (h^+) pada VB berdifusi ke permukaan fotokatalis dan terlibat dalam reaksi oksidasi (P. Ganguly, dkk. 2018). Proses mekanisme reaksi fotokatalis ditampilkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Mekanisme reaksi fotokatalis (P. Ganguly, dkk. 2018).

Beberapa material yang dilaporkan mempunyai sifat fotokatalis diantaranya adalah senyawa dari golongan Aurivillius seperti (a) Bi_2MoO_6 dengan kemampuan degradasi sebesar 26,11% dalam waktu 6 jam (Z. Dai, dkk. 2016) (b) $\text{Ca}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ dengan kemampuan degradasi Rhodamine-B sebesar 16% dalam waktu 6 jam (Y. Wang, dkk. 2021), dan (c) $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dengan kemampuan degradasi Rhodamine-B sebesar 48,8% dalam waktu 50 menit (S. Niu, dkk. 2020). $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ adalah senyawa Aurivillius lapis empat yang dilaporkan memiliki potensi untuk digunakan sebagai material fotokatalis dengan energi celah pita sebesar 3,0 eV. Senyawa ini juga dilaporkan mempunyai kemampuan aktivitas fotokatalitik yaitu mereduksi gas CO_2 dan mendegradasi larutan metil oranye (P. Nayak, dkk. 2014; S. Tu, dkk. 2019; H. Xie, dkk. 2013). Proses mekanisme antibakteri oleh fotokatalis ditampilkan pada Gambar 2.3.

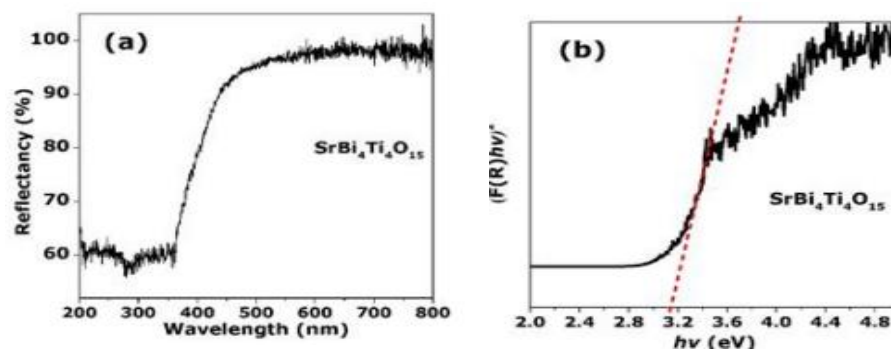


Gambar 2.3 Mekanisme antibakteri oleh fotokatalis (Regmi, dkk. 2018).

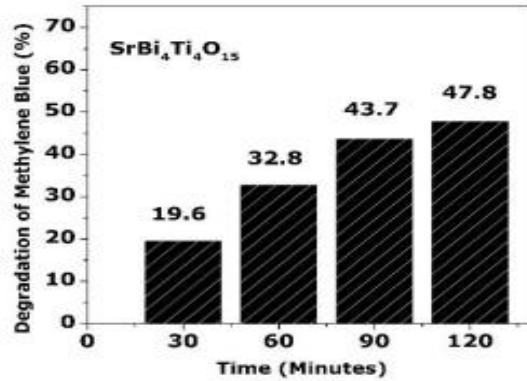
Salah satu aplikasi dari sifat fotokatalis adalah sebagai antibakteri. Mekanisme disinfeksi fotokatalitik yang pertama yaitu, proses inaktivasi yang diinduksi oleh cahaya dan mendorong degradasi koenzim A oleh ROS potensial yang di hasilkan dalam proses reaksi sebagai mekanisme aktivitas bakterisidal. Denaturasi enzim tersebut mengakibatkan kemungkinan terhambatnya aktivitas pernapasan, yang kemudian menyebabkan kematian (Matsunaga, dkk. 1985). Kikuchi, dkk. (2010) mengevaluasi peran ROS dalam proses reaksi yaitu dengan ditambahkan radikal hidroksil sehingga aktivitas bakterisidal berkurang tetapi tidak berhenti. Selanjutnya, Sokmen, dkk. (2001), mengukur peroksidasi lipid dengan menghitung pembentukan Malondialdehid. Ditemukan iradiasi terus menerus menghasilkan degradasi lengkap Malondialdehid menjadi produk yang lebih sederhana seperti karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O). Remi, dkk. (2011), menyelidiki target bakteri dan menilai kultivasi bakteri dengan integritas dinding selnya dibawah penyinaran cahaya tampak dan gelap ditemukan bahwa partikel titania menunjukkan perilaku bakterisidal jauh potensial sebelum iradiasi cahaya. Peningkatan kandungan titania menurunkan sel bakteri dan partikel tersebut menyebabkan rusaknya integritas dinding sel yang selanjutnya berkontribusi pada peningkatan sifat bakterisidal. RNA dan DNA dari sel bakteri tersebut ditemukan sebagai target bakteri dari serangan oksidatif yang diinduksi oleh ROS yang dihasilkan selama mekanisme disinfeksi fotokatalitik.

2.3 Senyawa Aurivillius $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ sebagai Material Fotokatalis

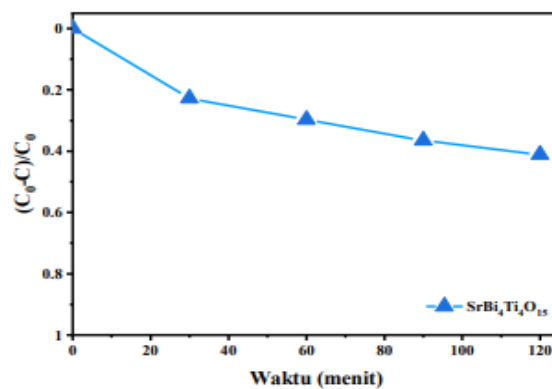
Senyawa Aurivillius lapis empat $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dilaporkan mempunyai aktivitas fotokatalis yang baik dengan energi celah pita sebesar 3,14 eV. Perbedaan energi celah pita yang diperoleh sempel dengan energi celah pita $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ yang dilaporkan sebelumnya disebabkan oleh adanya fasa pengotor dalam sampel. Namun uji aktivitas fotokatalitik persentase degradasinya meningkat hingga 47,8% dalam waktu 120 menit, sehingga hasil ini menunjukkan bahwa fotokatalis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ memiliki hasil yang bagus untuk aktivitas fotokatalitik (Al-Abror, dkk. 2022).



Gambar 2.4 (a) Spektrum UV-Vis DRS, dan (b) plot-Tauc $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ (Al-Abror, dkk. 2022).



Gambar 2.5 Persentase degradasi metilen biru oleh $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ (Al-Abror, dkk. 2022).



Gambar 2.6 Aktivitas fotokatalitik degradasi RhB senyawa BTO (He, dkk., 2014).

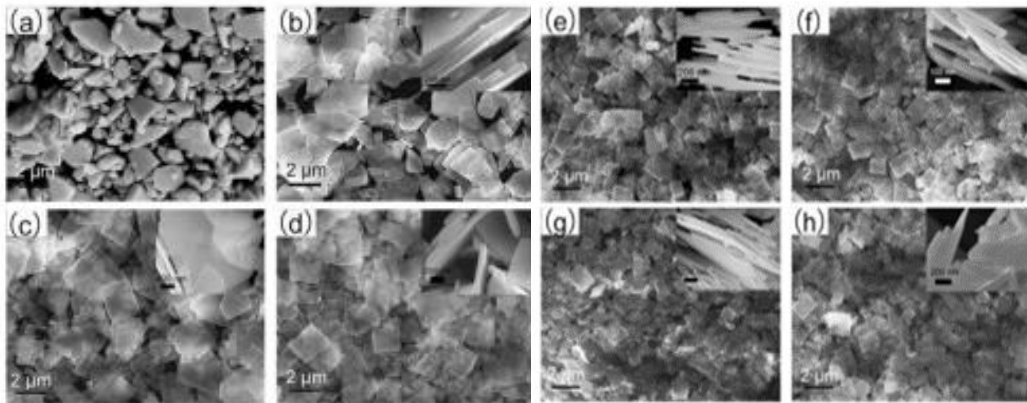
Selain itu, Haikal dan Prasetyo (2021) juga melaporkan bahwa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ yang disintesis menggunakan metode lelehan garam memiliki energi celah pita sebesar 3,02 eV. Pada hasil uji aktivitas fotokatalitik $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dalam mendegradasi larutan Rhodamine-B yang ditampilkan pada Gambar 2.6 diketahui bahwa senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ mempunyai kemampuan dalam mendegradasi Rhodamine-B yaitu sebesar 41,10% dalam waktu 120 menit. Namun, fotokatalis sifat senyawa Aurivillius empat lapis yang dilaporkan masih terbatas.

2.4 Pengaruh Morfologi Partikel Terhadap Aktivitas Fotokatalitik

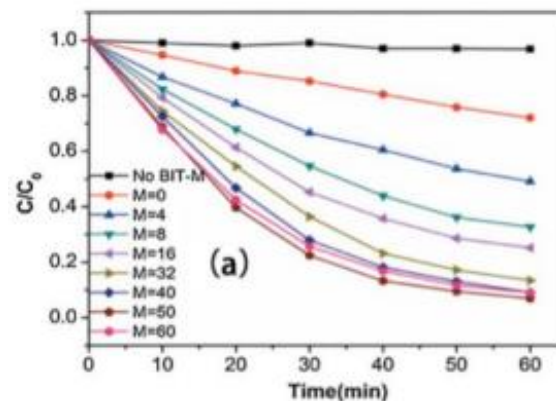
Aktivitas fotokatalitik bahan semikonduktor dipengaruhi oleh morfologi dan ukurannya. Area yang luas, struktur berongga yang tipis dan tersusun rapi dapat meningkatkan penyerapan cahaya pada aktivitas fotokatalitik. Sifat ini mempercepat migrasi pasangan elektron dan lubang ke permukaan dan mengurangi penggunaan dosis fotokatalis (He, dkk., 2008).

He, dkk., (2014) mensintesis senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ (disimbolkan BTO) menggunakan metode lelehan garam campur NaCl dan KCl dan dibandingkan dengan metode reaksi solid state. Gambar SEM dari sampel yang diperoleh dari sintesis NaCl dan KCl dengan metode lelehan garam campur diberikan pada Gambar 2.7 (b-h). Hasil didapat bahwa morfologi

senyawa BTO-0 (metode padatan) adalah *irregular shape*, sedangkan senyawa BTO-M (M=4, 8, 16, 32, 40, 50, 60) yang disintesis dengan metode lelehan garam memiliki morfologi *plate-like* dengan keteraturan meningkat seiring konsentrasi garam meningkat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Dilaporkan senyawa BTO yang disintesis dengan metode lelehan garam memiliki aktivitas fotokatalitik degradasi RhB yang lebih baik dibandingkan BTO dengan metode padatan, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.8. aktivitas fotokatalitik meningkat seiring meningkatnya konsentrasi garam sampai M: 50, sedangkan untuk BTO-60 aktivitasnya tidak lebih baik daripada BTO-50. Perbedaan aktivitas fotokatalitik tersebut dikarenakan keteraturan morfologinya dan juga luas permukaan yang dihasilkan.



Gambar 2.7 Morfologi partikel BTO (a) menggunakan metode reaksi keadaan padatan dan menggunakan metode lelehan garam: (b) BTO-4, (c) BTO-8, (d) TO-16, (e) BTO-32, (f) BTO-40 (g), BTO-50, dan (h) BTO-60 (He, dkk., 2014).



Gambar 2.8 Aktivitas fotokatalitik degradasi RhB senyawa BTO (He, dkk. 2014).

Yang, dkk. (2018) telah mensintesis material fotokatalis Bi_2WO_6 dengan menggunakan metode lelehan garam (M- Bi_2WO_6) dan metode hidrotermal (H- Bi_2WO_6). Material *nanosheet* M- Bi_2WO_6 yang dilaporkan memiliki aktivitas fotokatalitik lebih baik dengan efisiensi fotodegradasi RhB sebesar 97,13% dibawah radiasi sinar matahari selama 180 menit, sedangkan H- Bi_2WO_6 hanya sebesar 86,88% begitupun pada fotodegradasi larutan TC, M- Bi_2WO_6 memiliki aktivitas fotodegradasi yang lebih baik dari pada H- Bi_2WO_6 dengan

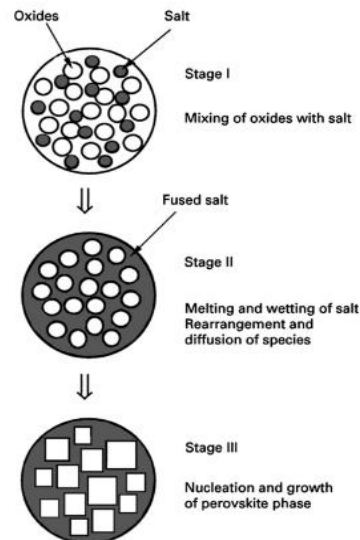
perbandingan efisiensinya yaitu 97,30%:78,58%. Morfologi $M\text{-Bi}_2\text{WO}_6$ menjadi lebih seragam dengan bertambahnya konsentrasi garam, sehingga didapat morfologi paling baik pada perbandingan prekursor dan garam yaitu 1:20. Sedangkan efisiensi disinfeksi fotokatalisis bergantung pada pH, sifat kimia media suspensi bakteri, jenis fotokatalis, ukuran, morfologi permukaan, luas permukaan spesifik, struktur, potensial zeta, energi permukaan tinggi, defisiensi ligan atom, konsentrasi, intensitas cahaya, dan waktu perawatan serta sifat organisme target (Regmi, dkk. 2018). Sehingga morfologi partikel sangat berpengaruh terhadap aktivitas antibakteri.

2.5 Metode Sintesis dengan Lelehan Garam

Metode lelehan garam merupakan metode preparasi serbuk keramik yang melibatkan penggunaan lelehan garam untuk media preparasi. Garam yang memiliki titik leleh rendah ditambahkan kedalam reaktan dan dipanaskan hingga melebihi titik leleh dari garam tersebut. Kemudian garam yang leleh ini akan digunakan sebagai pelarut (Sikalidis, 2011).

Pada umumnya, metode lelehan garam ini melewati beberapa proses. Proses pertama yaitu proses pencampuran prekursor dengan garam, dimana perbandingan jumlah garam lebih banyak dari pada jumlah prekursor. Selanjutnya yaitu proses homogenasi yang dilakukan dalam krusibel alumina dan dipanaskan hingga suhu di atas suhu eutektik dan didinginkan. Kemudian setelah dingin, produk dicuci menggunakan air hangat untuk memisahkan garam dari prekursor, yang selanjutnya dikeringkan untuk mendapat rodok kering (Kimura, 2011).

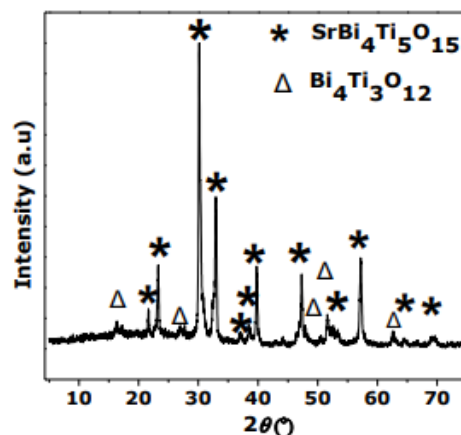
Tahap pemrosesan utama dari metode MSS untuk sistesis bubuk oksida perovskit diilustrasikan secara skematis pada Gambar 2.9. Pada tahap 1, oksida reaktan dan prekursor lain yang sesuai senyawa yang dicampur dengan garam yang diinginkan (NaCl , KCT) atau campuran eutektik dari garam (NaCl-KCl , NaOH-KOH , $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$, $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-K}_2\text{SO}_4$, $\text{Li}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{SO}_4$). Pada tahap 2, campuran dipanaskan pada suhu diatas titik leleh media garam untuk membentuk fluks cair. Pada suhu ini, molekul prekursor menyebar, berdisosiasi, menyusun ulang, dan kemudian berdifusi dengan cepat ke seluruh garam. Pada tahap 3, partikel produk mulai berinti dan tumbuh melalui proses pengendapan larutan. Karakteristik bubuk produk di kontrol dengan memilih suhu dan durasi pemanasan. Massa yang bereaksi didinginkan hingga suhu kamar dan dicuci dengan pelarut yang sesuai (air) untuk menghilangkan garam. Serbuk oksida perovskit kompleks dapat diperoleh setelah pengeringan, dan mereka memiliki beberapa karakteristik unik dibandingkan dengan yang diperoleh dengan metode lain seperti reaksi *solid state*, sistesis pembakaran, dan metode sol-gel (Xue, dkk., 2017).



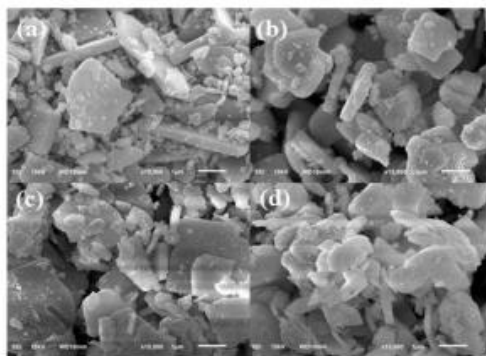
Gambar 2.9 Mekanisme metode MSS pada sintesis bubuk oksida perovskit (Xue, dkk.,2017).

2.6 Sintesis Senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan Metode Lelehan Garam

Penggunaan metode lelehan garam untuk sintesis senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ telah dilaporkan beberapa pihak. Al-Abror, dkk (2022) telah berhasil mensintesis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ menggunakan metode lelehan garam campuran NaCl-KCl dengan variasi suhu 700, 750, dan 800°C . Hasil yang ditampilkan pada Gambar 2.10 menunjukkan bentuk puncak difraksi yang tajam menandakan kristalinitas sampel baik. Namun, difraktogram menunjukkan puncak tambahan yang menandakan adanya pengotor pada $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$. Pada Gambar 2.11 (a) menunjukkan bahwa senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ yang disintesis dengan MSS mempunyai morfologi berbentuk *plate-like* dan partikel-partikel yang menggumpal. Sedangkan pada Gambar 2.11 (b) menampilkan spektra EDS yang menunjukkan unsur penyusun (Sr, Bi, Ti, dan O) yang ada dalam sampel dan tidak ada unsur lain yang menunjukkan pengotor (Al-Abror, dkk.,2022).



Gambar 2.10 Difraktogram $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ (Al-Abror, dkk. 2022).

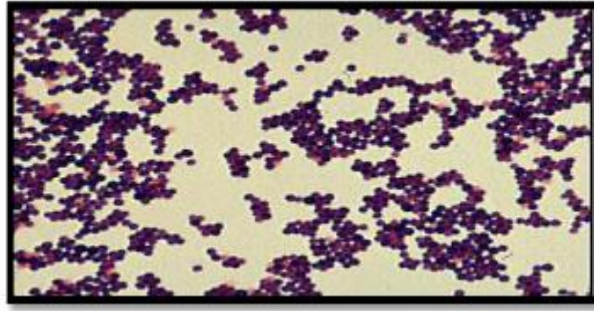


Gambar 2.11 Mikrograf SEM dari $\text{SrBi}_4\text{Ti}_{4-n}\text{V}_n\text{O}_{15}$: (a) $n=0$; (b) $n=0.05$, (c) $n=0.1$, dan (d) $n=0.15$ (Puspita, dkk. 2022).

Puspa, dkk. (2022) juga berhasil mensintesis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_{4-n}\text{V}_n\text{O}_{15}$ menggunakan garam KCl cair yang mengkrstal di ruang grup $A2_1am$ dan memiliki morfologi *plate-like*. Pada gambar 2.11 menunjukkan bahwa aglomerasi partikel menurun dengan meningkatnya konsentrasi dopan V karena doping V pada Ti meningkatkan dispersi partikel. Akibatnya, dibutuhkan banyak energi untuk pertumbuhan kristal untuk mengurangi energi yang terakumulasi pada permukaan sampel. Hal ini akan menghasilkan keadaan yang lebih stabil dan penurunan aglomerasi. Sehingga energi celah pita pada $\text{SrBi}_4\text{Ti}_{4-n}\text{V}_n\text{O}_{15}$ ($n=0, 0.05, 0.1$ dan 0.15) pada kisaran $3,04$ eV (408 nm) hingga $2,84$ eV (436 nm) dapat memberikan keuntungan dalam aplikasi fotokatalis karena mampu bekerja pada rentang panjang gelombang cahaya yang lebih luas.

2.7 Bakteri *Staphylococcus aureus*

Bakteri dalam Bahasa latin adalah "*bacterium*" yang berarti kumpulan organisme yang tidak memiliki nucleus. Organisme tersebut sangat kecil sehingga sulit dilihat, tetapi dapat dideteksi dengan mikroskop. Bakteri memiliki dinding sel yang sangat tipis dan elastis dapat bekerja untuk mempertahankan bentuk sel dan melindungi terhadap sel bakteri. Menurut Sharah dan Rahman (2015) disebutkan bahwa dalam bakteri ada kurva pertumbuhan yang digunakan untuk menentukan tingkat pertumbuhan sel, pengaruh lingkungan pada laju pertumbuhan dan informasi tentang tahap kehidupan bakteri. Pertumbuhan bakteri/fase pertumbuhan merupakan fase pembelahan sel bakteri yang melewati beberapa fase yaitu fase *lag*, fase *logaritmik/eksponensial*, fase diam dan fase kematian (Riadi, 2016). Bakteri berdasarkan perbedaan dalam menyerap zat warna dibagi menjadi dua kelompok yaitu, bakteri gram positif dan bakteri gram negatif yang biasa digunakan untuk mengetahui perbedaan dasar struktur dinding sel bakteri. Bakteri gram positif menyerap warna pertama yaitu kristal violet sehingga menjadi ungu, sedangkan bakteri gram negative menyerap warna kedua yaitu safranin dan menyebabkannya menjadi merah (Dwijoseputro, 1982).

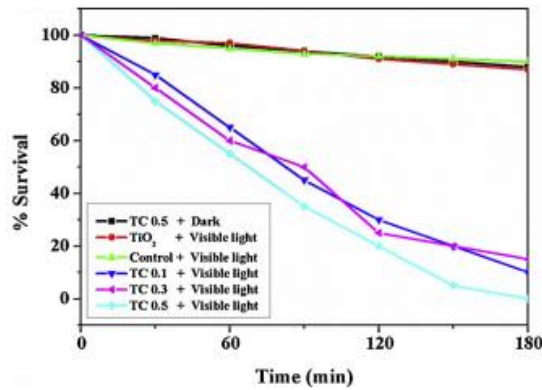


Gambar 2.12 Bakteri *Staphylococcus aureus* (Todar, 2008).

Salah satu contoh bakteri gram positif adalah bakteri *Staphylococcus aureus* yang ditunjukkan pada Gambar 2.12. Bakteri ini bersifat patogen pada manusia. *Staphylococcus aureus* berbentuk bulat dan berdiameter 0,8-1,0 mikron, tidak bergerak dan tidak berspora (Radji, 2011). Bakteri ini mempunyai dinding sel luar yang tebal terbuat dari polimer kompleks yang disebut peptidoglikan. Kandungan lipidnya rendah yaitu sebesar 1-4% (Pelczar dan Chan, 2005). Kandungan peptidoglikan yang dimiliki lebih tinggi dari bakteri gram negatif seperti *E. coli*. Sementara untuk kandungan lipid pada dinding sel bakteri gram positif lebih rendah dari pada dinding sel bakteri gram negative (Lay, 1992).

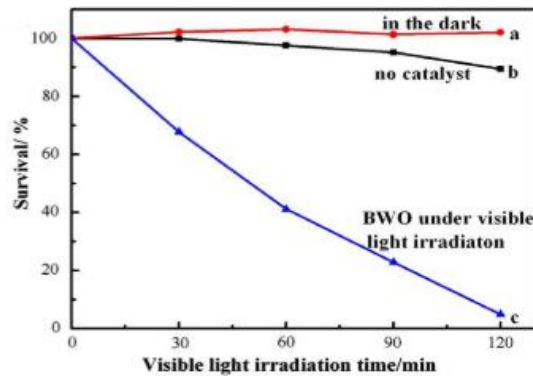
2.8 Senyawa Fotokatalis Aurivillius sebagai Antibakteri

Antibakteri merupakan senyawa yang digunakan untuk mengendalikan pertumbuhan bakteri yang bersifat merugikan. Antibakteri digunakan untuk menghambat (bakteriostatik) dan/atau membunuh bakteri (bakteriosida) penyebab infeksi yang masuk ke dalam jaringan. Kemampuan fotokatalis sebagai antibakteri telah dilaporkan oleh beberapa pihak. Valmiki, dkk., (2009) melaporkan aktivitas fotokatalitik antibakteri pada senyawa TiO₂ NPs dan TC NCs di bawah cahaya tampak. Dalam percobaan gelap, suspensi sel bakteri dengan TC NCs dan TiO₂ NPs ditempatkan di inkubator yang menunjukkan tidak adanya efek bakterisida pada mikroorganisme. Di bawah iradiasi cahaya tampak dengan TiO₂ NPs, pertumbuhan bakteri juga tidak terhambat. Dalam metode inaktivasi fotokatalitik, TiO₂ NPs dalam keadaan telanjang di bawah iradiasi sinar UV menunjukkan pembunuhan optimal sel bakteri dalam waktu 90 menit sebagai tingkat yang lebih tinggi dibandingkan hanya dengan sinar UV. Pada iradiasi cahaya tampak tanpa TC NCs, tidak ada sel bakteri yang dapat diamati. Ini jelas menunjukkan bahwa iradiasi cahaya tidak menunjukkan efek fotokatalitik pada mikroorganisme dengan tidak adanya TC NCs. Pada TC 0,5 NCs menunjukkan bahwa bakteri *Staphylococcus aureus* dapat menghambat 100% dalam waktu 180 menit di bawah iradiasi cahaya tampak karena tidak ada koloni yang tumbuh di media *Muller-Hinton* setelah 24 jam inkubasi. Persen kelangsungan hidup *Staphylococcus aureus* di bawah cahaya tampak yang ada pada TC NCs ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 % kelangsungan hidup *Staphylococcus aureus* dengan sampel TC NCs sebagai fungsi waktu (Valmiki, dkk., 2009)

Ren, dkk. (2009) melaporkan bahwa senyawa Aurivillius Bi₂WO₆ mempunyai kemampuan inaktivasi bakteri *Escherichia coli* dibawah iradiasi cahaya tampak ($\lambda > 420$). Gambar 2.14 menunjukkan bahwa bakteri *E. coli* hampir sepenuhnya dapat dinonaktifkan dalam waktu 120 menit dibawah iradiasi cahaya tampak dengan persentase aktivitasnya sebesar 95% dan konsentrasi Bi₂WO₆ 0,5 mg/ml. sedangkan dalam kondisi gelap maupun tanpa katalis tidak menunjukkan adanya inaktivasi bakteri, yang mengindikasikan bahwa fotokatalis tersebut tidak bersifat toksik terhadap bakteri *E. coli*.



Gambar 2.14 Inaktivasi bakteri *E. coli* dalam (a) Bi₂WO₆ dalam gelap (0,5mg/mL), (b) tidak ada katalis dan (c) dibawah iridiasi cahaya tampak (0,5 mg/mL) (Ren, dkk., 2009)

2.9 Pemanfaatan Senyawa SrBi₄Ti₄O₁₅ sebagai Antibakteri dalam Perspektif Islam

Al-Qur’an merupakan mukjizat yang diberikan oleh Allah Swt. yang tidak bertentangan dengan penemuan-penemuan baru berdasarkan penelitian ilmiah. Hal ini dijelaskan dalam firman Allah Swt. dalam surat Fussilat ayat 53:

سَنُرِيهِمْ آيَاتِنَا فِي الْأَفَاقِ وَفِي أَنفُسِهِمْ حَتَّىٰ يَتَبَيَّنَ لَهُمْ أَنَّهُ الْحَقُّ ۗ أَوَلَمْ يَكْفِ بِرَبِّكَ أَنَّهُ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ شَهِيدٌ

Artinya: “Kami akan memperlihatkan kepada mereka tanda-tanda (kebesaran) Kami di segenap penjuru dan pada diri mereka sendiri, sehingga jelaslah bagi mereka bahwa Al-Qur’an itu adalah benar. Tidak cukupkah (bagi kamu) bahwa Tuhanmu menjadi saksi atas segala sesuatu?”

Menurut Shihab (2002) dalam Tafsir Al-Misbah dijelaskan orang-orang musyrik yang ragu-ragu kepada Al-Qur'an dan Rasulullah itu akan diperlihatkan bukti-bukti kebenaran baik melalui benda-benda yang ada di belahan langit dan bumi maupun yang ada di dalam diri mereka. Adanya fakta-fakta ilmiah yang terdapat di dalam al-Qur'an merupakan mukjizat yang berfungsi sebagai bukti tentang keberadaan agama Islam itu sendiri, diantaranya yaitu mukjizat tentang cahaya. Cahaya merupakan salah satu ciptaan Allah Swt. yang mempunyai banyak sekali manfaat. Allah Swt. berfirman dalam surat An Nur ayat 35 yaitu:

اللَّهُ نُورُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ ۚ مَثَلُ نُورِهِ كَمِشْكَاةٍ فِيهَا مِصْبَاحٌ ۚ الْمِصْبَاحُ فِي زُجَاجَةٍ ۚ الزُّجَاجَةُ كَأَنَّهَا كَوْكَبٌ دُرِّيٌّ يُوقَدُ مِنْ شَجَرَةٍ مُبَارَكَةٍ زَيْتُونَةٍ لَا شَرْقِيَّةٍ وَلَا غَرْبِيَّةٍ يَكَادُ زَيْتُهَا يُضِيءُ وَلَوْ لَمْ تَمْسَسْهُ نَارٌ ۚ نُورٌ عَلَى نُورٍ ۗ يَهْدِي اللَّهُ لِنُورِهِ مَن يَشَاءُ ۗ وَيَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَالَ لِلنَّاسِ ۗ وَاللَّهُ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ

Artinya: “Allah (Pemberi) cahaya (kepada) langit dan bumi. Perumpamaan cahaya Allah, adalah seperti sebuah lubang yang tak tembus, yang di dalamnya ada pelita besar. Pelita itu di dalam kaca (dan) kaca itu seakan-akan bintang (yang bercahaya) seperti mutiara, yang dinyalakan dengan minyak dari pohon yang berkahnya, (yaitu) pohon zaitun yang tumbuh tidak di sebelah timur (sesuatu) dan tidak pula di sebelah barat(nya), yang minyaknya (saja) hampir-hampir menerangi, walaupun tidak disentuh api. Cahaya di atas cahaya (berlapis-lapis), Allah membimbing kepada cahaya-Nya siapa yang dia kehendaki, dan Allah memperbuat perumpamaan-perumpamaan bagi manusia, dan Allah Maha Mengetahui segala sesuatu.”

Dalam *Tafsir al-Misbah*, Quraish Shihab memaknai kata *nur* berdasarkan beberapa aspek yaitu aspek bahasa, kehidupan manusia dan sifat benda langit. Secara majasi, ia bermakna sesuatu yang menjelaskan hal-hal yang masih abstrak. Semua hal yang bersifat indriawi, seperti pendengaran, rasa serta akal pun dapat disebut dengan *nur*. Karena akal dapat berpikir dan menganalisis hal-hal yang bersifat abstrak (Shihab, 2002). Begitu juga dalam mendapatkan cahaya dalam arti fisis, manusia juga harus berusaha dengan semua indranya untuk mendapatkan cahaya sehingga bisa mengungkap misteri yang terkandung di alam ini. Seperti senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ yang dapat dijadikan sebagai antibakteri melalui proses fotokatalis dengan bantuan sinar atau cahaya.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober-Maret 2024 yang bertempat di Laboratorium Kimia Fisik dan Laboratorium Biokimia Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi Malang, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan antara lain seperangkat alat gelas, tanur, mortar agate, neraca analitik, hot plate, oven, cawan petri steril, pipet volume steril 1 ml, tabung reaksi steril, ose bulat, rak tabung reaksi, bunsen, vortex, inkubator, difusi cakram, label, korek api, autoklaf, seperangkat instrument XRD, seperangkat instrument SEM, seperangkat instrumen UV-Vis DRS, dan reactor fotokatalis dengan lampu *blacklight blue*.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan antara lain TiO_2 (Sigma-Aldrich, 99,9% serbuk), Bi_2O_3 (Sigma-Aldrich, 99,9% serbuk), SrCO_3 (Sigma-Aldrich, 99,9% serbuk), NaCl (Aldrich; 99,9%; serbuk), KCl (Aldrich; 99,9%; serbuk), aseton, larutan AgNO_3 (Aldrich; 2,5% larutan), akuades steril, blank dish (kontrol), Nutrient broth (Nb), Nutrient agar (Na), NaCl, aluminium foil, dan kapas.

3.3 Tahapan Penelitian

a. Sintesis

Proses ini mencakup pengadaan alat dan bahan, perhitungan jumlah bahan, penghalusan bahan, dan homogenisasi bahan. Serta tahapan sintesis dengan metode lelehan garam dengan suhu 750 dan 820°C menggunakan garam campuran NaCl-KCl dengan rasio mol 1 : 7 selama 6 jam, selanjutnyadilakukan pendinginan hingga suhu ruang, pencucian garam menggunakan air panas, dan produk dikeringkan menggunakan oven pada suhu 75°C sampai kering.

b. Karakterisasi

Proses ini mencakup karakteristik dan analisis produk hasil sintesis menggunakan instrumen XRD yang berfungsi untuk mengidentifikasi struktur yang terbentuk, instrumen SEM berfungsi untuk mengetahui struktur morfologi unsur, dan instrumen UV-VIS DRS untuk mengetahui energi celah pita dari material.

c. Tahap Uji Aktivitas Antibakteri

Proses ini mencakup pemeliharaan bakteri, pembuatan inokulum, dan uji aktivitas antibakteri pada bakteri Gram-positif (*Staphylococcus aureus*) dengan metode TPC.

3.4 Prosedur Kerja

3.4.1 Preparasi Bahan

Dalam penelitian senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ disintesis sebanyak 3 gram. Banyaknya prekursor yang digunakan disesuaikan dengan perhitungan stoikiometri yang dirangkum pada Tabel 3.1. Campuran prekursor dihomogenkan dengan cara digerus menggunakan mortar agate selama 1 jam dan ditambahkan dengan aseton tetes per tetes secukupnya untuk menghomogenkan sampel.

Tabel 3.1 Komposisi prekursor senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$

Target senyawa	Massa target (gram)	Massa pereaksi (gram)				
		SrCO_3	Bi_2O_3	TiO_2	NaCl	KCl
$\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	3	0,32865	2,06326	0,70729	0,90574	1,15539

3.4.2 Sintesis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan Metode Lelehan Garam

Masing-masing campuran sampel hasil preparasi bahan dicampurkan dengan garam NaCl-KCl dengan perbandingan mol 1 : 7 (rangkuman perhitungan stoikiometri ditampilkan pada Tabel 3.1). Campuran tersebut di homogenkan dengan digerus dalam mortar agate selama 1 jam dan ditambahkan aseton tetes per tetes secukupnya. Kemudian campuran dipanaskan pada suhu 750 dan 820°C selama 6 jam. Hasil produk dikeluarkan dari tanur dan diletakkan di atas kertas saring, kemudian disaring menggunakan corong Buchner. Sampel dicuci beberapa kali menggunakan aquades panas untuk melarutkan garam alkali. Untuk mengidentifikasi garam NaCl maka diuji dengan menggunakan larutan AgNO_3 . Kemudian produk dikeringkan menggunakan oven pada suhu 75°C sampai kering.

3.4.3 Karakterisasi Hasil Sintesis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan X-Ray Diffraction

Karakterisasi senyawa perovskit menggunakan XRD digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan mengidentifikasi fasa produk sintesis. Karakterisasi dilakukan dengan menempatkan sampel serbuk kurang lebih 0,5g dalam bentuk pelet dan diletakkan pada sampel *holder*. Pengukuran dilakukan pada rentang $2\theta:20-80^\circ$.

3.4.4 Karakterisasi Hasil Sintesis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan Scanning Electron Microscopy

Karakterisasi senyawa perovskit menggunakan SEM untuk mengetahui morfologi, komposisi senyawa, distribusi pertumbuhan kristal, dan ukuran partikel produk hasil sintesis. Karakterisasi dilakukan dengan menempatkan sampel serbuk dalam bentuk pelet. Sampel diletakkan pada sampel holder dan dikarakterisasi dengan perbesaran 3.000-20.000 kali.

3.4.5 Karakterisasi Hasil Sintesis SrBi₄Ti₄O₁₅ dengan UV-Vis *Diffuse Reflectance Spectroscopy*

Karakterisasi senyawa perovskit menggunakan DRS untuk mengetahui besarnya energi celah pita (*band-gap energy*) dari produk hasil sintesis. Karakterisasi dilakukan dengan sampel dalam bentuk serbuk halus ditempatkan pada sampel *holder* dan diukur persentase reflektansinya pada rentang panjang gelombang 200-800 nm.

3.5 Analisis Data

3.5.1 Analisis Data *X-Ray Diffraction*

Data yang diperoleh dari hasil karakterisasi menggunakan XRD merupakan pola difraksi sinar-X yang selanjutnya akan dibandingkan dengan standar yang terdapat pada *database Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS). Dari data XRD dilakukan analisa (*refinement*) dengan perangkat lunak Rietica menggunakan metode *Le-Bail* yang bertujuan untuk mengidentifikasi data kristalografi. Selain itu dari data difraksi sinar-X juga dapat menunjukkan kristalinitas dan kemurnian hasil sintesis.

3.5.2 Analisis Data *Scanning Electron Microscopy*

Data yang diperoleh dari hasil karakterisasi menggunakan SEM berupa morfologi, ukuran partikel, dan komposisi unsur-unsur penyusun senyawa SrBi₄Ti₄O₁₅.

3.5.3 Analisis Data UV-Vis *Diffuse Reflectance Spectroscopy*

Data yang diperoleh dari hasil karakterisasi menggunakan DRS berupa data reflektansi. Data reflektansi dianalisa menggunakan persamaan Kubelka-Munk yang ditunjukkan pada Persamaan 3.1.

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

Dengan $F(R)$ adalah faktor Kubelka-Munk, K adalah koefisien absorbs molar, S adalah koefisien scattering, dan R adalah nilai reflektan yang diukur. Nilai energi celah pita ditentukan dengan membuat plot antara energi foton ($h\nu$) (sebagai sumbu x) dan $(F(R).h\nu)^{1/2}$ (sebagai sumbu y). Energi foton ($h\nu$) dapat dihitung dari data panjang gelombang yang terukur, dimana $h\nu = hc/\lambda$ dengan c adalah tetapan cahaya dan h adalah tetapan Planck. Energi celah pita dihitung secara regresi linier pada nilai x ($h\nu =$ energi celah pita) ketika $y=0$.

3.6 Uji Antibakteri

3.6.1 Pembuatan Media *Nutrient Agar (NA)*

Nutrient agar ditimbang sebanyak 1 gram, kemudian dilarutkan pada 100 mL akuades sambil dipanaskan hingga mendidih, kemudian dipindahkan pada empat erlenmeyer dan disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C.

3.6.2 Pembuatan Media *Nutrient Broth (NB)*

Nutrient Broth untuk membuat larutan inokulum bakteri. Media dibuat dengan cara *Nutrient Broth* dilarutkan dalam akuades, lalu dimasukkan kedalam erlenmeyer dan ditutup menggunakan kapas. Kemudian suspensi dipanaskan hingga mendidih dan kemudian didinginkan pada suhu ruang. Media kemudian disterilkan dalam autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit.

3.6.3 Peremajaan Bakteri

Peremajaan dilakukan menggunakan metode gores. Biakan *Staphylococcus aureus* diambil satu ose kemudian diinokulasi dengan digoreskan pada media *Nutrient Agar* secara aseptik. Kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam.

3.6.4 Pembuatan Inokulum *Staphylococcus aureus*

Pembuatan inokulum ini dilakukan dengan memindahkan dua ose biakan *Staphylococcus aureus* ke dalam 100 mL *Nutrient Broth*, kemudian diinkubasi pada suhu 37°C dengan selama 24 jam sampai. Kekeruhan inokulum sel *Staphylococcus aureus* yang digunakan disetarakan dengan *optical density* (OD) 0,3 pada panjang gelombang 600 nm.

3.6.5 Uji Aktivitas Antibakteri Senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus*

3.6.5.1 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.

3.6.5.2 Uji Aktivitas Antibakteri dalam Keadaan Gelap

Inokulum *Staphylococcus aureus* dengan OD 0,3 sebanyak 30 mL. Distirrer selama 60 menit, kemudian diinkubasi dalam keadaan gelap pada suhu 37°C selama 24 jam.

3.6.5.3 Uji Aktivitas Antibakteri dengan Radiasi Sinar UV

Inokulum *Staphylococcus aureus* dengan OD 0,3 sebanyak 30 mL. Kemudian dipapar dengan lampu UV 40 W dan dioptimasi selama 60 menit serta dilakukan stirrer selama perlakuan.

3.6.5.4 Uji Aktivitas Antibakteri Senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan Radiasi Sinar UV

Inokulum *Staphylococcus aureus* dengan OD 0,3 sebanyak 30 mL, kemudian ditambahkan $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ sesuai perlakuan dioptimasi dengan variasi sebanyak 10 mg; 20 mg; dan 30 mg. Dihomogenkan. Sampel dipapar dengan lampu UV 40 W dan dioptimasi selama 60 menit serta dilakukan stirrer selama perlakuan. Dihitung bakteri *Staphylococcus aureus* yang mati dengan metode *pour plate* (metode tuang). Penentuan aktivitas antibakteri secara kuantitatif dilakukan dengan menghitung presentase reduksi biakan bakteri %R dihitung berdasarkan persamaan 3.2.

$$R = 100 \frac{(B-A)}{B} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dengan R merupakan % reduksi pertumbuhan bakteri A merupakan jumlah bakteri *Staphylococcus aureus* yang tumbuh dengan material dan iradiasi lampu UV, B merupakan jumlah *Staphylococcus aureus* yang tumbuh tanpa iradiasi dan tanpa material SrBi₄Ti₄O₁₅.

3.6.5.5 Perhitungan Jumlah Sel Bakteri

Tabung reaksi disiapkan sebanyak 7 buah diisi dengan NaCl 0,9% steril sebanyak 9 mL. 5 mL sampel dimasukkan kedalam masing-masing tabung reaksi. Inokulum bakteri *Staphylococcus aureus* dalam media *Nutrient Broth* diambil sebanyak 1 mL, dihomogenkan dengan *vortex* dan dihitung sebagai pengenceran pertama (10-1). Larutan pada tabung pertama dipipet sebanyak 1 mL dan dimasukkan kedalam tabung reaksi kedua, diperoleh pengenceran tingkat kedua (10-2). Demikian seterusnya hingga pengenceran kesepuluh (10-10). Metode yang digunakan untuk menghitung jumlah sel bakteri adalah metode TPC. Masing-masing larutan pengenceran diambil sebanyak 1 mL dan dimasukkan kedalam cawan petri yang berisi media *Nutrient Agar*. Cawan petri digoyangkan hingga merata dan didiamkan hingga membeku, kemudian diinkubasi dengan posisi terbalik pada suhu 37°C selama 24 jam. Cara menghitung, dipilih cawan petri yang memiliki koloni antar 30-300. Jika perbandingan antara kedua larutan 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. Perhitungan jumlah bakteri menggunakan persamaan 3.3.

$$\text{Perhitungan jumlah bakteri} = \text{jumlah koloni tiap cawan} \times \frac{1}{f_p} \text{ cfu} \dots\dots\dots(3.3)$$

Dengan f_p merupakan faktor pengenceran yang dirumuskan pada persamaan 3.4. Faktor pengenceran = pengenceran (x) jumlah yang diencerkan.....(3.4)

BAB IV

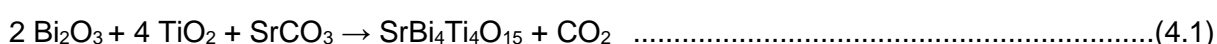
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan uji aktivitas antibakteri terhadap bakteri *Staphyococcus aureus* dengan menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC) pada senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ yang diperoleh dari hasil sintesis lelehan garam campuran NaCl-KCl dengan perbandingan mol prekursor dan garam 1:7:7, kemudian dikalsinasi pada suhu 750 °C selama 6 jam dan dilanjutkan pada suhu 820 °C selama 6 jam. Hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan (a) XRD untuk mengidentifikasi fasa dan struktur yang terbentuk; (b) SEM untuk mengetahui struktur morfologi dan komposisi unsur serta ukuran partikel; dan (c) UV-Vis DRS untuk mengetahui energi celah pita.

4.1 Sintesis Senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan Metode Lelehan garam

Sintesis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan metode lelehan garam dilakukan dengan menggerus Prekursor SrCO_3 , Bi_2O_3 dan titanium oksida (TiO_2) serta garam NaCl-KCl selama 3 jam yang bertujuan untuk memperluas interaksi antar prekursor. Selama proses penggerusan ditambahkan aseton yang bertujuan untuk meningkatkan homogenitas dari prekursor. Aseton digunakan karena tidak dapat bereaksi dengan prekursor dan mudah menguap pada suhu ruang. Selanjutnya, sampel dikalsinasi diatas titik leleh dari garam pada suhu 750 °C selama 6 jam dan dilanjutkan pada suhu 820 °C selama 6 jam.

Terlihat pada Gambar 4.1 (a) sampel $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ sebelum proses kalsinasi berbentuk serbuk. Sedangkan, pada Gambar 4.1 (b) setelah proses kalsinasi sampel memadat yang dimungkinkan saat proses kalsinasi garam leleh dan memadat setelahnya. Reaksi yang terjadi ditampilkan pada persamaan 4.1.



Kemudian, dilakukan pencucian sampel menggunakan aquades yang dididihkan untuk menghilangkan garam dan diidentifikasi menggunakan larutan AgNO_3 pada filtrat hasil pencucian.

4.2 Karakterisasi Sampel Produk dengan XRD

Karakterisasi menggunakan teknik *X-ray diffraction* (XRD) digunakan untuk mengidentifikasi fasa dan struktur kristal produk Senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ hasil sintesis. Difraktogram senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dibandingkan dengan data standar $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ pada *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS) No. 000430973 dengan struktur kristal ortorombik dan grup ruang $A21am$ ditampilkan pada Gambar 4.2. Dari hasil perbandingan dapat dilihat bahwa puncak difraktogram sampel adalah tajam, hal ini mengindikasikan bahwa sampel mempunyai kristalinitas yang bagus. Puncak-puncak khas $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ditemukan pada 2θ : 13; 17,3; 21,5; 23,3; 30,3; 32,9; 39,5; 44,0; 47,3; 52,3; dan 57,4°. Hal tersebut menunjukkan bahwa senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ berhasil disintesis. Gambar 4.3 menunjukkan perbandingan

puncak difraktogram pada posisi $2\theta(^{\circ})$ dan intensitas (a.u). Dapat diketahui bahwa terjadi pola perbedaan intensitas di antara dua difraktogram hasil sampel. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan bidang kristal senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ berbeda dengan pertumbuhan bidang kristal pada data standar JCPDS No. 000430973. Hasil perbandingan dua difraktogram juga tidak ditemukan adanya puncak-puncak lain yang menunjukkan bahwa tidak adanya senyawa pengotor yang terbentuk. Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi sintesis cukup untuk memfasilitasi terjadinya reaksi.

4.3 Karakterisasi Hasil Sintesis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan SEM

Karakterisasi menggunakan instrumen SEM-EDS digunakan untuk menentukan morfologi partikel, ukuran partikel, dan komposisi unsur-unsur penyusun senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$. Morfologi partikel dari senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ hasil karakterisasi instrumen SEM ditunjukkan pada Gambar 4.4. Morfologi yang terbentuk pada senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ menggunakan garam campuran NaCl/KCl menunjukkan bahwa partikel $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ berbentuk *plate-like* merupakan ciri khas fasa Aurivillius (Zhao, dkk., 2014). Partikel *plate-like* terbentuk melalui dua tahap yang ditampilkan pada Gambar 4.4, yaitu tahap reaksi dan tahap pertumbuhan partikel. Pada tahap reaksi, partikel reaktan saling bereaksi dalam lelehan garam untuk membentuk inti partikel produk yang disebut nukleasi. Selanjutnya adalah tahap pertumbuhan partikel di mana inti kristal bereaksi membentuk matriks yang lebih besar (Li, dkk., 2016; Zhao, dkk., 2014). Hasil pengukuran distribusi ukuran partikel dengan bentuk morfologi *plate-like* menggunakan imageJ dapat dilihat pada Gambar 4.5. Hasil perhitungan distribusi partikel sampel $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ yang disintesis menggunakan garam campuran NaCl-KCl yang memiliki bentuk *plate-like* diperoleh rata-rata $80,5659 \pm 0,87233 \mu\text{m}$. Didapatkan distribusi partikel paling banyak pada rentang 50-150 μm . Namun, masih ditemukan adanya aglomerasi yang disebabkan karena tingginya derajat saturasi (kejenuhan) dalam reaksi serta karena tingginya viskositas garam sebagai medium reaksi (Tang, dkk., 2007; Kimura, 2011; Kikuchihara, dkk., 2012).

4.4 Karakterisasi Hasil Sintesis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan UV-Vis DRS

Karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS untuk mengetahui energi celah pita dari senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$. Spektra UV-Vis DRS hubungan antara nilai reflektansi (%R) dan panjang gelombang ditampilkan pada Gambar 4.5. Dapat dilihat bahwa nilai reflektansi (%R) yang tinggi pada panjang gelombang 395-800 nm. Plot Tauc untuk menghitung energi celah pita ditampilkan pada Gambar 4.6. Hasil penentuan energi celah pita senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ memiliki energi celah pita tidak langsung (*indirect*) sebesar 3,14 eV. Energi celah pita adalah energi yang diperlukan elektron untuk berpindah dari pita valensi (VB) $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ menuju ke pita konduksi (CB). Energi celah pita yang semakin kecil menyebabkan semakin mudahnya

eksitasi elektron dari tingkat rendah menuju tingkat yang lebih tinggi (Olimpiani & Astuti, 2016). Serapan energi celah pita pada panjang gelombang tersebut disebabkan oleh transisi elektronik dari orbital $2p$ O ke orbital $3d$ Ti (Prasetyo, 2020).

Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ memiliki energi celah pita 3,02 eV (Haikal, dkk., 2021). Apabila dibandingkan dengan energi celah pita pada penelitian ini yang disintesis dengan metode lelehan garam pada suhu dan waktu yang sama, namun dengan garam yang berbeda didapatkan struktur kristal yang sama dengan nilai energi celah pita yang berbeda yaitu 3,14 eV. Faktor penggunaan garam sintesis yang berbeda diduga dapat mempengaruhi ukuran partikel senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$. Madan, dkk (2018) menyatakan bahwa energi celah pita meningkat seiring dengan berkurangnya ukuran partikel karena jarak pasangan elektron-*hole* semakin dekat.

4.5 Uji Aktivitas Antibakteri Senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus*

Uji aktivitas antibakteri dilakukan dengan menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC). Bakteri yang digunakan dalam uji antibakteri ini adalah *Staphylococcus aureus* dengan nilai OD 0,1 setara dengan kepadatan sel bakteri sebesar 10^8 CFU/mL. Pengujian antibakteri dilakukan menggunakan senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan variasi konsentrasi 10; 20; dan 30 mg dalam kondisi gelap dan disinari cahaya ditampilkan pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.8, serta perhitungan dirangkum di Lampiran 5.

Hasil uji aktivitas antibakteri terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* ditampilkan pada Gambar 4.6 dan dirangkum pada Tabel 4.1. Gambar 4.6 menunjukkan jumlah koloni bakteri pada ruang terbuka didapatkan pertumbuhan bakteri tertinggi sebesar $19,5 \times 10^7$ CFU/mL. Hal ini dikarenakan bakteri tidak mengalami hambatan, sehingga mengalami pertumbuhan yang maksimal. Dari Gambar 4.6 menunjukkan bahwa pertumbuhan bakteri dengan cahaya dan tanpa cahaya serta tanpa adanya penambahan $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ mengalami pertumbuhan yang lebih sedikit dibanding dengan kondisi ruang terbuka. Hal tersebut dapat dimungkinkan karena sterilisasi yang cukup baik ataupun faktor eksperimen sehingga tidak terjadi kontaminasi dan pertumbuhan bakteri yang cukup kecil. Dimungkinkan pula diakibatkan dengan kondisi lingkungan lain terkait pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* seperti suhu, pH, dan asupan nutrisi. Faktor lain yang juga berhubungan yaitu cahaya UV. Secara umum cahaya UV memiliki sifat merusak sel mikroorganisme yang tidak mempunyai pigmen fotosintesa. Kerusakan yang disebabkan oleh sinar atau cahaya sinar ultraviolet dapat merusak sel dan menghambat pertumbuhan dari mikroorganisme (Sawardana, 1997).

Pada Gambar 4.6 juga dapat diketahui bahwa penambahan senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ yang dipapar cahaya UV membuat pertumbuhan bakteri menjadi jauh lebih kecil dengan persentase penghambatan sebesar 96,4; 96,4; dan 96,9% yang menunjukkan bahwa proses fotokatalis berkontribusi dalam pertumbuhan antibakteri sehingga angka yang diperoleh menjadi lebih

kecil. Mekanisme fotokatalis terjadi ketika semikonduktor dipapar oleh sinar atau foton maka electron akan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi yang mana proses tersebut memerlukan energi celah pita dan kemudian menghasilkan hole. Setelah electron dan hole terpisah masing masing akan mengalami proses reduksi dan oksidasi ke substrat. Elektron dan hole mampu menghasilkan ion reaktif yang dapat dimanfaatkan dalam proses deaktivasi dan penguraian kontaminan atau mikroorganisme merugikan. Elektron akan berinteraksi dengan udara atau oksigen menghasilkan radikal superoksida, sedangkan hole berinteraksi dengan molekul air membentuk radikal aktif hidroksil. Spesies oksigen reaktif (ROS) yang dihasilkan selama fotokatalisis pertama-tama akan merusak dinding sel mikroorganisme. ROS pertama memecah lapisan lipopolisakarida dari dinding sel kemudian menyebabkan serangan lapisan peptidoglikan, peroksidasi membran lipid dan oksidasi pada membran protein. Kerusakan lapisan ini menyebabkan ion kalium dari sel bakteri bocor, yang mempengaruhi kelangsungan hidup sel. Kebocoran ini menyebabkan hilangnya fungsi sel yang penting dan akhirnya kematian sel (Regmi, dkk., 2018).

4.6 Uji Aktivitas Antibakteri Senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ yang Diperoleh dengan Metode Lelehan Garam dalam Perspektif Islam

Allah SWT menciptakan segala sesuatu yang ada di langit dan bumi untuk kita jaga sebaik-baiknya. Namun, ada banyak kerusakan akibat penggunaan yang berlebih dan pembuangan sampah maupun limbah tidak pada tempatnya. Oleh karena itu, perlunya melakukan perubahan dan menjaga lingkungan. Seperti firman Allah dalam QS. ar Rad ayat 11:

لَهُ مُعَقِّبَاتٌ مِّن بَيْن يَدَيْهِ وَمِنْ خَلْفِهِ يَحْفَظُونَهُ مِنْ أَمْرِ اللَّهِ إِنَّ اللَّهَ لَا يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّىٰ يُعَيِّرُوهُ مَا بِأَنفُسِهِمْ ۗ وَإِذَا أَرَادَ اللَّهُ بِقَوْمٍ سُوءًا فَلَا مَرَدَّ لَهُ ۗ وَمَا لَهُمْ مِّن دُونِهِ مِن وَالٍ

Artinya:

“Baginya (manusia) ada malaikat-malaikat yang selalu menjaganya bergiliran, dari depan dan belakangnya. Mereka menjaganya atas perintah Allah. Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri”.

Amrullah, (2001) menjelaskan bahwa malaikat-malaikat sengaja disediakan oleh Allah untuk menjaga kita seluruh makhluk ini dengan bergiliran. Dalam ayat tersebut terdapat bunyi bahwa Allah tidak akan merubah nasib suatu kaum kalau tidak kaum itu sendiri yang terlebih dahulu mengubah nasibnya. Di situ terdapat ikhtiar manusia. Dan ikhtiar itu terasa sendiri oleh masing-masing kita. Kekayaan jiwa yang terpendam dalam batin kita. tidaklah akan menyatakan dirinya keluar. kalau kita sendiri tidak berikhtiar dan berusaha. Salah satu bentuk ikhtiar manusia dalam menjaga bumi dari banyaknya kontaminasi bakteri pada limbah dan air yaitu dengan mensistesis senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$.

Demikian pula, Allah tidak akan mengubah nasib suatu bangsa dari susah menjadi bahagia ataupun dari kuat menjadi lemah. Melainkan adanya usaha dari mereka sendiri untuk

mengubah keadaan. Selain itu, terdapat kata "gouma" yang bermakna perubahan. Suatu perubahan tidak dapat dilakukan sendiri (Shihab, 2002). Oleh sebab itu, penelitian ini merupakan salah satu bentuk usaha yang nantinya dapat memberikan informasi untuk mengatasi permasalahan lingkungan seperti pencemaran air oleh bakteri dengan penggunaan senyawa fotokatalis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$.

Sebelum terjadinya infeksi penyakit yang disebabkan oleh kontaminasi bakteri *Staphylococcus aureus* dalam limbah dan air. Maka dilakukan pencegahan, salah satunya dengan menghambat pertumbuhan bakteri agar bakteri tidak dapat tumbuh dengan maksimal. Seperti firman Allah dalam QS. asy Syuara ayat 80:

وَإِذَا مَرَضْتُ فَبُهِتَ الَّذِينَ

Artinya:

"Dan apabila aku sakit, Dialah Yang menyembuhkan aku"

Shihab (2002) menjelaskan bahwa segala sesuatu yang terpuji dan indah bersumber dari-Nya dan apa pun yang tercela atau negatif maka hendaknya terlebih dahulu dicari penyebabnya pada diri kita sendiri. Sakit seberat apa pun atau seringnya apa pun, fisik atau mental merupakan salah satu keniscayaan hidup manusia dan sesuatu yang tidak boleh dinyatakan bersumber dari Allah SWT. Sangat jelas bahwa kita harus introspeksi diri yang buruk itu bersumber pada diri kita dan adapun penyembuhan pada kita maka, *"Allah-lah yang memberi kesembuhan"*. Akan tetapi bukan berarti kita angkat tangan dari semua usaha, dengan adanya usaha atau upaya haruslah tetap dijalankan oleh manusia untuk menuju kesembuhan atau untuk menuju kehidupan yang lebih baik dari sebelumnya.

Salah satunya dengan senyawa fotokatalis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ yang dapat digunakan untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus*. Senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan energi celah pita sebesar 3,14 eV yang apabila disinari oleh cahaya UV dapat menghambat pertumbuhan bakteri yang cukup baik. Sehingga dapat digunakan untuk mengurangi bakteri yang terdapat pada limbah dan mengurangi angka infeksi penyakit akibat bakteri.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ telah berhasil disintesis menggunakan metode lelehan garam campuran NaCl/KCl tanpa ditemukan senyawa pengotor. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan bentuk morfologi yang didapatkan yaitu *plate-like* yang masih terdapat aglomerasi dengan luas area partikelnya relatif besar pada rentang $85,01179 \pm 5,0036 \mu\text{m}$. Hasil spektra UV-Vis DRS dengan perhitungan menggunakan persamaan Kubelka-Munk menunjukkan senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ memiliki energi celah pita sebesar 3,14 eV. Hasil uji aktivitas antibakteri senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ menunjukkan bahwa senyawa ini mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* dengan variasi konsentrasi 10; 20; dan 30 mg sebesar 96,4; 96,4; dan 96,9%, penurunan pertumbuhan pada kondisi dengan cahaya UV menunjukkan bahwa senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dapat menghambat pertumbuhan bakteri dengan mekanisme fotokatalis, hal ini menunjukkan bahwa proses fotokatalis berkontribusi dalam pertumbuhan antibakteri sehingga angka yang diperoleh menjadi lebih kecil.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan konsentrasi dan metode yang berbeda untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus*.

AFTAR PUSTAKA

- A. Shrinagar, A. Garg, R. Prasad, and S. Auluck. (2008). Structure and Phase Transitions in Aurivillius Phase Ferroelectrics. *Acta Crystallogr*, 368-375.
- Al-abror, M.L., Hastuti, Erna., dan Prasetyo, Anton. (2022). Molten Salt Synthesis of Photocatalyst Material $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ for Methylene Blue Degradation. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 17(2): 186.
- Arney, D., Porter, B., Greve, B., Maggard, P. A. (2008). New Molten-Salt Synthesis and Photocatalytic Properties of $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ Particles. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 199(2-3); 230-235.
- Chen, Zhiwu & Jiang, Hong & Jin, Wuliang & Shi, Chunkai. (2015). Enhanced photocatalytic performance over $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ nanosheets with controllable size and exposed {001} facets for Rhodamine B degradation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 180.
- Cheng, T., Sun, X., Xian, T., Yi, Z., Li, R., Wang, X., Yang, H. (2021). Tertbutylamine/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 Material*, 112, 110781.
- Dai, Z., Qin, F., Zhao, H., Ding, J., Liu, Y., Chen, R. (2016). Crystal Defect Engineering of Aurivillius Bi_2MoO_6 by Ce Doping for Increased Reactive Species production in photocatalysis. *ACS Catalysis*, 6(5): 3180-3192.
- Dwidjoseputro. (1982). *Dasar-dasar Mikrobiologi*. Malang: IKIP Malang.
- Garcia-Guaderrama, M., Fuentes, L., Montero Cabrera, M.E., Marquec-Luzera, A., Villafuerte-Castrejon, E. (2005). Molten salt synthesis and crystal structure of $\text{Bi}_5\text{Ti}_3\text{FeO}_{15}$. *Integr Ferroelectr*, 71, 233– 239.
- Ganguly, P., Byrne, C., Breen, A., & Pillai, S. C. (2018). Antimicrobial activity of photocatalysts: Fundamentals, mechanisms, kinetics and recent advances. *Applied Catalysis B: Environmental*, 225, 51–75.
- Haikal, F., Prasetyo, A., (2021). Uji Aktivitas Fotokatalis Senyawa Aurivillius Lapis Empat $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dalam Mendegradasi Rhodamine-B. *Al-Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, 8, 37-41.
- He, H., Yin, J., Li, Y., Zhang, Y., Qiu, H., Xu, J., Xu, T., dan 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. (2008). Review on Nanoscale Bi-Based Photocatalysts. *Nanoscale Horizons*, 3(5): 464-504.
- Kennedy, B. J., Zhou, Q., Ismunandar, Kubota, Y., dan Kato, K. (2008). Cation Disorder and Phase Transitions in the Four-Layer Ferroelectric Aurivillius Phases $\text{ABi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ (A=Ca, Sr, Ba, Pb). *Journal of Solid State Chemistry*, 181(6): 1377-1386.
- Khokar, Anita., Mahesh, M. L.V., James, A. R., Goyal, Parveen K., dan Sreevinas, K. (2013). Sintering Characteristics and Electrical Properties of $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ Ferroelectric Ceramics. *Journal of Alloys and Compounds*, 581: 150-159.

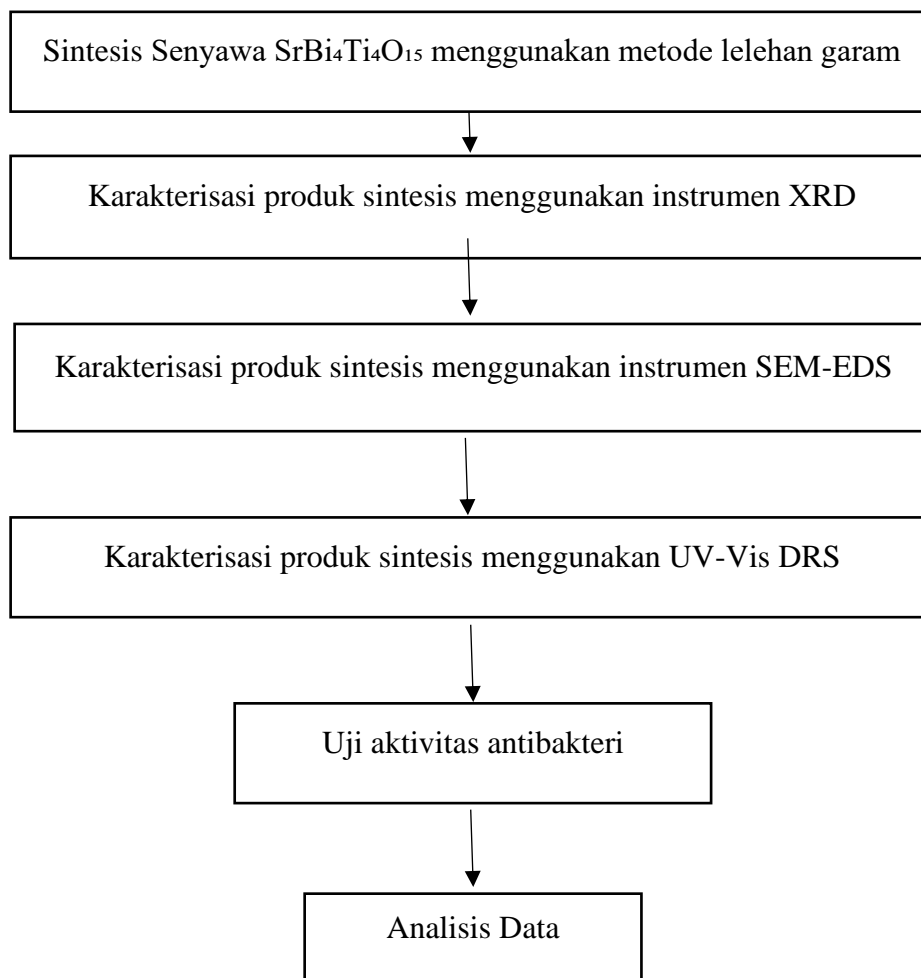
- Kim, H. G., Becker, O. S., Jang, J. S., Ji, S. M., Borse, P. H., Lee, J. S. (2005). A Generic Method of Visible Light Sensitization for Perovskite-Related Layered Oxides: Substitution Effect of Lead. *Journal of Solid State Chemistry*, 179(4), 1214–1218.
- Kikuchi, Y., Sunada, K., Iyoda, T., Hashimoto, K., Fujishima, A. (1997). Photocatalytic Bactericidal Effect of TiO₂ thin Films: Dynamic View of The Active Oxygen Species Responsible for The Effect, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 106, 51–56.
- Kimura, T. (2011). Molten salt synthesis of ceramic powders. *Advances in Ceramics - Synthesis and Characterization, Processing and Specific Applications*.
- Lay, B. W. dan S. Hastowo. 1992. *Mikrobiologi*. Rajawali Press: Jakarta.
- Lazarevic, Z. Z., Bobic, J. D., Rocevic N. Z., Paunovic, Novica., Stojanovic, B. (2009). Study of Barium Bismuth Titanate Prepared by Mechanochemical Synthesis. *Science of Sintering*, 41(3): 329-335.
- Li, Y., Chen, G., Zhang, H., Li, Z., Sun, J. (2012). Electronic Structure and Photocatalytic Properties of ABi₂Ta₂O₉ (A=Ca, Sr, Ba). *Journal of Solid State Chemistry*, 181(10), 2653–2659.
- Matsunaga, T., Tomoda, R., Nakajima, T., Wake, H. (1985). Photoelectrochemical Sterilization of Microbial Cells by Semiconductor Powders. *FEMS Microbiology Letters*, 29, 211–214.
- Murugesan, Sankaran., Huda, Muhammad N., Yan, Yanfa., Al-Jassim, Mowafak., Subramanian, Vaidyanathan. (2010). Band-Engineered Bismuth Titanate Pyrochlores for Visible Light Photocatalyst. *The Journal of Physical Chemistry*, 114(23): 10598-10605.
- Nayak, P., Badapanda, T., Pattanayak, R., Mishra, A., Anwar, S., Sahoo, P., Panigrahi, S. (2014). Structural, Electrical, and Optical Behavior of Strontium Bismuth Titanate Ceramic. *Metallurgical and Materials Transactions A*. 45(4): 2132-2141.
- Niu, S., Zhang, R., Zhang, X., Xiang, J., Guo, C. (2020). Morphology-Dependent Photocatalytic Performance of Bi₄Ti₃O₁₂. *Ceramics International*, 46(5): 6782.
- Pelczar, M. J dan Chan, E. C. S. (2005). *Dasar-dasar Mikrobiologi 1*, Alih Bahasa: Hadioetomo, R. S., Imas, T., Tjitrosomo, S.S. dan Angka, S. L. Jakarta: UI Press.
- Podporska-Carroll, J., Panaitescu, E., Quilty, B., Wang, L., Menon, L., & Pillai, S. C. (2015). Antimicrobial properties of highly efficient photocatalytic TiO₂ nanotubes. *Applied Catalysis B: Environmental*, 176-177, 70-75.
- Radji, M. (2011). *Buku Ajar Mikrobiologi: Panduan Mahasiswa Farmasi dan Kedokteran*. Jakarta: EGC, 10-12, 179-199.
- Ray, S. K., Dhakal, D., Regmi, C., Yamaguchi, T., Lee, S. W. (2018). Inactivation of *Staphylococcus aureus* in visible light by morphology tuned α -NiMoO₄. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 350, 59–68.
- 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.

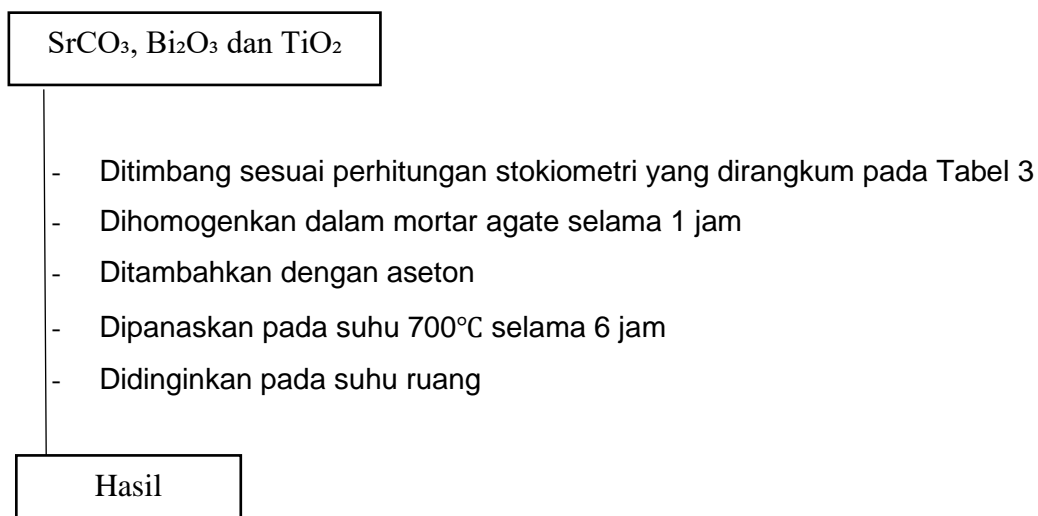
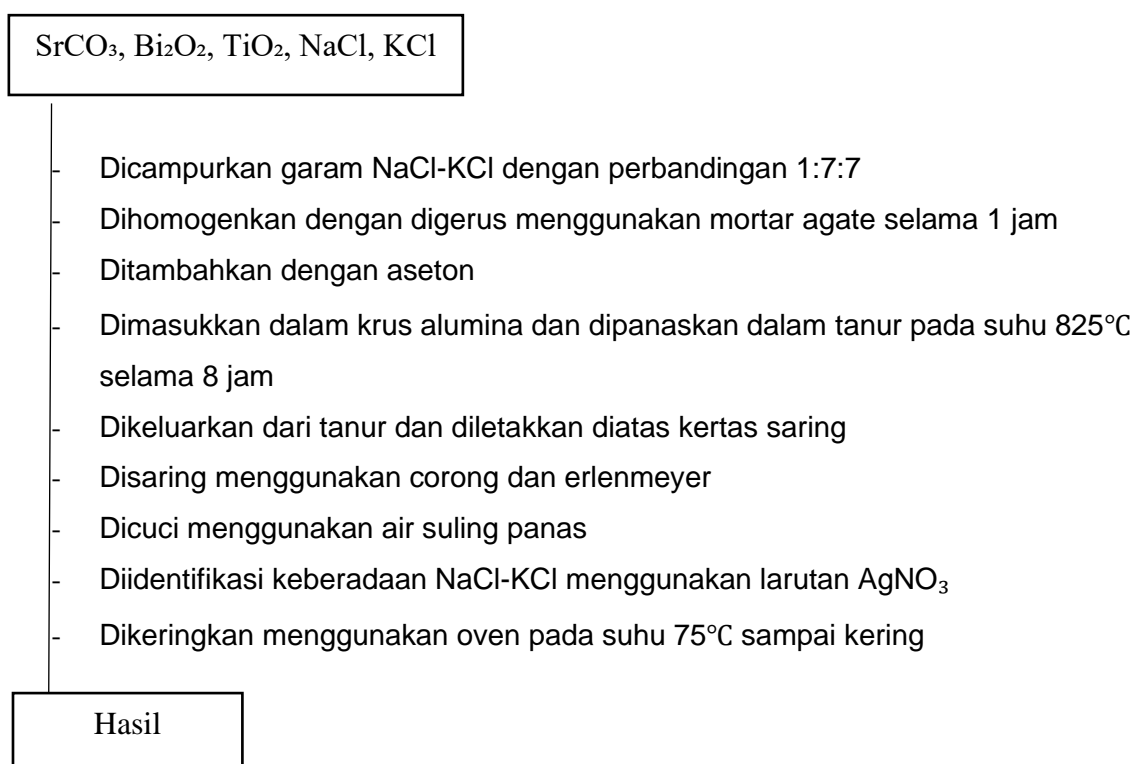
- Remy, S. Pigeot., Simonet, F., Cerda, E. Errazuriz., Lazzaroni, J.C., Atlan, D., Guillard, C. (2011) Photocatalysis and Disinfection of Potential Bacterial Targets. *Applied Catalysis B: Environmental*, 104, 390-398.
- Ren, J., Wang, W., Zhang, L., Chang, J., & Hu, S. (2009). Photocatalytic inactivation of bacteria by photocatalyst Bi_2WO_6 under visible light. *Catalysis Communications*, 10 (14): 1940–1943.
- Riadi, M., (2016). Pertumbuhan Mikroorganisme. Kaji Pustaka 1-47.
- Sokmen, M., Candan, F., Sumer, Z. (2001). Disinfection of E. coli by the Ag-TiO₂/UV system: lipidperoxidation, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 143, 241–244.
- Sari, Puspa., Himmah, Suci Noerfaiqotul., Hardian, Arie., Aini, Nur., dan Prasetyo, Anton. (2022). Synthesis and Characterization of Plate-like Vanadium Doped $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ Prepared Via KCl Molten Salt Method. *Communications in Science and Technology*, 7(2): 175–180.
- Sharah, Annisa., Karnila, Rahman., dan Desmelati. (2015). Pembuatan Kurva Pertumbuhan Bakteri Asam Laktat yang Diisolasi dari Ikan Peda Kembang (*Rastrelliger sp.*). *Jurnal Online Mahasiswa*.
- Sing, Madan., Goyal, Monika., Devlal, Kamal. (2018). Size and Shape Effects on the Band Gap of Semiconductor Compound Nanomaterials. *Journal of Taibah University for Science*, 12(4): 470-475.
- Tang, Chao., Li, Xu., Tang, Yujing., Zeng, Jie., Xie, Jingyu., Xiong, Bifeng. 2019. Agglomeration Mechanism and Restraint Measures of SiO₂ Nanoparticles in Meta-Aramid Fibers Doping Modification via Molecular Dynamics Simulations. *Nanotechnology*, 31(16): 1-17
- Tu, S., Zhang, T., Reshak, A.H., Auluck, S., Ye, L., Han, X., Ma, T., Huang, H. (2019). Ferroelectric Polarization Promoted Bulk Charge Separation for Highly Efficient CO₂ Photoreduction of $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$. *Nano Energy*, 56, 840-850.
- Wang, Y., Zhang, M., Wu, J., Hu, Z., Zhang, H., Yan, H. (2021). Ferroelectric and Photocatalytic Properties of Aurivillius Phase $\text{Ca}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$. *Journal of the American Ceramic Society*, 104(1): 322-328.
- Xie, H., Wang, K., Yao, Y., Zhao, Y., Wang, X. (2013). Pechini Sol-Gel Preparation and Photocatalytic Properties of $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$. *Advances in Material Chemistry*, 01, 1-4.
- Y. Chen, R. Huang, D. Chen, Y. Wang, W. Liu, X. Li, and Z. Li, “Exploring the Different Photocatalytic Performance for Dye Degradations over Hexagonal ZnIn₂S₄ Microspheres and Cubic ZnIn₂S₄ Nanoparticles”, *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 4, no. 4, pp. 2273-2279, 2012.
- Yang, Yahui., Chen, Qiyuan., Yin, Zhoulan, dan Li, Jie. (2018). Study on The Photocatalytic Activity of $\text{K}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ Doped with Vanadium (V). *Journal of Alloys and Compounds*, 488(1): 364-369.
- 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.
- Zhou, Lin. Wang, L. Zhang, L. (2007). Ultrasonic-assisted synthesis of visible-light-induced Bi_2MO_6 (M = W, Mo) photocatalysts. *Journal of Molecular Catalysis A-chemical - J MOL CATAL A-CHEM*, 268, 195-200.

Zulhadjri, Prijamboedi, B., Nugroho, A.A., Mufti, N., Fajar, A., Palstra, T.T.M., Ismunandar. (2011). Aurivillius Phases of $\text{PbBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ Doped with Mn^{3+} Synthesized by Molten Salt Technique: Structure, Dielectric, and Magnetic Properties. *Journal Solid State Chemistry*, 184, 1318–1323.

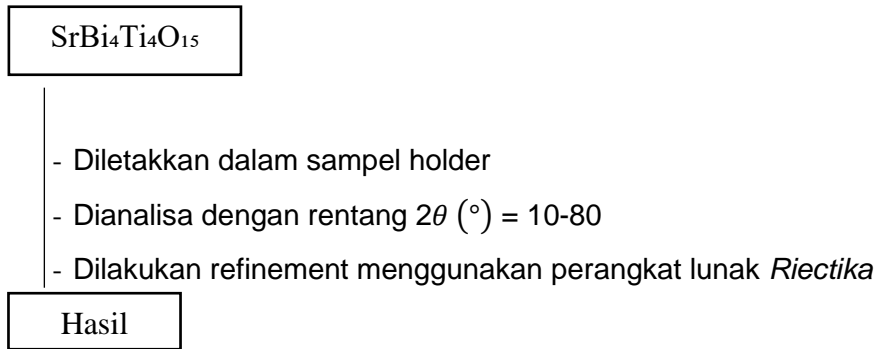
LAMPIRAN

Lampiran 1. Rencana Penelitian

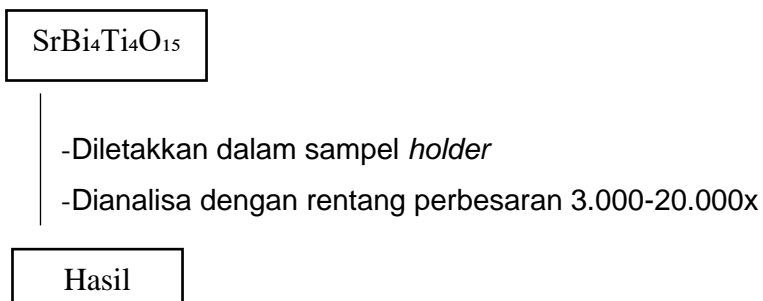


Lampiran 2. Diagram Alir**L.2.1 Preparasi Bahan****L.2.2 Sintesis SrBi₄Ti₄O₁₅ dengan Metode Lelehan Garam**

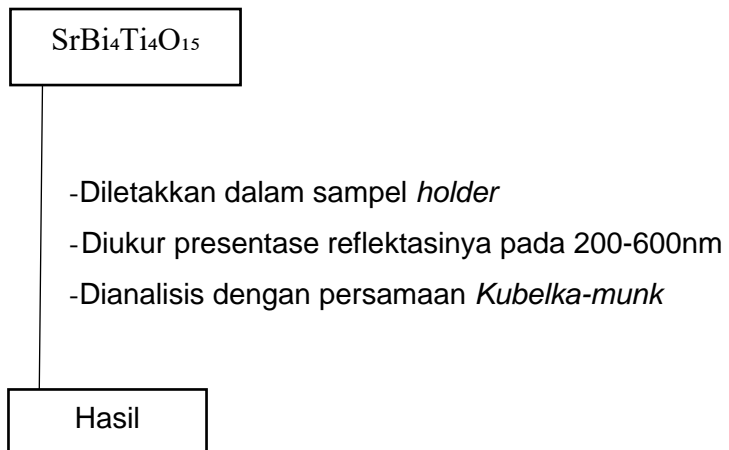
L.2.3 Karakterisasi dan Analisis SrBi₄Ti₄O₁₅ Menggunakan Instrumen XRD



L.2.4 Karakterisasi dan Analisis SrBi₄Ti₄O₁₅ Menggunakan Instrumen SEM



L.2.5 Karakterisasi dan Analisis SrBi₄Ti₄O₁₅ dengan UV-Vis DRS



L.2.6 Uji Aktivitas Antibakteri

L.2.6.1 Pembuatan Media *Nutrient Agar*

Nutrient Agar (NA)

- Diambil 1 gram NA
- Dilarutkan dalam 100 mL akuades
- Dimasukkan kedalam erlenmeyer
- Disterilkan dalam autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit

Hasil

L.2.6.2 Pembuatan Media *Nutrient Broth*

Nutrient Broth (NB)

- Dibuat media cair dengan cara NB dilarutkan dalam akuades
- Dimasukkan dalam Erlenmeyer dan ditutup dengan kapas.
- Dipanaskan suspense hingga mendidih
- Didinginkan pada suhu ruang
- Disterilkan pada suhu 121°C selama 15 menit

Hasil

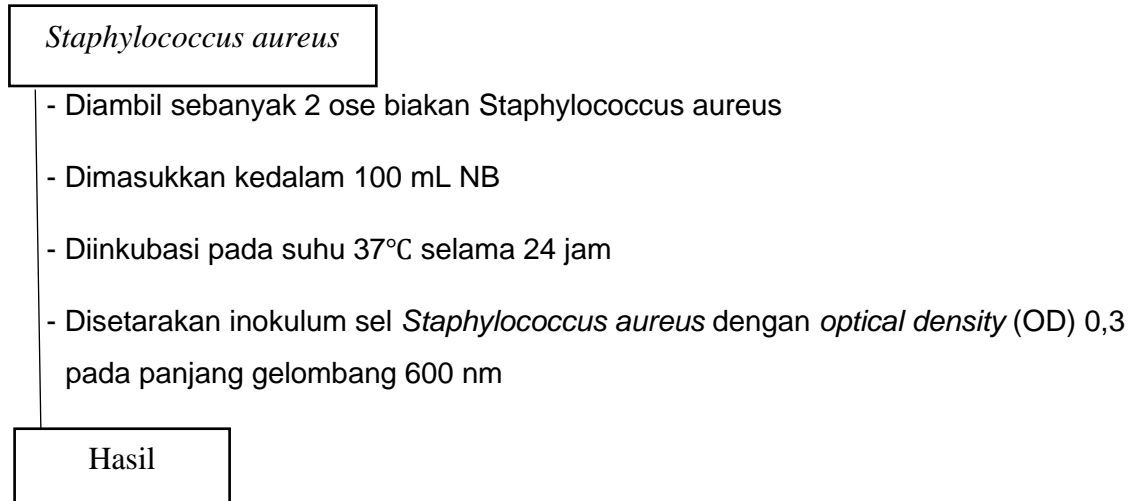
L.2.6.3 Peremajaan Bakteri

Staphylococcus

- Diambil sebanyak 1 ose bakteri *Staphylococcus aureus*
- Diinokulasi dengan digoreskan pada media NA
- Diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam

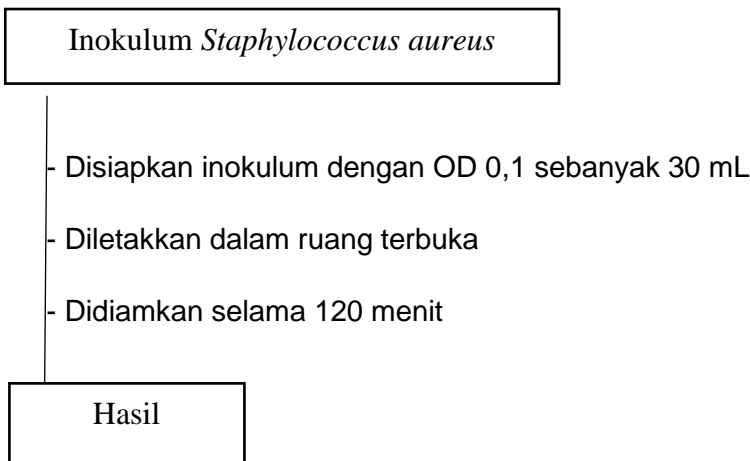
Hasil

L.2.6.4 Pembuatan Inokulum *Staphylococcus aureus*

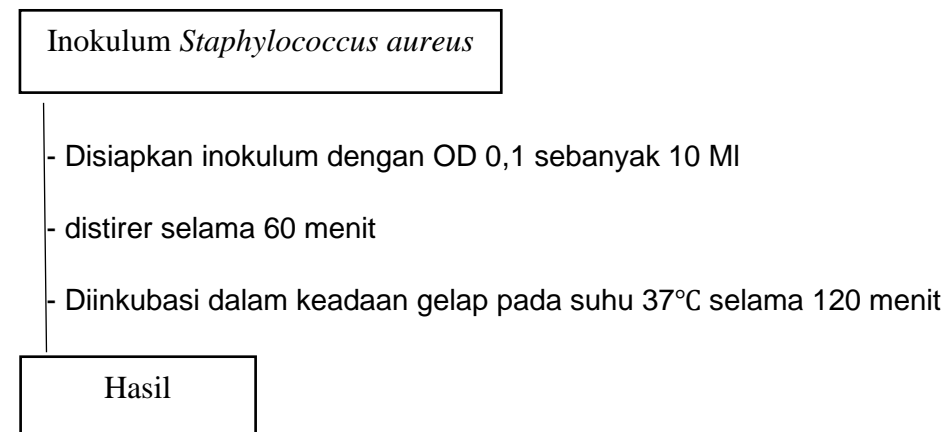


L.2.6.5 Uji Aktivitas Antibakteri Senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus*

L.2.6.5.1 Uji Aktivitas Antibakteri dalam Keadaan Ruang Terbuka



L.2.6.5.2 Uji Aktivitas Antibakteri dalam Keadaan Gelap



L.2.6.5.3 Uji Aktivitas Antibakteri Senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan Radiasi Sinar UV

Inokulum *Staphylococcus aureus*

- Disiapkan inokulum dengan OD 0,3 sebanyak 30 mL
- Ditambahkan $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ sesuai perlakuan dioptimasi dengan variasi sebanyak 10 mg; 20 mg; dan 30 mg
- Dipapar dengan lampu UV 40 W
- Dioptimasi dan distirrer selama 60 menit

Hasil

L.2.6.5 Perhitungan Jumlah Sel Bakteri

7 tabung reaksi

- Ditambahkan NaCl 0,9% steril sebanyak 9 ml
- Diambil 1 ml inokulum *Staphylococcus aureus* dalam media NB
- Dimasukkan ke dalam tabung pertama lalu dihomogenasi dengan vortex dan dihitung sebagai pengenceran pertama
- Diambil 1 ml larutan dari tabung 1 dan dimasukkan ke dalam tabung kedua sehingga diperoleh pengenceran tingkat kedua (demikian seterusnya sampai didapatkan pengenceran tingkat 7)
- Dilakukan perhitungan menggunakan metode TPC

Hasil

Lampiran 3. Perhitungan Kebutuhan Massa Prekursor

Diketahui :

Target massa produk = 3 gram

Perbandingan mol prekursor SrBi₄Ti₄O₁₅:NaCl-KCl = 1 : 7 : 7

Mr SrCO₃ = 147,6289 g/mol

Mr Bi₂O₃ = 465,959 gr/mol

Mr TiO₂ = 79,9 g/mol

Mr NaCl = 58,34 g/mol

Mr KCl = 74,555 g/mol

Mr SrBi₄Ti₄O₁₅ = 1355,0006 g/mol

$2 \text{ Bi}_2\text{O}_3 + 4 \text{ TiO}_2 + \text{SrCO}_3 \rightarrow \text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15} + \text{CO}_2$

$$\begin{aligned} n \text{ SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15} &= \frac{\text{massa}}{Mr} \\ &= \frac{3\text{gram}}{1355,0006 \text{ g/mol}} = 0,002214 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Bi}_2\text{O}_3 &= Mr \times n \text{ Bi}_2\text{O}_3 \\ &= 465,959 \text{ gr/mol} \times 0,004428 \text{ mol} = 2,06326 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa TiO}_2 &= Mr \times n \text{ TiO}_2 \\ &= 79,8658 \text{ gr/mol} \times 0,008856 \text{ mol} = 0,70729 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa SrCO}_3 &= Mr \times n \text{ SrCO}_3 \\ &= 147,6289 \text{ gr/mol} \times 0,002214 \text{ mol} = 0,32685 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NaCl} &= 7 \times n \text{ SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15} \times Mr \text{ NaCl} \\ &= 7 \times 0,002214 \text{ mol} \times 58,4427 \text{ gr/mol} = 0,90574 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa KCl} &= 7 \times n \text{ SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15} \times Mr \text{ KCl} \\ &= 7 \times 0,002214 \text{ mol} \times 74,5513 \text{ gr/mol} = 1,15539 \text{ gr} \end{aligned}$$

Perhitungan Jumlah Koloni Bakteri

Pengulangan pertama

a. Ruang terbuka

$$\frac{1,96 \times 10^6}{0,1 \text{ ml}} = 1,96 \times 10^7$$

$$\frac{3,5 \times 10^6}{0,1 \text{ ml}} = 3,5 \times 10^7$$

Rata-rata

$$\frac{1,96 \times 10^6 + 3,5 \times 10^7}{2} = 27,3 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

b. Gelap

$$\frac{3,5 \times 10^7}{1,96 \times 10^7} = 1,78 \times 10^7 \leq 2, \text{ maka}$$

$$\frac{3,5 \times 10^7 + 1,96 \times 10^7}{2} = 2,73 \times 10^7$$

$$\frac{2,73 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 2,73 \times 10^8$$

$$\frac{0,25 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 0,25 \times 10^8$$

Rata-rata

$$\frac{2,73 \times 10^8 + 0,25 \times 10^8}{2} = 1,49 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

c. Cahaya

$$\frac{3,2 \times 10^7}{1,19 \times 10^7} = 2,68 \times 10^7 > 2, \text{ maka}$$

$$\frac{1,19 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 1,19 \times 10^8$$

$$\frac{1,19 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 1,19 \times 10^8$$

Rata-rata

$$\frac{1,19 \times 10^8 + 1,19 \times 10^8}{2} = 1,19 \times 10^8 \text{ CFU/mL}$$

d. Cahaya + Senyawa 10 mg

$$\frac{7,6 \times 10^5}{0,1 \text{ mL}} = 7,6 \times 10^6 \text{ CFU/mL}$$

e. Cahaya + Senyawa 20 mg

$$\frac{2,7 \times 10^6}{0,95 \times 10^6} = 2,84 \times 10^6 > 2, \text{ maka}$$

$$\frac{0,95 \times 10^6}{0,1 \text{ mL}} = 0,95 \times 10^7$$

$$\frac{0,67 \times 10^6}{0,1 \text{ mL}} = 0,67 \times 10^7$$

Rata-rata

$$\frac{0,95 \times 10^7 + 0,67 \times 10^7}{2} = 0,81 \times 7 \text{ CFU/mL}$$

f. Cahaya + Senyawa 30 mg

$$\frac{6,5 \times 10^6}{1,23 \times 10^6} = 5,28 \times 10^6 > 2, \text{ maka}$$

$$\frac{1,23 \times 6}{0,1 \text{ mL}} = 1,23 \times 10^7$$

$$\frac{3,8 \times 10^6}{0,47 \times 10^6} = 8,08 \times 10^6 > 2, \text{ maka}$$

$$\frac{0,47 \times 10^6}{0,1 \text{ mL}} = 0,47 \times 10^7$$

Rata-rata

$$\frac{1,23 \times 10^7 + 0,47 \times 10^7}{2} = 0,85 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

Pengulangan kedua

a. Ruang Terbuka

$$\frac{0,56 \times 10^7}{0,07 \times 10^7} = 8 \times 10^7 > 2, \text{ maka}$$

$$\frac{0,07 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 0,07 \times 10^8$$

$$\frac{0,45 \times 10^7}{0,067 \times 10^7} = 6,71 \times 10^7 > 2, \text{ maka}$$

$$\frac{0,067 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 0,067 \times 10^8$$

$$\frac{3,4 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 3,4 \times 10^8$$

Rata-rata

$$\frac{0,07 \times 10^8 + 0,067 \times 10^8 + 3,4 \times 10^8}{3} = 1,179 \times 10^8 \text{ CFU/mL}$$

b. Gelap

$$\frac{0,77 \times 10^7}{0,097 \times 10^7} = 7,9 \times 10^7 > 2, \text{ maka}$$

$$\frac{0,097 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 0,097 \times 10^8$$

$$\frac{0,75 \times 10^7}{0,086 \times 10^7} = 8,7 \times 10^7 > 2, \text{ maka}$$

$$\frac{0,086 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 0,086 \times 10^8$$

$$\frac{3,3 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 3,3 \times 10^8$$

Rata-rata

$$\frac{0,097 \times 10^8 + 0,086 \times 10^8 + 3,3 \times 10^8}{3} = 1,161 \times 10^8 \text{ CFU/mL}$$

c. Cahaya

$$\frac{7,7 \times 10^6 + 7,6 \times 10^6}{2} = 7,65 \times 10^6$$

$$\frac{7,65 \times 10^6}{0,1 \text{ mL}} = 7,65 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

d. Cahaya + Senyawa 10 mg

$$\frac{2,8 \times 10^6}{0,72 \times 10^6} = 3,8 \times 10^6 > 2, \text{ maka}$$

$$\frac{0,72 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 0,72 \times 10^7$$

$$\frac{0,56 \times 10^6}{0,1 \text{ mL}} = 0,56 \times 10^8$$

Rata-rata

$$\frac{0,72 \times 10^7 + 0,56 \times 10^7}{2} = 0,64 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

e. Cahaya + Senyawa 20 mg

$$\frac{0,57 \times 10^6}{0,1 \text{ mL}} = 0,57 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

f. Cahaya + Senyawa 30 mg

$$\frac{0,36 \times 10^6}{0,1 \text{ mL}} = 0,36 \times 10^7$$

$$\frac{3,3 \times 10^6}{0,35 \times 10^6} = 9,4 \times 10^6 > 2, \text{ maka}$$

$$\frac{0,35 \times 10^6}{0,1 \text{ mL}} = 0,35 \times 10^7$$

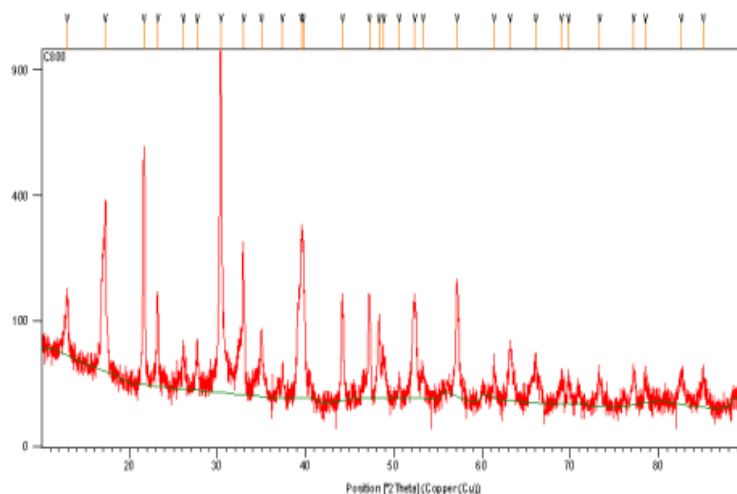
Rata-rata

$$\frac{0,36 \times 10^7 + 0,35 \times 10^7}{2} = 0,35 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

Lampiran 4. Gambar Hasil Karakterisasi

L.4.1 Data XRD

L.4.1.1 Gambar difraktogram



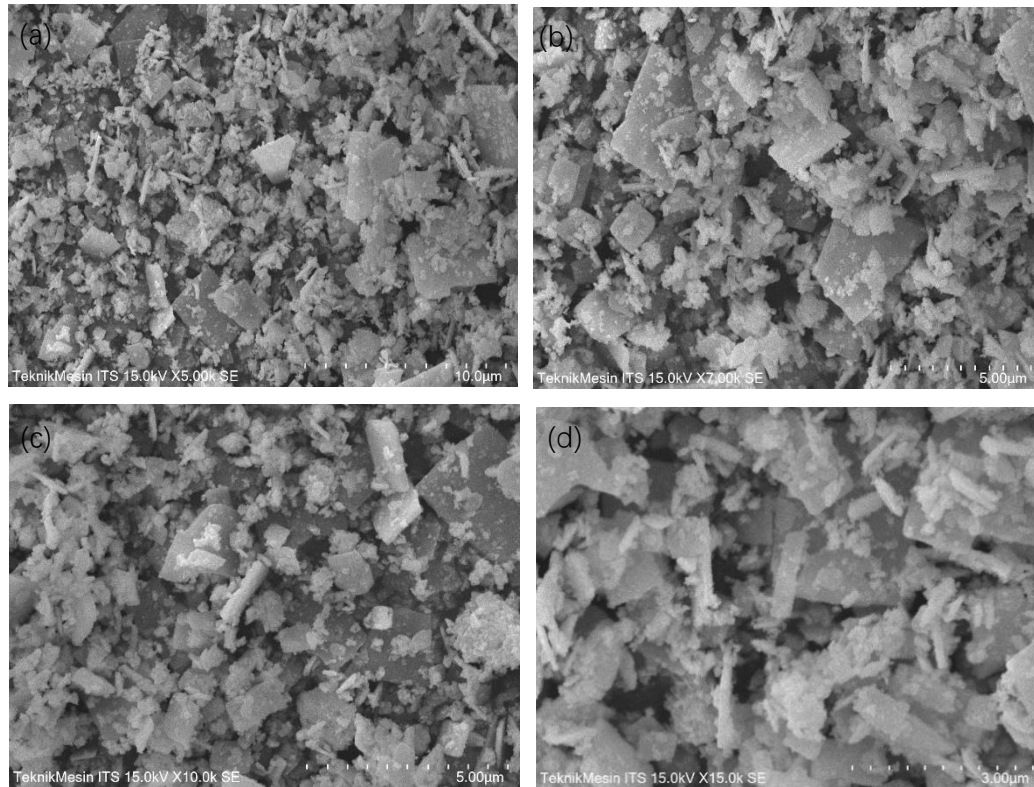
Gambar L.4.1 Difraktogram Senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$

L.4.1.2 Measurement Conditions

Dataset Name	$\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$
File name	E:\X'Pert Data\2023\December\04 Dec 23\C800.xrdml
Comment	Theta(10-90)
	Configuration=Stage Flat Samples
	Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta)
Measurement Date / Time	12/4/2023 2:53:04 PM
Raw Data Origin	XRD measurement (*XRDML)
Scan Axis	Gonio
Start Position [$^{\circ}2\text{Th.}$]	10.0100
End Position [$^{\circ}2\text{Th.}$]	89.9900
Step Size [$^{\circ}2\text{Th.}$]	0.0200
Scan Step Time [s]	0.7000
Scan Type	Continuous
Offset [$^{\circ}2\text{Th.}$]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [$^{\circ}$]	0.9570
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	0.1000
Measurement Temperature [$^{\circ}\text{C}$]	25.00
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [\AA]	1.54060
K-Alpha2 [\AA]	1.54443
K-Beta [\AA]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	0000000011063758
Diffractometer Number	0
Goniometer Radius [mm]	240.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No.

L.4.2 Data SEM

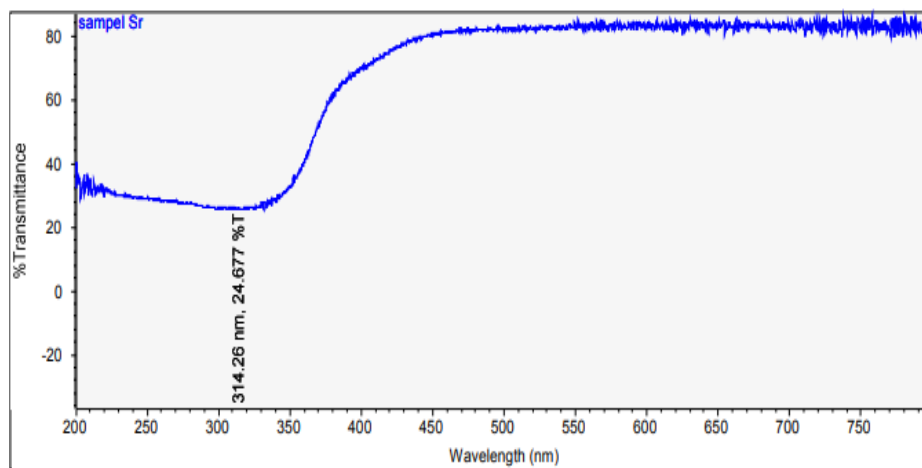
L.4.2.1 Gambar SEM



Gambar L.4.2.1 Gambar SEM $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan perbesaran (a) 5.000x; (b) 7.000x; (c) 10.000x; dan (d) 15.00x

L.4.3 Data UV Vis-DRS

L.4.3.1 Gambar Spektra



Gambar L.4.2.1 Spektra UV-Vis DRS senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$

Lampiran 5. Data Uji Aktivitas Antibakteri**L.5.1 Perhitungan Jumlah Koloni Bakteri****L.5.1.1 Pengulangan pertama**

a. Ruang terbuka

$$\frac{1,96 \times 10^6}{0,1 \text{ ml}} = 1,96 \times 10^7$$

$$\frac{3,5 \times 10^6}{0,1 \text{ ml}} = 3,5 \times 10^7$$

Rata-rata

$$\frac{1,96 \times 10^6 + 3,5 \times 10^7}{2} = 27,3 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

b. Gelap

$$\frac{3,5 \times 10^7}{1,96 \times 10^7} = 1,78 \times 10^7 \leq 2, \text{ maka}$$

$$\frac{3,5 \times 10^7 + 1,96 \times 10^7}{2} = 2,73 \times 10^7$$

$$\frac{2,73 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 2,73 \times 10^8$$

$$\frac{0,25 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 0,25 \times 10^8$$

Rata-rata

$$\frac{2,73 \times 10^8 + 0,25 \times 10^8}{2} = 14,9 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

c. Cahaya

$$\frac{3,2 \times 10^7}{1,19 \times 10^7} = 2,68 \times 10^7 > 2, \text{ maka}$$

$$\frac{1,19 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 1,19 \times 10^8$$

$$\frac{1,19 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 1,19 \times 10^8$$

Rata-rata

$$\frac{1,19 \times 10^8 + 1,19 \times 10^8}{2} = 11,9 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

d. Cahaya + Senyawa 10 mg

$$\frac{7,6 \times 10^5}{0,1 \text{ mL}} = 0,76 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

e. Cahaya + Senyawa 20 mg

$$\frac{2,7 \times 10^6}{0,95 \times 10^6} = 2,84 \times 10^6 > 2, \text{ maka}$$

$$\frac{0,95 \times 10^6}{0,1 \text{ mL}} = 0,95 \times 10^7$$

$$\frac{0,67 \times 10^6}{0,1 \text{ mL}} = 0,67 \times 10^7$$

Rata-rata

$$\frac{0,95 \times 10^7 + 0,67 \times 10^7}{2} = 0,81 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

f. Cahaya + Senyawa 30 mg

$$\frac{6,5 \times 10^6}{1,23 \times 10^6} = 5,28 \times 10^6 > 2, \text{ maka}$$

$$\frac{1,23 \times 10^6}{0,1 \text{ mL}} = 1,23 \times 10^7$$

$$\frac{3,8 \times 10^6}{0,47 \times 10^6} = 8,08 \times 10^6 > 2, \text{ maka}$$

$$\frac{0,47 \times 10^6}{0,1 \text{ mL}} = 0,47 \times 10^7$$

Rata-rata

$$\frac{1,23 \times 10^7 + 0,47 \times 10^7}{2} = 0,85 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

L.5.1.2 Pengulangan kedua

a. Ruang Terbuka

$$\frac{0,56 \times 10^7}{0,07 \times 10^7} = 8 \times 10^7 > 2, \text{ maka}$$

$$\frac{0,07 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 0,07 \times 10^8$$

$$\frac{0,45 \times 10^7}{0,067 \times 10^7} = 6,71 \times 10^7 > 2, \text{ maka}$$

$$\frac{0,067 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 0,067 \times 10^8$$

$$\frac{3,4 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 3,4 \times 10^8$$

Rata-rata

$$\frac{0,07 \times 10^8 + 0,067 \times 10^8 + 3,4 \times 10^8}{3} = 11,79 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

b. Gelap

$$\frac{0,77 \times 10^7}{0,097 \times 10^7} = 7,9 \times 10^7 > 2, \text{ maka}$$

$$\frac{0,097 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 0,097 \times 10^8$$

$$\frac{0,75 \times 10^7}{0,086 \times 10^7} = 8,7 \times 10^7 > 2, \text{ maka}$$

$$\frac{0,086 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 0,086 \times 10^8$$

$$\frac{3,3 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 3,3 \times 10^8$$

Rata-rata

$$\frac{0,097 \times 10^8 + 0,086 \times 10^8 + 3,3 \times 10^8}{3} = 11,61 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

c. Cahaya

$$\frac{7,7 \times 10^6 + 7,6 \times 10^6}{2} = 7,65 \times 10^6$$

$$\frac{7,65 \times 10^6}{0,1 \text{ mL}} = 7,65 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

d. Cahaya + Senyawa 10 mg

$$\frac{2,8 \times 10^6}{0,72 \times 10^6} = 3,8 \times 10^6 > 2, \text{ maka}$$

$$\frac{0,72 \times 10^7}{0,1 \text{ mL}} = 0,72 \times 10^7$$

$$\frac{0,56 \times 10^6}{0,1 \text{ mL}} = 0,56 \times 10^8$$

Rata-rata

$$\frac{0,72 \times 10^7 + 0,56 \times 10^7}{2} = 0,64 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

e. Cahaya + Senyawa 20 mg

$$\frac{0,57 \times 10^6}{0,1 \text{ mL}} = 0,57 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

f. Cahaya + Senyawa 30 mg

$$\frac{0,36 \times 10^6}{0,1 \text{ mL}} = 0,36 \times 10^7$$

$$\frac{3,3 \times 10^6}{0,35 \times 10^6} = 9,4 \times 10^6 > 2, \text{ maka}$$

$$\frac{0,35 \times 10^6}{0,1 \text{ mL}} = 0,35 \times 10^7$$

Rata-rata

$$\frac{0,36 \times 10^7 + 0,35 \times 10^7}{2} = 0,35 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

L.5.1.3 Perhitungan Rata-rata

a. Ruang terbuka

$$\frac{\text{pengulangan 1} + \text{pengulangan 2}}{2}$$

$$\frac{27,3 \times 10^7 + 11,79 \times 10^7}{2} = 19,545 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

b. Gelap

$$\frac{14,9 \times 10^7 + 11,61 \times 10^7}{2} = 13,255 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

c. Cahaya

$$\frac{11,9 \times 10^7 + 7,65 \times 10^7}{2} = 9,775 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

d. Cahaya+10 mg

$$\frac{0,76 \times 10^7 + 0,64 \times 10^7}{2} = 0,7 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

e. Cahaya+20 mg

$$\frac{0,81 \times 10^7 + 0,57 \times 10^7}{2} = 0,69 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

f. Cahaya+30 mg

$$\frac{0,85 \times 10^7 + 0,35 \times 10^7}{2} = 0,6 \times 10^7 \text{ CFU/mL}$$

L.5.1.4 Perhitungan Persentase

a. Cahaya+10 mg

$$\frac{0,7 \times 10^7}{19,545 \times 10^7} \times 100\% = 3,58\%$$

$$100\% - 3,58\% = 96,42\%$$

b. Cahaya+20 mg

$$\frac{0,69 \times 10^7}{19,545 \times 10^7} \times 100\% = 3,53\%$$

$$100\% - 3,53\% = 96,47\%$$

c. Cahaya+30 mg

$$\frac{0,6 \times 10^7}{19,545 \times 10^7} \times 100\% = 3,06\%$$

$$100\% - 3,06\% = 96,94\%$$

L.5.2 Data Pehitungan Jumlah Koloni Bakteri *Staphylococcus aureus*

L.5.2.1 Pengulangan Pertama

Tabel L.5.2.1 perhitungan jumlah koloni pada perlakuan pertama

Kode	Pengenceran	Ulangan I	Ulangan II	
Ruang Terbuka	10 ⁻⁴	TBUD	196	27,3 x 10 ⁶
	10 ⁻⁵	35	19	
	10 ⁻⁶	5	1	
	10 ⁻⁷	1	1	
Gelap	10 ⁻⁴	TBUD	TBUD	1,49 x 10 ⁸
	10 ⁻⁵	196	25	
	10 ⁻⁶	35	7	
	10 ⁻⁷	2	1	
Cahaya	10 ⁻⁴	TBUD	TBUD	1,19 x 10 ⁸
	10 ⁻⁵	119	119	
	10 ⁻⁶	32	6	
	10 ⁻⁷	1	3	
Cahaya + senyawa 10 mg	10 ⁻⁴	76	TBUD	7.6 x 10 ⁶
	10 ⁻⁵	0	1	
	10 ⁻⁶	1	3	
	10 ⁻⁷	0	1	
Cahaya + senyawa 20 mg	10 ⁻⁴	95	67	0,81 x 10 ⁷
	10 ⁻⁵	27	9	
	10 ⁻⁶	5	4	
	10 ⁻⁷	1	2	
Cahaya + Senyawa 30 mg	10 ⁻⁴	123	47	0,85 x 10 ⁷
	10 ⁻⁵	65	38	
		7	3	

	10^{-6}	1	1	
	10^{-7}			

L.5.2.2 Pengulangan Kedua

Tabel L.5.2.2 perhitungan jumlah koloni pada perlakuan kedua

Kode	Pengenceran	Ulangan I	Ulangan II	
Ruang Terbuka	10^{-4}	70	67	$11,79 \times 10^7$
	10^{-5}	56	45	
	10^{-6}	34	7	
	10^{-7}	2	1	
Gelap	10^{-4}	97	86	$11,61 \times 10^7$
	10^{-5}	77	75	
	10^{-6}	9	33	
	10^{-7}	2	4	
Cahaya	10^{-4}	TBUD	TBUD	$7,65 \times 10^7$
	10^{-5}	77	76	
	10^{-6}	9	23	
	10^{-7}	0	14	
Cahaya + senyawa 10 mg	10^{-4}	72	56	$0,64 \times 10^7$
	10^{-5}	28	16	
	10^{-6}	6	4	
	10^{-7}	2	1	
Cahaya + senyawa 20 mg	10^{-4}	57	17	$0,57 \times 10^7$
	10^{-5}	23	5	
	10^{-6}	3	4	
	10^{-7}	1	2	

Cahaya + senyawa 30 mg	10^{-4}	36	35	$0,35 \times 10^7$
	10^{-5}	24	33	
	10^{-6}	9	4	
	10^{-7}	3	1	

Lampiran 6. Dokumentasi

Gambar L.6.1 Sampel sebelum dan sesudah tanur



Gambar L.6.2 Sampel pada saat penyiraman

Gambar L.6.3 Peremajaan *Staphylococcus aureus*

Gambar L.6.4 Kondisi terang dengan cahaya UV



Gambar L.6.5 Kondisi terbuka



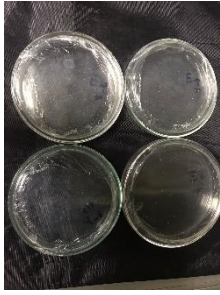
Gambar L.6.6 Kondisi Gelap



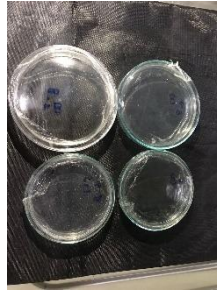
Gambar L.6.7 Reaktor



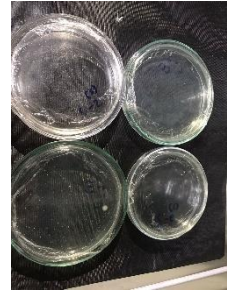
Gambar L.6.8 Perlakuan TPC



Gambar L.6.9 Ruang
terbuka



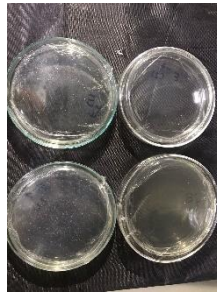
Gambar L.6.10 Gelap



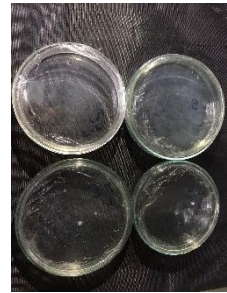
Gambar L.6.11 Cahaya



Gambar L.6.12 Cahaya +
10 mg



Gambar L.6.13 Cahaya + 20
mg



Gambar L.6.14 Cahaya
+ 30 mg