

**PENGARUH IRADIASI SINAR TAMPAK PADA NANOMATERIAL  
S/CuO/TiO<sub>2</sub> (0,25/1 DAN 0,75/1) DALAM AKTIVITAS SEBAGAI  
ANTIBAKTERI (*Bacillus subtilis* DAN *Escherichia coli*) DAN ANTIJAMUR  
(*Candida albicans*)**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**NELLA SIMANJUNTAK**

**NPM 2117011062**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2025**

## ABSTRACT

### THE EFFECT OF VISIBLE LIGHT IRRADIATION ON S/CuO/TiO<sub>2</sub> (0.25/1 AND 0.75/1) NANOMATERIALS IN THE ACTIVITY AS ANTIBACTERIAL (*Bacillus subtilis* AND *Escherichia coli*) AND ANTIFUNGAL (*Candida albicans*)

By

NELLA SIMANJUNTAK

In this research, nanomaterials based on copper oxide (CuO) were synthesized from the precursor Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O using the sol-gel method, and titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) was synthesized from the precursor titanium isopropoxide (TTIP). Sulfur doping into CuO resulted in the formation of the S/CuO catalyst with a 1/1 ratio. This catalyst was then impregnated into TiO<sub>2</sub> using the wet impregnation method assisted by an ultrasonic cleaner, producing S/CuO/TiO<sub>2</sub> nanomaterials with ratios of 0.25/1 and 0.75/1. Characterization using X-ray Diffraction (XRD) showed that the crystallite sizes of the resulting nanomaterials were 35,86 nm and 32,15 nm, respectively. Meanwhile, analysis using Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS) indicated that the band gap energies of the nanomaterials were 2,88 eV and 2,60 eV, demonstrating potential photocatalytic activity under visible light. Antibacterial and antifungal activity tests were carried out on five samples (CuO, TiO<sub>2</sub>, S/CuO, and S/CuO/TiO<sub>2</sub> with ratios 0.25/1 and 0.75/1) 8% (80 mg/mL) using the well diffusion method. The results showed that the nanomaterials were able to inhibit the growth of *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis*, with inhibition zones ranging from 1 to 7.5 mm after 60 minutes of visible light irradiation. Additionally, the antifungal test against *Candida albicans* also demonstrated antifungal activity, with inhibition zones ranging from 2 to 5 mm under the same irradiation conditions.

**Keywords:** CuO, S/CuO/TiO<sub>2</sub>, Visible Irradiation, Well Diffusion, Antibacterial, Antifungal

## ABSTRAK

### **PENGARUH IRADIASI SINAR TAMPAK PADA NANOMATERIAL S/CuO/TiO<sub>2</sub> (0,25/1 DAN 0,75/1) DALAM AKTIVITAS SEBAGAI ANTIBAKTERI (*Bacillus subtilis* DAN *Escherichia coli*) DAN ANTIJAMUR (*Candida albicans*)**

Oleh

**NELLA SIMANJUNTAK**

Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis nanomaterial berbasis tembaga oksida (CuO) dari prekursor Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O menggunakan metode sol-gel dan titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) yang disintesis dari prekursor titanium isopropoksida (TTIP). Proses doping sulfur ke dalam CuO menghasilkan katalis S/CuO dengan rasio 1/1. Katalis tersebut kemudian diimpregnasi ke dalam TiO<sub>2</sub> menggunakan metode impregnasi basah dengan bantuan *ultrasonic cleaner* untuk menghasilkan nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub> dengan perbandingan 0,25/1 dan 0,75/1. Karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa ukuran kristalit nanomaterial yang terbentuk adalah 35,86 nm dan 32,15 nm. Sementara itu, analisis menggunakan *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS) menunjukkan bahwa nilai energi band gap masing-masing nanomaterial adalah 2,88 eV dan 2,60 eV, menunjukkan potensi aktivitas fotokatalitik oleh cahaya tampak. Uji aktivitas antibakteri dan antijamur dilakukan terhadap lima sampel (CuO, TiO<sub>2</sub>, S/CuO, dan S/CuO/TiO<sub>2</sub> 0,25/1; 0,75/1) konsentrasi 8% (80 mg/mL) dengan metode difusi sumuran. Hasil uji menunjukkan bahwa nanomaterial tersebut mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dan *Bacillus subtilis* dengan zona hambat berkisar antara 1 - 7,5 mm setelah penyinaran dengan cahaya tampak selama 60 menit. Selain itu, pengujian terhadap jamur *Candida albicans* juga menunjukkan aktivitas antijamur dengan zona hambat sebesar 2–5 mm dalam kondisi penyinaran yang sama.

**Kata kunci :** CuO, S/CuO/TiO<sub>2</sub>, Iradiasi Sinar Tampak, Difusi Sumuran, Antibakteri, Antijamur.

**PENGARUH IRADIASI SINAR TAMPAK PADA NANOMATERIAL  
S/CuO/TiO<sub>2</sub> (0,25/1 DAN 0,75/1) DALAM AKTIVITAS SEBAGAI  
ANTIBAKTERI (*Bacillus subtilis* DAN *Escherichia coli*) DAN ANTIJAMUR  
(*Candida albicans*)**

**Oleh**

**NELLA SIMANJUNTAK**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA SAINS**

**Pada**

**Jurusan Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2025**

Judul Skripsi

: PENGARUH IRADIASI SINAR  
TAMPAK PADA NANOMATERIAL  
S/CuO/TiO<sub>2</sub> (0,25/1 DAN 0,75/1)  
DALAM AKTIVITAS SEBAGAI  
ANTIBAKTERI (*Bacillus subtilis* DAN  
*Escherichia coli*) DAN ANTIJAMUR  
(*Candida albicans*)

Nama Mahasiswa

: Nella Simanjuntak

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2117011062

Program Studi

: Kimia

Fakultas

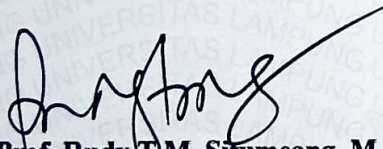
: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

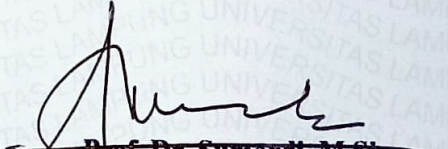
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

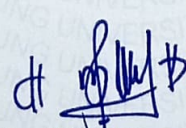
Pembimbing I

Pembimbing II

  
Prof. Rudy T.M. Situmeang, M. Sc., Ph.D.  
NIP. 196006161988111001

  
Prof. Dr. Sumardi, M.Si.  
NIP. 196503251991031003

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung

  
Prof. Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.  
NIP. 197205302000032001



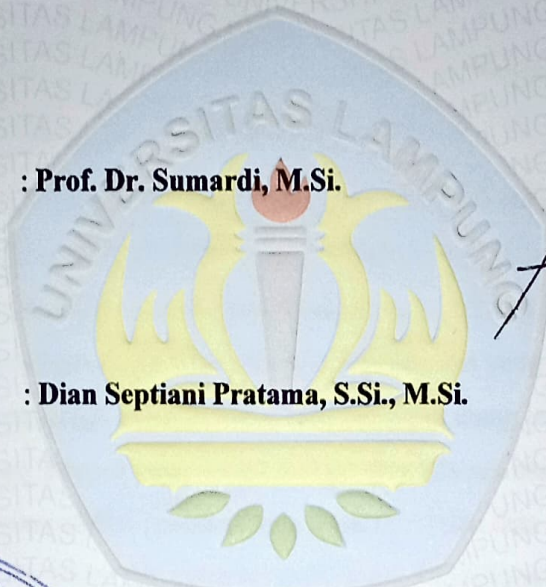
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua : Prof. Rudy T.M. Situmeang, M.Sc., Ph.D.**

**Sekretaris : Prof. Dr. Sumardi, M.Si.**

**Anggota : Dian Septiani Pratama, S.Si., M.Si.**



**2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.**

**NIP-197110012005011002**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 14 Juli 2025**



## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nella Simanjuntak  
NPM : 2117011062  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Pengaruh Iradiasi Sinar Tampak pada Nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub> (0,25/1 dan 0,75/1) dalam Aktivitas sebagai Antibakteri (*Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli*) dan Antijamur (*Candida albicans*)”**, merupakan hasil penelitian dan pemikiran yang telah dikerjakan oleh saya sendiri dan tidak terdapat karya atau pendapat orang lain dalam hasil penelitian saya, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Saya tidak keberatan data pada skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Demikian pernyataan ini saya buat, apabila dikemudian hari ditemukan adanya ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia dikenai sanksi hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 14 Juli 2025  
Pembuat pernyataan

  
  
Nella Simanjuntak  
NPM 2117011062

## RIWAYAT HIDUP



Pada tanggal 10 Februari 2003, penulis dilahirkan di salah satu desa di Kabupaten Tapanuli Utara, Provinsi Sumatera Utara yaitu tepatnya di desa Pohan Jae. Penulis merupakan anak pertama dari lima bersaudara, yang dikaruniakan Tuhan bagi pasangan Bapak Jamres Simanjuntak dan Ibu Espida Panjaitan. Riwayat pendidikan penulis dimulai Tahun 2009 hingga 2015

pada tingkat dasar yaitu SD Negeri 177928 Purbasinomba, selanjutnya pada tingkat menengah ditempuh pada tahun 2015 hingga 2018 di SMP Negeri 6 Siborongborong, dan pada tingkat atas, penulis menempuh studi pada tahun 2018 hingga 2021 di SMA S PGRI 20 Siborongborong. Pada tahun 2021, penulis melanjutkan studi perkuliahan yaitu dengan masuk dan terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) melalui jalur SBMPTN.

Pada tahun 2024, penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Rejomulyo, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, dan telah menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) dengan judul “ **Sintesis dan Karakterisasi Nanokomposit CuO/TiO<sub>2</sub> yang diiradiasi Sinar Visible sebagai Antibakteri terhadap Bakteri Bacillus sp**” di Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten praktikum Kimia Dasar untuk Mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Unila angkatan 2024 serta menjadi asisten praktikum Kimia Fisik untuk mahasiswa jurusan Kimia FMIPA Unila angkatan 2023 pada tahun 2024.



Dalam upaya peningkatan *soft skill* dan *hard skill*, penulis aktif dalam kegiatan organisasi internal maupun eksternal. Salah satu kegiatan penulis yaitu ikut andil dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) sebagaia anggota Biro Usaha Mandiri periode 2022 – 2023. Disamping itu, penulis juga menjadi bagian dari keluarga Persekutuan Oikumene Mahasiswa MIPA (POMMIPA) selama perkuliahan di tahun 2021 hingga 2024.

## **MOTTO**

### ***In the Name of Jesus Christ***

“Janganlah hendaknya kamu kuatir tentang apapun juga, tetapi nyatakanlah dalam segala hal keinginanmu kepada Allah dalam doa dan permohonan dengan ucapan syukur”

### **Filipi 4:6**

“Aku tahu, bahwa Engkau sanggup melakukan segala sesuatu dan tidak ada rencana-Mu yang gagal”

### **Ayub 42:2**

“ And i’m still a believer but i don’t know why,  
I’ve never been natural all i do is try, try, try”

(Taylor swift)

“Ora Et Labora”

**“Sekeras apapun kita meminta dan berusaha, semesta akan menjawab bahwa “keberhasilan akan terjadi ketika usaha yang keras, doa yang kuat dan faktor keberuntungan bertemu di waktu yang tepat.”**

(Penulis)

## ***PERSEMBAHAN***

*Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus , dengan ketulusan hati aku persembahkan karya ini kepada :*

*Kedua orangtua ku terkasih, Bapak Jamres Simanjuntak dan Ibu Espida Panjaitan yang telah berjuang untuk mendidik dan membesarkanku , yang selalu mengasihi, mendukung dan mendoakan keberhasilanku*

*Adik-adik tersayang Ivan Hady San Jaya Simanjuntak, Reva Yolanda Simanjuntak, Gusto Kristian Simanjuntak dan Teddy Kristovel Simanjuntak serta seluruh keluarga besar yang selalu mendoakan sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ini,*

*Sahabat dan teman-teman yang selalu menemani , mendukung dan memberikan semangat*

*Almamater tercinta Universitas Lampung*

## SANWACANA

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala Berkat dan Kasih Karunia-Nya yang melimpah, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pengaruh Iradiasi Sinar Tampak pada Nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub> (0,25/1 dan 0,75/1) dalam Aktivitas sebagai Antibakteri (*Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli*) dan Antijamur (*Candida albicans*)”**.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Dalam pelaksanaan dan penulisan skripsi ini tidak lepas dari kesulitan dan kendala. Namun atas berkat dan kasih karunia Tuhan, penulis dapat melalui segala sesuatunya dengan bantuan dan dukungan semangat dari orang-orang terkasih di sekita penulis. Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orangtuaku terkasih, Bapak Jamres Simanjuntak dan Ibu Espida Panjaitan, dua orang yang sangat berjasa dalam hidup penulis, dua orang yang selalu mengusahakan anak perempuan pertamanya menempuh pendidikan setinggi-tingginya meskipun mereka berdua hanya bisa menempuh pendidikan sampai tahap menengah. Kepada bapak penulis, terima kasih atas setiap cucuran keringat dan kerja keras yang engkau tukarkan menjadi sebuah nafkah demi anakmu bisa sampai tahap ini, demi anakmu mengeyam pendidikan sampai ke tingkat ini. Untuk Ibu penulis, terima kasih atas segala motivasi, pesan, doa dan harapan yang selalu mendampingi setiap langkah anakmu untuk menjadi seseorang yang



berpendidikan , terima kasih atas kasih sayang tanpa batas yang tak pernah lekang oleh waktu, atas kesabaran dan pengorbanan yang selalu mengiringi perjalanan hidup penulis, terima kasih telah menjadi sumber kekuatan dan inspirasi, serta pelita yang tak pernah padam dalam setiap langkah yang penulis tempuh. Terakhir terima kasih atas segala hal yang kalian berikan yang tak terhitung jumlahnya.

2. Bapak Prof. Rudy T.M. Situmeang, M. Sc., Ph. D. selaku pembimbing utama yang telah membimbing, memberikan banyak ilmu pengetahuan, bimbingan, nasihat, arahan, saran, bantuan, kritik dan motivasi yang sangat berarti bagi penulis selama penelitian hingga penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Sumardi, M. Si., selaku pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, arahan, kritik, saran, nasihat dan dukungan bagi penulis selama penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Dian Septiani Pratama, S.Si., M. Si., selaku penguji atas kesediaan memberikan arahan, saran, koreksi, kritik, dan kepedulian terhadap penulis selama proses pengerjaan skripsi.
5. Ibu Dr. Rinawati, S.Si., M. Si., selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan dukungan dan semangat pada penulis selama perkuliahan.
6. Ibu Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M. Si., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M. Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Seluruh dosen dan staf administrasi di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan dan motivasi pada penulis selama perkuliahan.
9. Saudara-saudariku tersayang Ivan Hady San Jaya Simanjuntak, Reva Yolanda Simanjuntak, Gusto Kristian Simanjuntak, Teddy Kristovel Simanjuntak, terima kasih untuk dukungan, segenap kepedulian dan kebersamaan kalian selama penulis menjalani perkuliahan, selalu menjadi pendengar setia dan menjadi alasanku untuk tetap berjuang sampai titik akhir.
10. Keluarga besar yang kukasihi, Op. Hatian/Br. Simanjuntak, segenap Tulang dan Nantulang segenap Bapakua dan Maktua, terima kasih sudah menjadi

menjadi inspirasi penulis untuk menempuh pendidikan hingga jenjang yang lebih tinggi serta selalu menyemangati, mendukung dan mendoakan penulis selama perkuliahan.

11. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, M. Reza Fahlevy terima kasih banyak telah menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis. Berkontribusi banyak dalam penulisan karya tulis ini, baik tenaga , materi, maupun waktu kepada penulis. Sudah selalu mendukung, menghibur, mendengarkan keluh kesah, menyaksikan setiap tangisan dalam proses penyusunan tugas akhir ini sampai selesai.
12. Kepada sahabat terbaik penulis, Suci Dera Jenita, Hasmawati dan Kurniawan Sugiarto, terima kasih kalian hadir sebagai sosok yang bukan hanya teman, tapi telah menjadi keluarga yang senantiasa mendukung, menguatkan, dan mengisi hari-hari dengan tawa, semangat, dan kebersamaan. Terima kasih telah menjadi tempat pulang dalam lelah, bahu dalam tangis, dan tawa di tengah tekanan sampai terselesaikan skripsi ini. Doa terbaikku selalu menyertai kalian.
13. Angkatan 2021 , terima kasih atas kebersamaanya selama masa perkuliahan yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu, sukses kedepannya.
14. *Chemistry Community Class C*, terima kasih penulis sampaikan atas segala kebersamaan yang pernah terjadi, kelas tersantuy yang pernah ada. Semangat guys about what you do and want to do, see you on top.
15. Rekan Riset Rudy 2021, Adelia Feby Tamara, Haryati Priskilla Tarigan, Nanda Putri Kusuma dan Rika Safitri, terima kasih atas bantuan, dukungan dan kebersamaanya selama ini semoga kita sukses atas jalan yang kita pilih, good luck gaysss .
16. Laboran Ibu Liza Aprilia, S. Si, Oni Mastuti, S. Si., terima kasih Ibu atas bantuan dan telah memberikan kemudahan terhadap penulis sehingga dapat menyelesaikan riset dengan baik.
17. Semua pihak yang telah membantu dan mendoakan penulis secara tulus dalam proses penyelesaian skripsi yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, semoga kebaikan yang penulis terima kembali ke kalian.

18. Nella Simanjuntak, ya! diri saya sendiri. Apresiasi sebesar-besarnya karena telah bertanggung jawab untuk menyelesaikan apa yang telah dimulai. Terima kasih karena terus berusaha dan tidak menyerah, serta senantiasa menikmati setiap prosesnya yang bisa dibilang tidak mudah. Terima kasih sudah bertahan.

Penulis menyadari skripsi ini jauh dari kata sempurna, besar harapan semoga skripsi ini dapat berguna bagi kita semua serta dapat memberikan saran yang membangun bagi penulis untuk lebih baik kedepannya.

Bandar Lampung, 14 Juli 2025

**Penulis**

## DAFTAR ISI

|                                                                         | Halaman |
|-------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                                                 | ii      |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                                              | v       |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                                               | vii     |
| <b>I. PENDAHULUAN</b> .....                                             | 1       |
| 1.1 Latar Belakang .....                                                | 1       |
| 1.2 Tujuan Penelitian.....                                              | 4       |
| 1.3 Manfaat Penelitian.....                                             | 4       |
| <b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                                       | 5       |
| 2.1 Nanomaterial dan Nanoteknologi.....                                 | 5       |
| 2.1.1 Aplikasi Nanomaterial .....                                       | 6       |
| 2.1.2 Katalis Nanomaterial .....                                        | 7       |
| 2.2 Senyawa Tembaga Oksida (CuO) .....                                  | 7       |
| 2.2.1 Metode Sintesis Nanopartikel CuO .....                            | 8       |
| 2.2.2 Aplikasi Nanopartikel CuO sebagai Antibakteri dan Antijamur ..... | 9       |
| 2.3 Sulfur (S) .....                                                    | 9       |
| 2.3.1 Aplikasi Sulfur .....                                             | 10      |
| 2.3.2 Riset Antimikroba Sulfur .....                                    | 10      |
| 2.4 Nanopartikel Titanium Dioksida (TiO <sub>2</sub> ).....             | 11      |
| 2.4.1 Metode Sintesis Nanopartikel TiO <sub>2</sub> .....               | 12      |
| 2.4.2 Aplikasi TiO <sub>2</sub> Sebagai Antimikroba .....               | 13      |
| 2.5 Karakterisasi Nanomaterial .....                                    | 13      |
| 2.5.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....                               | 13      |
| 2.5.2 Spektrofotometer FTIR .....                                       | 15      |
| 2.5.3 Spektrofotometer DRS UV-VIS .....                                 | 17      |
| 2.6 Iradiasi Sinar Tampak .....                                         | 18      |
| 2.7 Tinjauan Umum Bakteri .....                                         | 19      |
| 2.7.1 <i>Escherichia coli</i> .....                                     | 19      |
| 2.7.2 <i>Bacillus subtilis</i> .....                                    | 21      |
| 2.7.3 Mekanisme Antibakteri.....                                        | 22      |
| 2.7.4 Metode Pengujian Bakteri.....                                     | 24      |

|             |                                                                                   |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.8         | Tinjauan Umum Jamur .....                                                         | 24 |
| 2.8.1       | <i>Candida albicans</i> .....                                                     | 25 |
| 2.8.2       | Mekanisme Antijamur .....                                                         | 26 |
| 2.8.3       | Metode Pengujian Antijamur .....                                                  | 28 |
| 2.9         | SOP Keselamatan Kerja di Laboratorium Mikrobiologi ( <i>Biosafety</i> ) .....     | 29 |
| <b>III.</b> | <b>METODE PENELITIAN</b> .....                                                    | 31 |
| 3.1         | Waktu dan Tempat .....                                                            | 31 |
| 3.2         | Alat dan Bahan .....                                                              | 31 |
| 3.3         | Sintesis Senyawa CuO .....                                                        | 32 |
| 3.4         | Sintesis TiO <sub>2</sub> .....                                                   | 32 |
| 3.5         | Impregnasi Nanomaterial S/CuO/TiO <sub>2</sub> .....                              | 33 |
| 3.6         | Metode Analisis .....                                                             | 33 |
| 3.6.1       | Analisis <i>Fourier Transform Infrared Spectrometry</i> (FTIR) .....              | 33 |
| 3.6.2       | Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....                                     | 34 |
| 3.6.3       | Analisis Energi <i>Band-Gap</i> .....                                             | 34 |
| 3.7         | Tahap Uji Aktivitas Antibakteri .....                                             | 34 |
| 3.7.1       | Sterilisasi Alat .....                                                            | 34 |
| 3.7.2       | Pembuatan Media .....                                                             | 35 |
| 3.7.3       | Peremajaan Bakteri .....                                                          | 35 |
| 3.7.4       | Aplikasi Nanomaterial S/CuO/TiO <sub>2</sub> Sebagai Antibakteri .....            | 36 |
| 3.8         | Tahap Uji Aktivitas Jamur .....                                                   | 36 |
| 3.8.1       | Peremajaan <i>Candida albicans</i> .....                                          | 37 |
| 3.8.2       | Aplikasi Nanomaterial S/CuO/TiO <sub>2</sub> Sebagai Antijamur .....              | 37 |
| <b>IV.</b>  | <b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....                                                 | 38 |
| 4.1         | Sintesis Tembaga Oksida (CuO) .....                                               | 38 |
| 4.2         | Sintesis Senyawa Titanium Dioksida (TiO <sub>2</sub> ) .....                      | 39 |
| 4.3         | Sintesis Nanomaterial S/CuO/TiO <sub>2</sub> .....                                | 40 |
| 4.3.1       | Sintesis Katalis S/CuO .....                                                      | 40 |
| 4.3.2       | Impregnasi Nanomaterial S/CuO/TiO <sub>2</sub> .....                              | 41 |
| 4.4         | Analisis <i>Fourier Transform Infrared Spectrometry</i> (FTIR) .....              | 41 |
| 4.4.1       | Senyawa CuO .....                                                                 | 42 |
| 4.4.2       | Senyawa TiO <sub>2</sub> .....                                                    | 43 |
| 4.4.3       | Katalis S/CuO .....                                                               | 44 |
| 4.4.4       | Nanokomposit S/CuO/TiO <sub>2</sub> 0,25/1 dan 0,75/1 .....                       | 45 |
| 4.5         | Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....                                     | 46 |
| 4.5.1       | Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Senyawa CuO .....                         | 47 |
| 4.5.2       | Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Senyawa TiO <sub>2</sub> .....            | 49 |
| 4.5.3       | Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Katalis S/CuO .....                       | 51 |
| 4.5.4       | Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Nanomaterial S/CuO/TiO <sub>2</sub> ..... | 52 |
| 4.6         | Analisis Energi <i>Band-Gap</i> .....                                             | 54 |
| 4.6.1       | Analisis Energi <i>Band-Gap</i> CuO dan S/CuO .....                               | 54 |
| 4.6.2       | Analisis Energi <i>Band-Gap</i> S/CuO/TiO <sub>2</sub> .....                      | 57 |
| 4.7         | Uji Aktivitas Antibakteri .....                                                   | 59 |
| 4.8         | Uji Aktivitas Antijamur .....                                                     | 61 |
| <b>V.</b>   | <b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....                                                 | 64 |



|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| 5.1 Kesimpulan.....         | 64        |
| 5.2 Saran.....              | 65        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b> | <b>66</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>        | <b>73</b> |

## DAFTAR GAMBAR

| Gambar                                                                                  | Halaman |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Struktur Kristal CuO .....                                                           | 7       |
| 2. Struktur Kristal TiO <sub>2</sub> .....                                              | 11      |
| 3. Model Difraksi Bragg .....                                                           | 14      |
| 4. Pola XRD Senyawa CuO .....                                                           | 15      |
| 5. Instrumen Spektroskopi FTIR.....                                                     | 16      |
| 6. Hasil Analisis FTIR TiO <sub>2</sub> .....                                           | 16      |
| 7. Spektrum DRS dan Plot Kubelka Munk TiO <sub>2</sub> .....                            | 18      |
| 8. Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....                                                | 20      |
| 9. Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> .....                                               | 21      |
| 10. Mekanisme Antibakteri.....                                                          | 23      |
| 11. Morfologi Jamur <i>Candida albicans</i> .....                                       | 25      |
| 12. Mekanisme Obat Antijamur .....                                                      | 27      |
| 13. (a) Gel CuO, (b) Serbuk CuO .....                                                   | 39      |
| 14. Serbuk Senyawa TiO <sub>2</sub> Hasil Sintesis .....                                | 40      |
| 15. Serbuk Katalis S/CuO .....                                                          | 41      |
| 16. Nanomaterial S/CuO/TiO <sub>2</sub> (a) 0,25/1, (b) 0,75/1 .....                    | 41      |
| 17. Nanomaterial S/CuO/TiO <sub>2</sub> (a) 0,25/1, (b) 0,75/1 .....                    | 42      |
| 18. Spektrum FTIR TiO <sub>2</sub> .....                                                | 43      |
| 19. Spektrum IR CuO dan S/CuO .....                                                     | 44      |
| 20. Spektrum IR (a) S/CuO/TiO <sub>2</sub> 0,25/1, (b) 0,75/1 .....                     | 45      |
| 21. Pola XRD (a) Hasil Sintesis, (b) Literatur CuO.....                                 | 47      |
| 22. Pola XRD (a) Hasil Sintesis TiO <sub>2</sub> , (b) Literatur TiO <sub>2</sub> ..... | 49      |
| 23. Plot Difraksi XRD (a) S/CuO , (b) CuO .....                                         | 51      |

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 24. Analisis XRD S/CuO/TiO <sub>2</sub> (a) 0,25/1, (b) 0,75/1 .....                                                       | 52 |
| 25. Hubungan Antara Panjang Gelombang dengan .....                                                                         | 55 |
| 26. Plot Nilai Band-gap (a) CuO, (b) S/CuO 1/1 .....                                                                       | 56 |
| 27. Hubungan Antara Panjang Gelombang dengan Absorbansi Nanomaterial<br>S/CuO/TiO <sub>2</sub> (a) 0,25/1, (b) 0,75/1..... | 57 |
| 28. Plot Nilai Band-Gap Nanomaterial S/CuO/TiO <sub>2</sub> .....                                                          | 58 |

## DAFTAR TABEL

| Tabel                                                                                              | Halaman |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Puncak-Puncak Representatif Difraktogram untuk Senyawa CuO.....                                 | 48      |
| 2. Puncak-Puncak Representatif Difraktogram Acuan Fasa Kristalin CuO .....                         | 48      |
| 3. Puncak-Puncak Representatif Difraktogram untuk Senyawa TiO <sub>2</sub> .....                   | 50      |
| 4. Puncak-Puncak Representatif Difraktogram Acuan Fasa Kristalin TiO <sub>2</sub> .....            | 50      |
| 5. Puncak Representatif Nanomaterial S/CuO/TiO <sub>2</sub> .....                                  | 53      |
| 6. Hasil Pengujian Difusi Sumuran Bakteri <i>B. subtilis</i> dan <i>E.coli</i> .....               | 60      |
| 7. Hasil Pengujian Difusi Sumuran Jamur <i>C. albicans</i> .....                                   | 62      |
| 8. Data 2θ dan nilai FWHM difraktogram fasa kristalin Nanomaterial S/CuO/TiO <sub>2</sub><br>..... | 74      |
| 9. Hasil Uji Aktivitas Antibakteri <i>Bacillus subtilis</i> dan <i>Escherichia coli</i> .....      | 76      |

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Angka kematian global akibat penyakit infeksi semakin meningkat secara signifikan. Penyakit ini disebabkan oleh bakteri patogen dan sangat dinamis seperti virus, jamur, dan bakteri. Salah satu penyebab penyakit ini adalah berasal dari bakteri *Escherichia coli* dan *Bacillus subtilis* serta jamur *Candida albicans*. Di Indonesia, data menunjukkan bahwa pada tahun 2017, sebanyak 26 orang anak sekolah dasar di Kelurahan Cempaka, Kecamatan Cempaka, Kota Banjarbaru menderita sakit diare yang diakibatkan oleh bakteri *Escherichia coli* setelah mengonsumsi makanan jajanan anak sekolah (Afriyanti, 2019). United Nations Children's Fund (UNICEF) pada tahun 2018, juga menyebutkan, diare merupakan salah satu penyebab utama kematian pada anak-anak di bawah usia lima tahun, dengan menyumbang sekitar 8% dari total kematian di seluruh dunia pada kelompok usia tersebut. Begitu juga dengan penyakit infeksi yang disebabkan oleh jamur *Candida albicans* dimana mikroorganisme patogen ini yang paling sering menyebabkan infeksi jamur. Ketika terjadi pertumbuhan berlebih, jamur ini dapat memicu berbagai infeksi di mulut, kulit, aliran darah, serta area genital pada pria dan wanita. Dalam beberapa tahun terakhir, jumlah kasus infeksi jamur, terutama kandidiasis, telah meningkat secara signifikan, sementara pilihan obat antijamur yang tersedia untuk pengobatannya masih terbatas (Sharma and Ghose, 2015). Permasalahan ini telah menjadi topik yang menarik banyak perhatian, khususnya dalam bidang kedokteran.

Secara umum, biasanya masalah ini diatasi dengan pemberian antibiotik. Namun, resistensi bakteri terhadap antibiotik mengakibatkan penurunan efektivitas terapi.

Resistensi tidak dapat dihilangkan, tetapi dapat diperlambat melalui penggunaan antibiotik yang bijak. Penggunaan antibiotik secara terkendali dapat mencegah munculnya resistensi antimikroba dan menghemat penggunaan antibiotik. Hal ini pada akhirnya akan mengurangi biaya perawatan pasien, memperpendek durasi perawatan, menghemat biaya bagi rumah sakit, serta meningkatkan kualitas pelayanan rumah sakit (Sukertiasih *et al.*, 2021). Sejumlah inovasi baru akan terus dikembangkan untuk menangani masalah penyakit infeksi yang semakin kompleks, terutama yang disebabkan oleh bakteri *Bacillus sp* dan *Escherichia coli* serta jamur *Candida albicans* yang telah menunjukkan resistensi terhadap berbagai jenis antibiotik. Upaya ini bertujuan untuk menemukan solusi yang lebih efektif dalam melawan bakteri resisten dan meningkatkan keberhasilan pengobatan infeksi yang disebabkan oleh patogen tersebut.

Nanoteknologi merupakan salah satu inovasi yang berperan penting dalam kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk mengatasi penyakit infeksi. Melalui nanoteknologi, material dapat diproduksi pada skala nano atau sebagai nanopartikel. Nanopartikel logam mendapat perhatian besar karena aplikasinya yang luas di berbagai bidang seperti optik, elektronik, biologi, katalisis, dan kedokteran. Dalam skenario ini, nanopartikel CuO menunjukkan potensi yang besar dalam kategori nanopartikel oksida logam karena memiliki biaya yang terjangkau, serta sifat optik, katalitik dan antimikroba yang menonjol. CuO dapat digunakan sebagai agen antimikroba karena tingkat toksitasnya terhadap sel manusia yang relatif rendah, biaya produksinya yang terjangkau, kemampuannya dalam menghambat pertumbuhan berbagai jenis bakteri dan jamur, serta potensinya dalam mencegah pembentukan biofilm dan bahkan menghilangkan spora (Ramzan *et al.*, 2019).

Nanopartikel sulfur (SNP) telah banyak digunakan dalam proses sterilisasi karena sifat biokompatibilitasnya yang tinggi dan ramah lingkungan. Dibandingkan dengan belerang sublimasi konvensional, SNP memiliki beberapa keunggulan seperti ukuran partikel yang lebih kecil, dispersi yang lebih baik dalam air, dan kinerja antibakteri yang lebih tinggi. Potensi sulfur nanopartikel (SNP) telah terbukti dengan metode presipitasi anti-pelarut mikrofluida, ideal untuk produksi

skala besar. SNP ukuran 15-50 nm yang diproduksi dengan saluran mikro tipe Y (YMC) dan T (TMC) menunjukkan kemampuan bakterisida yang lebih baik terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* dibandingkan sulfur sublimasi konvensional. SNP berukuran 15 nm, khususnya, dengan surfaktan CTAB menunjukkan efek sinergis yang meningkatkan aktivitas antibakteri, mengurangi koloni *S. aureus* dan *E. coli* secara signifikan (Fei Xu *et al.*, 2020).

Salah satu nanopartikel terpenting yang menarik perhatian besar karena sifat uniknya adalah titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ). Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) telah dianggap sebagai senyawa antimikroba yang menarik karena sifat fotokatalitiknya dan karena merupakan zat yang stabil secara kimia, tidak beracun, murah, dan umumnya diakui aman. Beberapa penelitian telah mengungkapkan oksida logam ini menunjukkan sifat antijamur dan antibakteri yang sangat baik terhadap berbagai bakteri Gram-positif dan Gram-negatif. Di antara agen antimikroba oksida logam,  $\text{TiO}_2$  adalah bahan oksida logam transisi semikonduktor yang berharga dan menunjukkan fitur khusus, seperti pengendalian yang mudah, biaya yang lebih rendah, tidak beracun, dan ketahanan yang baik terhadap erosi kimia, yang memungkinkan penerapannya dalam optik, sel surya, sensor kimia, elektronik, agen antibakteri dan antijamur (Dicastillo *et al.*, 2020).

Dalam penelitian ini, material CuO disintesis dari prekursor  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  menggunakan metode sol-gel yang kemudian didopan dengan sulfur guna menghasilkan katalis, dengan variasi S/CuO sebesar 0,25/1 dan 0,75/1. Variasi katalis S/CuO yang diperoleh akan disebar terhadap material titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) dengan perbandingan 0,25/1 dan 0,75/1. Nanomaterial S/CuO/ $\text{TiO}_2$  yang terbentuk akan dilakukan uji antibakteri dan uji antijamur. Bakteri yang akan diuji adalah bakteri gram positif *Bacillus subtilis* dan bakteri gram negatif *Escherichia coli*, dan jamur yang akan diuji adalah jamur *Candida albicans* yang diiradiasi menggunakan sinar tampak. Karakterisasi akan dilakukan menggunakan beberapa instrumen seperti *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS).



## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Memperoleh hasil sintesis material CuO, katalis S/CuO dan nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub> sebagai agen antibakteri dan antijamur.
- 2) Mengetahui hasil karakterisasi nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub> dengan menggunakan instrumen XRD, FTIR dan DRS
- 3) Mengetahui hasil uji aktivitas antibakteri dan antijamur nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub> terhadap bakteri *Escherichia coli* dan *Bacillus subtilis*, serta jamur *Candida albicans*.

## 1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Memperoleh inovasi baru terkait penggunaan TiO<sub>2</sub> yang dikombinasikan dengan oksida logam CuO dan Sulfur atau yang dikenal dengan nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub>.
- 2) Mengetahui manfaat dari nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub> sebagai agen antibakteri dan antibakteri
- 3) Mengetahui hasil uji antibakteri dan antijamur menggunakan nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub> yang diradiasi menggunakan sinar tampak.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Nanomaterial dan Nanoteknologi

Nanoteknologi adalah cabang ilmu pengetahuan yang berkembang pesat dan berfokus pada manipulasi material di skala nanometer, yaitu sekitar 1 hingga 100 nanometer. Pada awalnya, sintesis material difokuskan pada skala mikro, namun seiring perkembangan teknologi dan kebutuhan material canggih, riset kini beralih ke skala nano. Nanomaterial menawarkan sifat-sifat fisis yang unik, seperti perubahan kekerasan, efek permukaan, dan penurunan titik lebur ketika ukuran partikel diperkecil. Teknologi ini melibatkan berbagai disiplin ilmu, termasuk fisika, kimia, ilmu material, serta rekayasa mekanik dan elektrik, dalam upaya menciptakan inovasi baru dalam fabrikasi dan aplikasi nanosains (Manurung, 2018).

Nanomaterial merupakan titik temu nanosains dan nanoteknologi. Nanomaterial telah mempunyai dampak komersial yang nyata dan diyakini pada masa mendatang misalnya obat berukuran nano. Nanopartikel adalah partikel berukuran antara 1 sampai dengan 100 nm. Dalam teknologi nano, suatu partikel didefinisikan sebagai suatu objek kecil yang berperilaku sebagai satu kesatuan berkaitan dengan teori transport dan sifat-sifatnya. Badan internasional kimia murni dan terapan atau *International Union of Pure and Applied Chemistry* atau disingkat IUPAC, mendefinisikan bahwa suatu partikel dapat digolongkan sebagai sesuatu yang berukuran di antara  $1 \times 10^{-9}$  sampai  $1 \times 10^{-7}$  m. Partikel-partikel tersebut selanjutnya dapat diklasifikasikan sesuai dengan besar diameter partikel. Pembagiannya adalah sebagai berikut:

- a. Partikel ultrahalus adalah sama seperti partikel nano yang berukuran 1 sampai dengan 100 nm.
- b. Partikel halus berukuran antara 100 sampai 2.500 nanometer.
- c. Partikel kasar mulai dari 2.500 sampai 10.000 nanometer.

### **2.1.1 Aplikasi Nanomaterial**

Nanomaterial memiliki beragam aplikasi di berbagai bidang berkat sifat-sifat unik yang dimiliki pada skala nano. Berikut ini beberapa aplikasi umum nanomaterial adalah sebagai berikut:

#### **a. Energi**

Nanomaterial seperti graphene dan  $\text{TiO}_2$  digunakan dalam baterai lithium-ion dan superkapasitor karena mampu meningkatkan kapasitas penyimpanan energi dan mempercepat waktu pengisian.

#### **b. Industri Medis dan Pengobatan**

Nanoteknologi memungkinkan pengembangan "mesin nano" untuk memperbaiki jaringan tubuh dan menawarkan alternatif pengobatan seperti semprotan untuk hipertensi. Dengan skala 0,1-100 nm, teknologi ini juga dapat menghasilkan material logam ringan dan efisien untuk industri. Selain itu, nanoteknologi meningkatkan efektivitas obat dengan dosis tepat dan berpotensi mengobati penyakit serius seperti kanker dan HIV.

#### **c. Elektronik**

Dalam elektronik, nanomaterial digunakan untuk membuat transistor dan sensor yang lebih kecil, cepat, dan efisien. Material seperti carbon nanotubes dan graphene digunakan untuk membuat perangkat dengan ukuran yang lebih kecil dan kinerja yang lebih tinggi.

#### **d. Tekstil dan Fashion**

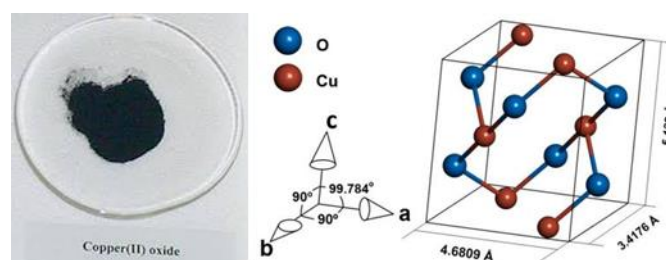
Nanomaterial, seperti nanopartikel perak, digunakan pada serat kain untuk memberikan sifat antimikroba, mencegah pertumbuhan bakteri, serta menjaga kesegaran pakaian lebih lama (Purwanto dkk., 2016).

### 2.1.2 Katalis Nanomaterial

Katalis adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. Suatu katalis berperan dalam reaksi tapi bukan sebagai pereaksi ataupun produk. Katalis dapat dibedakan ke dalam dua golongan utama: katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis heterogen adalah katalis yang ada dalam fase berbeda dengan pereaksi dalam reaksi yang dikatalisinya, sedangkan katalis homogen berada dalam fase yang sama. Salah satu contoh dari katalis yaitu nanokatalis  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$  3-CPMSL-Ni dalam uji katalitiknya yang dapat digunakan kembali secara magnetis untuk mereduksi 4-NP, NB, dan MO dengan adanya  $\text{NaBH}_4$  untuk meningkatkan aktivitas katalitiknya (Ahmad *et al.*, 2024).

## 2.2 Senyawa Tembaga Oksida (CuO)

Senyawa CuO adalah padatan hitam bersifat ionik dengan titik leleh sekitar  $1200^\circ\text{C}$ . Umumnya, CuO bersifat sebagai oksida basa yang mudah larut dalam asam mineral seperti asam klorida (HCl) dan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), menghasilkan garam tembaga (II). Salah satu kegunaan CuO adalah sebagai semikonduktor, karena memiliki band-gap sekitar 1,2 hingga 1,9 eV. CuO memiliki struktur monoklinik (Gambar 1) dan karakteristik menarik, seperti konduktivitas termal yang sangat baik, sifat fotovoltaiik, stabilitas tinggi, serta aktivitas antimikroba. Dari berbagai sifat tersebut, senyawa CuO banyak digunakan di bidang teknologi seperti katalis aktif (Yechezkel *et al.*, 2013).



**Gambar 1.** Struktur Kristal CuO (Ungeheuer *et al.*, 2022)

### 2.2.1 Metode Sintesis Nanopartikel CuO

Karakteristik material tembaga oksida (CuO) bergantung pada struktur dan morfologinya. Prosedur sintesis senyawa CuO memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ukuran dan morfologi material yang dihasilkan (Devaraji *et al.*, 2024). Perubahan struktur CuO menjadi skala nano, atau yang dikenal sebagai nanostruktur, telah berhasil dilakukan melalui berbagai metode sintesis, seperti metode sol-gel, hidrotermal, dan pengendapan kimia. (Zhang *et al.*, 2014).

#### a. Metode Sol-gel

Metode sol-gel adalah proses sintesis nanopartikel yang melibatkan dua fase utama, yaitu sol dan gel. Prinsipnya dimulai dengan pembentukan prekursor, yang biasanya berupa garam organik atau senyawa metal organik, diikuti oleh proses polimerisasi larutan. Setelah itu, diperlukan pengeringan dan kalsinasi untuk menghilangkan senyawa organik dan membentuk oksida logam sebagai produk anorganik.

#### b. Metode Hidrotermal

Metode hidrotermal adalah teknik pengkristalan yang memanfaatkan suhu tinggi dan tekanan tinggi pada campuran. Metode ini juga dikenal sebagai proses yang menggunakan panas dan air. Dalam praktiknya, metode ini biasanya dilakukan dengan pemanasan dalam wadah tertutup, seperti autoklaf.

#### c. Metode Pengendapan

Metode pengendapan melibatkan reaksi antara material dasar dengan reaktan tertentu. Produk pengendapan yang terbentuk kemudian digabungkan secara stoikiometris untuk membentuk senyawa yang diinginkan. Proses ini dimulai dengan melarutkan zat aktif dalam pelarut, kemudian menambahkan larutan lain yang tidak melarutkannya. Hal ini menyebabkan larutan menjadi jenuh, memicu nukleasi, dan menghasilkan pembentukan nanopartikel.

### 2.2.2 Aplikasi Nanopartikel CuO sebagai Antibakteri dan Antijamur

Nanopartikel CuO berperan penting sebagai katalis dalam reaksi organik, sehingga memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan oleh para ahli kimia. Aplikasi nanopartikel CuO menjadi topik menarik bagi fisikawan dan insinyur material. Sebagai semikonduktor tipe-p dengan celah pita tidak langsung antara 1,2 hingga 1,5 eV, oksida tembaga (CuO) telah dimanfaatkan secara luas dalam berbagai bidang, termasuk sebagai bahan elektroda aktif untuk baterai Li-ion, pemancar emisi medan (FE), katalis heterogen, sensor gas, dan sel surya (Maruthupandy *et al.*, 2024). Di bidang lain, nanopartikel CuO menunjukkan potensi besar dan menarik minat para ilmuwan, terutama dalam aplikasi biomedis, seperti yang dibahas dalam penelitian ini terkait uji aktivitas antibakteri dan antijamurnya. Nanopartikel oksida logam, seperti CuO, ZnO, dan  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , merupakan agen antibakteri dan antijamur yang sangat efektif dalam mengobati berbagai infeksi yang disebabkan oleh bakteri, termasuk *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus*, dan *Candida albicans*. Penelitian (Aziz *et al.*, 2024), menunjukkan bahwa nanopartikel CuO mengganggu membran sel bakteri, yang berujung pada kematian sel. Proses ini melibatkan pelepasan spesies oksigen reaktif (ROS) dan ion tembaga, yang memicu stres oksidatif dan kerusakan pada komponen seluler. Selain itu, nanopartikel CuO juga menunjukkan aktivitas antijamur yang signifikan yang menyebabkan stres oksidatif dan kerusakan pada komponen seluler. Selain itu, nanopartikel CuO juga menunjukkan efek antijamur yang kuat.

### 2.3 Sulfur (S)

Sulfur, yang disimbolkan dengan huruf S dalam ilmu kimia, memiliki massa atom 32. Kandungan sulfur yang paling banyak ditemukan di alam terdapat di perut bumi, khususnya dalam batuan sedimen, sekitar  $8 \times 10^9$  kg. Di atmosfer, sulfur muncul dalam bentuk senyawa seperti  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , dan  $\text{SO}_3$ . Dalam keadaan alami, sulfur lebih stabil sebagai senyawa sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Di atmosfer, terjadi reaksi

oksidasi dari  $\text{SO}_2$  menjadi  $\text{SO}_3$ , yang kemudian berubah menjadi sulfat. Di litosfer, reaksi reduksi dan oksidasi dari berbagai senyawa sulfur terjadi dengan bantuan mikroorganisme (Solehudin, 2009).

### 2.3.1 Aplikasi Sulfur

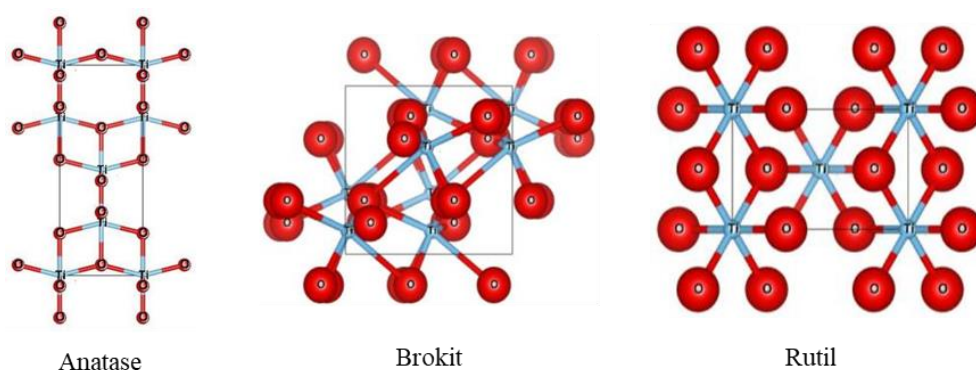
Sulfur memiliki berbagai aplikasi dalam teknologi dan banyak digunakan di industri pupuk, farmasi, rayon, kertas, pulp, baterai penyimpanan, deterjen, gula, pengawet makanan, kaca, dan sabun. Selain itu, sulfur juga digunakan untuk memproduksi  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , dan  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (Deshpande, 2008). Salah satu aplikasi menarik yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai agen antibakteri. Sepanjang sejarah, sulfur dikenal sebagai agen antibakteri dan telah diberikan secara oral untuk mengatasi infeksi bakteri, serta digunakan secara topikal sebagai disinfektan untuk mengobati infeksi kulit (Saida *et al.*, 2012).

### 2.3.2 Riset Antimikroba Sulfur

Penelitian (Deng *et al.*, 2018), telah mempelajari sifat permukaan antimikroba dari poli(sulfur-co-diisopropenylbenzene) (S-DIB). Hasilnya menunjukkan bahwa permukaan berlapis polimer tersebut dapat membunuh hingga 72% *Escherichia coli* dalam sampel yang mengandung 50% sulfur berdasarkan persentase berat. Namun, penelitian ini juga mengindikasikan bahwa S-DIB sebagai pengikat silang tidak optimal untuk aktivitas antimikroba, karena hanya berfokus pada satu jenis bakteri dan mengevaluasi aktivitas antimikroba dalam periode singkat (5 menit hingga 4 jam) melalui pelapisan dan semprotan film polimer tipis. Oleh karena itu, terdapat kebutuhan untuk menggabungkan sulfur dengan material lain, seperti oksida logam  $\text{CuO}$  dan nanopartikel  $\text{TiO}_2$ , untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensinya sebagai agen antimikroba.

## 2.4 Nanopartikel Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ )

Titanium dioksida atau lebih dikenal Titania dengan rumus kimia  $\text{TiO}_2$  adalah material semikonduktor ramah lingkungan yang memiliki aktivitas fotokatalisis yang baik (Linsebigler *et al.*, 1995). Titanium dioksida telah banyak diteliti secara luas sebagai bahan fungsional yang paling menjanjikan dan diterapkan pada banyak bidang, seperti fotokatalis, sel surya, fotosintesis, dan lain-lain. Selain itu,  $\text{TiO}_2$  pada bidang katalis dan lingkungan banyak diteliti karena memiliki beberapa keunggulan diantaranya memiliki sifat optik yang baik, tidak beracun, harga relatif murah, memiliki aktivitas fotokatalis yang baik, semikonduktor dengan band gap yang lebar, tidak larut dalam air, memiliki permukaan yang luas, stabilitas mekanik dan termal yang tinggi dan bersifat ramah lingkungan (Suchaya *et al.*, 2016). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ye dan Ohmori (2002), dilaporkan bahwa material  $\text{TiO}_2\text{-Fe}_3\text{O}_4$  terdiri atas fase  $\text{TiO}_2$  anatase,  $\text{TiO}_2$  rutil,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan  $\text{FeTiO}_3$  dengan kandungan  $\text{TiO}_2$  anatase diperkirakan mencapai 4% dimana lebih rendah dibandingkan dengan  $\text{TiO}_2$  yang telah dilapis mencapai 8-15%. Upaya pelapisan material  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada  $\text{TiO}_2$  mampu meningkatkan aktivitas katalitik dalam menguraikan asetaldehida dibawah sinar ultraviolet. Titanium dioksida memiliki tiga bentuk kristal, yaitu rutil, anatase, dan brokit dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Struktur Kristal  $\text{TiO}_2$  (Ye and Omori, 2020)



### 2.4.1 Metode Sintesis Nanopartikel TiO<sub>2</sub>

Menurut Destriani (2023) hasil kompilasi dari beberapa penelitian terdahulu digunakan untuk menyimpulkan berbagai macam metode sintesis yang digunakan dan karakterisasi TiO<sub>2</sub> yang berukuran nano.

#### a. Metode Hidrotermal

Sintesis hidrotermal biasanya dilakukan di dalam bejana tekanan baja yang dinamai dengan autoklaf dengan atau tanpa pelapis Teflon di bawah suhu atau tekanan yang terkendali dengan reaksi dalam larutan berair. Temperatur dapat dinaikkan di atas titik didih air, mencapai tekanan saturasi uap. Temperatur dan jumlah larutan yang ditambahkan kedalam autoklaf sangat menentukan tekanan internal yang dihasilkan.

#### b. Metode Solvothermal

Metode solvothermal hampir sama dengan metode hidrotermal namun pembedanya pada metode ini adalah pelarut yang digunakan tidak mengandung air. Suhu yang digunakan pada metode ini dapat dinaikkan lebih tinggi dibandingkan dengan metode hidrotermal, karena berbagai pelarut organik dengan titik didih tinggi dapat dipilih.

#### c. Metode Sol-gel

Proses sol-gel dalam pembuatan keramik melibatkan pembentukan suspensi koloid dari reaksi hidrolisis dan polimerisasi prekursor, yang berubah menjadi gel padat melalui penghilangan pelarut. Gel ini kemudian dikeringkan dan dipanaskan untuk menjadi keramik. Teknik ini juga memungkinkan pembuatan film tipis, serat keramik, dan serbuk ultrahalus (Karlina dkk, 2023).

#### d. Deposisi Uap Kimia

Deposisi uap adalah proses pengkondensasi bahan dalam keadaan uap menjadi bahan padat, digunakan untuk membentuk lapisan yang mengubah sifat mekanik, listrik, termal, optik, dan ketahanan. Dalam chemical vapor deposition (CVD), gas dipanaskan untuk mendorong reaksi pengendapan. Parameter seperti laju alir, komposisi gas, suhu, tekanan, dan geometri ruang deposisi dikontrol untuk mendapatkan material nano yang diinginkan (Karlina dkk, 2023).

### 2.4.2 Aplikasi TiO<sub>2</sub> Sebagai Antimikroba

Penggunaan antibiotik yang meluas telah memunculkan strain bakteri resistan, menimbulkan kekhawatiran terkait keamanan pangan dan kesehatan. Minat pada zat antimikroba baru berfokus pada nanopartikel oksida logam seperti ZnO, MgO, TiO<sub>2</sub>, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. TiO<sub>2</sub>, sebagai oksida logam transisi semikonduktor, menunjukkan sifat antijamur dan antibakteri yang sangat baik, mudah dikendalikan, murah, tidak beracun, dan tahan erosi kimia, serta diaplikasikan dalam optik, sel surya, sensor kimia, elektronik, dan sebagai agen antibakteri dan antijamur (Dicastillo *et al.*, 2020). Sifat ini ditingkatkan dengan sintesis nanopartikel TiO<sub>2</sub>.

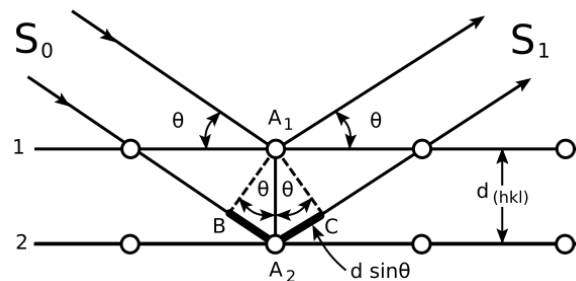
## 2.5 Karakterisasi Nanomaterial

Karakterisasi nanomaterial dilakukan untuk mengetahui struktur dan bentuk dari nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub>. Beberapa instrumen yang biasa digunakan untuk karakterisasi nanopartikel yaitu *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Scanning Electron Microscope* (SEM), dan Spektrofotometer DRS-VIS.

### 2.5.1 X-Ray Diffraction (XRD)

Difraksi sinar-X adalah teknik analitik non-destruktif yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis berbagai bentuk kristal dalam sampel serbuk dan padat. Identifikasi material dilakukan dengan membandingkan difraktogram dengan database dari JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*) (Munasir *et al.*, 2012). Selain geologi, teknik XRD juga diterapkan dalam arkeologi, teknik sipil, teknik kimia, dan kedokteran, serta memiliki keunggulan dalam mengidentifikasi jenis mineral lempung dengan jelas, yang sulit dilakukan melalui analisis petrografi. Difraksi terjadi ketika gelombang mengalami

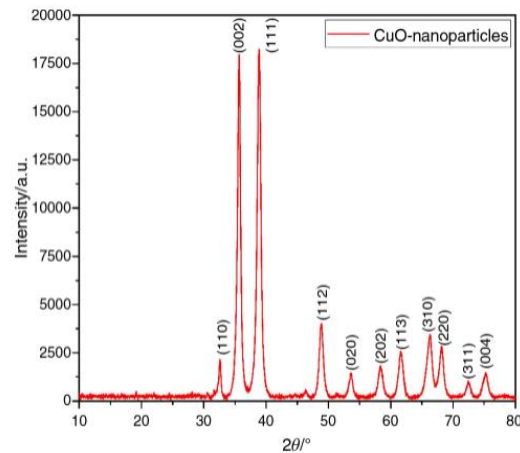
pembiasan atau pembelokan saat melewati gangguan, seperti kisi kristal. Hal ini mengakibatkan gelombang tersebut tersebar ke berbagai arah, yang dapat menyebabkan penguatan atau pelemahan sinyal tergantung pada kondisi yang terjadi (Muttaqin dkk., 2023)



**Gambar 3.** Model Difraksi Bragg (Subaer, 2015)

Pola difraktogram yang dihasilkan berupa deretan puncak difraksi dengan intensitas relatif yang bervariasi pada nilai  $2\theta$  tertentu. Besarnya intensitas relatif dari puncak-puncak ini dipengaruhi oleh jumlah atom atau ion serta distribusinya dalam sel satuan material. Setiap padatan kristalin memiliki pola difraksi yang sangat khas, tergantung pada kisi kristal, parameter unit, dan panjang gelombang sinar-X yang digunakan. Oleh karena itu, kemungkinan untuk mendapatkan pola difraksi yang sama pada padatan kristalin yang berbeda sangat kecil.

Penelitian ini menggunakan analisis XRD yang bertujuan untuk mengetahui fasa kristalin dari CuO,  $\text{TiO}_2$  dan S/CuO/ $\text{TiO}_2$ . Berdasarkan penelitian (Ahirwar and Kumar, 2023) yang ditunjukkan pada (Gambar 3), Pola XRD nanopartikel CuO menunjukkan puncak difraksi pada  $2\theta = 35,63^\circ$  yang merupakan puncak khas dari senyawa CuO.



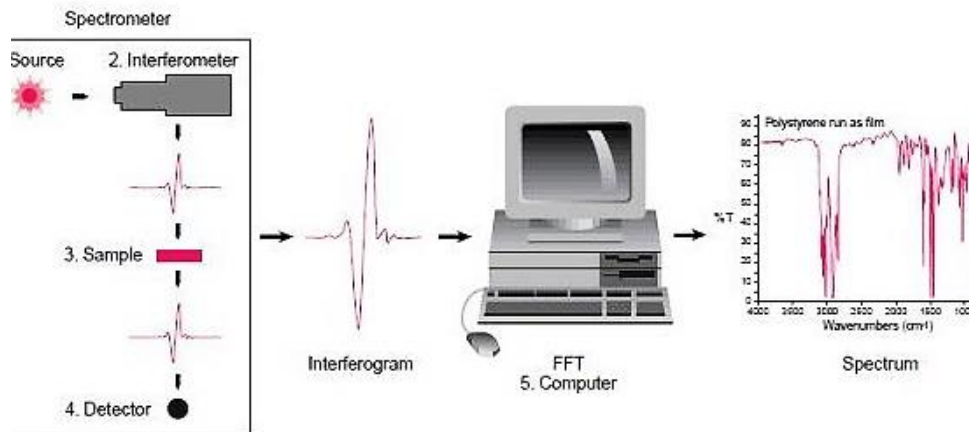
**Gambar 4.** Pola XRD Senyawa CuO (Ahirwar and Kumar,2023)

### 2.5.2 Spektrofotometer FTIR

Spektroskopi FTIR adalah metode analisis yang digunakan untuk karakterisasi bahan polimer dan analisis gugus fungsi. Metode ini melibatkan penentuan dan perekaman spektra residu berdasarkan penyerapan energi oleh molekul organik dalam sinar infra merah, yang memiliki panjang gelombang antara  $1\text{-}500\text{ cm}^{-1}$ . Setiap gugus dalam molekul memiliki karakteristik unik, sehingga FTIR dapat digunakan untuk mendeteksi gugus tertentu pada polimer. Intensitas pita serapan mencerminkan konsentrasi gugus khas dalam polimer. Metode ini bergantung pada interaksi antara radiasi infra merah dengan materi, yang mengakibatkan absorbansi pada frekuensi atau panjang gelombang tertentu terkait dengan energi transisi antara keadaan energi vibrasi dan rotasi molekul. Radiasi infra merah yang relevan untuk menentukan struktur atau analisis gugus fungsi terletak pada rentang  $650\text{ cm}^{-1}$  hingga  $4000\text{ cm}^{-1}$  (Patel, 2015).

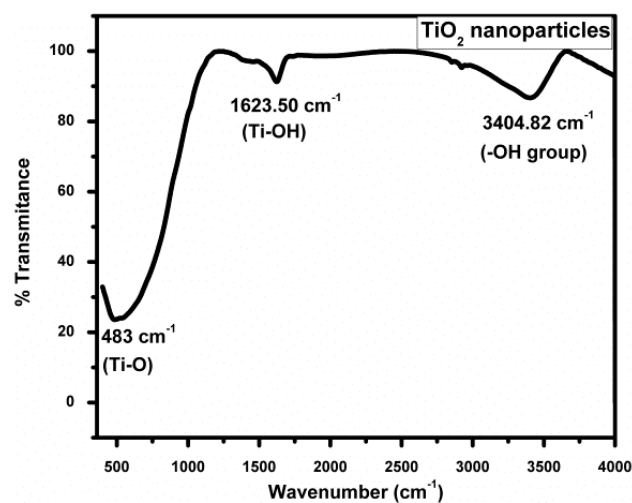
Prinsip kerja spektrofotometer FTIR dapat dilihat pada (Gambar 5), di dalam proses ini, sinar infra merah melewati celah yang berfungsi untuk mengontrol jumlah energi yang disalurkan ke sampel. Sebagian sinar infra merah diserap oleh sampel, sementara sebagian lainnya ditransmisikan melalui permukaan sampel, sehingga sinar tersebut mencapai detektor. Sinyal yang terukur kemudian dikirim ke komputer untuk menghasilkan gambaran spektrum sampel yang telah diuji.

Spektrum ini menunjukkan korelasi antara bilangan gelombang dan intensitas serapan sampel.



**Gambar 5.** Instrumen Spektroskopi FTIR (Mohamed *et al.*, 2017)

Analisis FTIR pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gugus fungsional yang terdapat pada hasil analisis. Rentang bilangan gelombang yang digunakan dalam penelitian ini yaitu  $3500\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ . Berdasarkan hasil analisis FTIR  $\text{TiO}_2$  pada penelitian (Chougala *et al.*, 2017 (Gambar 6), mode Ti-O dan getaran deformasi dari mode peregangan Ti-OH dapat diamati pada bilangan gelombang  $483\text{ cm}^{-1}$  dan  $1623,50\text{ cm}^{-1}$ . Selain itu, getaran peregangan asimetris dan simetris dari gugus hidroksil (-OH) terdeteksi pada bilangan gelombang  $3404,82\text{ cm}^{-1}$ . Pita yang muncul pada bilangan gelombang  $1623,50\text{ cm}^{-1}$  dapat dikaitkan dengan keberadaan air yang teradsorpsi di permukaan  $\text{TiO}_2$ .



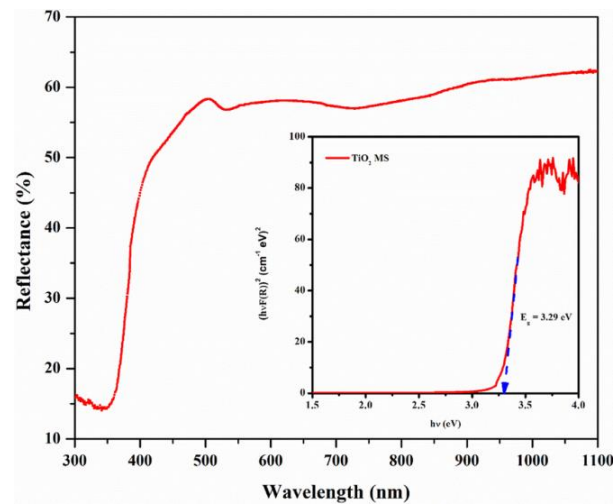
**Gambar 6.** Hasil Analisis FTIR  $\text{TiO}_2$  (Chougala *et al.*, 2017)

### 2.5.3 Spektrofotometer DRS UV-VIS

Diferensial reflektansi spektroskopi (DRS) adalah teknik analitis yang memanfaatkan sinar ultraviolet (UV), cahaya terlihat, atau inframerah (IR) sebagai media penyelidikan. Interaksi cahaya dengan bahan yang sangat menyerap, seperti logam, paduan, dan semikonduktor, terjadi pada lapisan 10-20 nm pertama. Reflektometer diferensial kemudian menganalisis 50-100 atom dari lapisan permukaan padat yang tidak transparan. Spektrofotometer UV-Vis DRS digunakan untuk menentukan nilai band-gap pada material semikonduktor. Band-gap adalah celah antara pita valensi dan pita konduksi, dan nilainya sangat penting karena mempengaruhi kinerja semikonduktor dalam mengalirkan elektron dan hole (Hummel *and* Dubroca, 2000).

Metode DRS berlandaskan pada pengukuran intensitas UV-Vis yang dipantulkan oleh sampel. Prinsip dasar metode ini cukup sederhana, ketika material disinari dengan gelombang elektromagnetik, foton akan diserap oleh elektron dalam material tersebut. Ketika cahaya mengenai suatu bahan, sebagian akan diserap, dipantulkan, dan ditransmisikan. Terdapat tiga proses interaksi antara foton dan elektron dalam bahan, yaitu absorpsi, emisi spontan, dan emisi terimbas (Hummel *and* Dubroca, 2000).

Pada Gambar 7, Mikrosfer  $\text{TiO}_2$  yang disiapkan menunjukkan reflektansi tinggi dalam rentang panjang gelombang 300 hingga 1100 nm, yang meningkatkan kemampuan penyebaran cahaya. Energi celah pita (band-gap) material ini dihitung menggunakan metode Kubelka-Munk, dan ditemukan sebesar 3,29 eV, sesuai dengan  $\text{TiO}_2$  curah. Selain itu, uji penyerapan zat warna N719 pada  $\text{TiO}_2$  MS menunjukkan bahwa mikrosfer ini dapat menyerap lebih banyak zat warna dibandingkan P25. Ini berpotensi meningkatkan kinerja dalam menghasilkan arus listrik yang lebih tinggi.



**Gambar 7.** Spektrum DRS dan Plot Kubelka Munk  $\text{TiO}_2$

## 2.6 Iradiasi Sinar Tampak

Iradiasi sinar tampak pada nanomaterial, khususnya pada material semikonduktor seperti  $\text{CuO/TiO}_2$ , dapat memicu aktivitas fotokatalitik yang meningkatkan efisiensi nanomaterial dalam membunuh bakteri dan jamur. Mekanisme dasar dari proses ini melibatkan aktivasi elektron di dalam struktur semikonduktor ketika material tersebut terkena cahaya tampak.

Ketika nanomaterial seperti  $\text{CuO/TiO}_2$  terpapar sinar tampak, foton dengan energi yang cukup akan menyebabkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi, meninggalkan lubang (hole) di pita valensi. Proses ini menciptakan pasangan elektron-hole, yang kemudian bereaksi dengan oksigen dan air di lingkungan sekitarnya untuk membentuk spesies oksigen reaktif (ROS) seperti radikal hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ), superoksida ( $\text{O}_2^-$ ), dan hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Spesies oksigen reaktif ini sangat reaktif dan dapat merusak komponen vital sel mikroba, seperti membran sel, protein, dan DNA, sehingga mengakibatkan kematian bakteri atau jamur. Nanomaterial yang diiradiasi oleh sinar tampak sering kali lebih efektif dibandingkan material yang tidak diiradiasi, karena sinar tampak mempercepat pembentukan ROS (Ouyang *and* Luo, 2020). Selain itu, nanomaterial yang dioptimalkan dengan komposisi tertentu, seperti perbandingan

antara S/CuO/TiO<sub>2</sub>, juga mempengaruhi efektivitasnya dalam menghasilkan ROS dan dalam menghambat mikroorganisme.

## 2.7 Tinjauan Umum Bakteri

Bakteri merupakan organisme bersel tunggal yang berukuran sangat kecil, yaitu berkisar 0,5 – 3,0 mikrometer. Bakteri, yang berasal dari kata Latin "*bacterium*," adalah organisme prokariotik yang tidak memiliki membran inti sel dan berukuran mikroskopis, sehingga sulit dideteksi tanpa mikroskop. Dinding sel bakteri, yang terbuat dari peptidoglikan, berfungsi memberikan bentuk, melindungi dari lingkungan luar, dan mengatur pertukaran zat. Teknik pewarnaan Gram digunakan untuk membedakan struktur dinding sel bakteri. Bakteri Gram positif memiliki dinding sel tebal dari peptidoglycan, sementara bakteri Gram negatif memiliki dinding sel tipis yang dikelilingi oleh lapisan luar. Pewarna Safranin O dapat diserap oleh bakteri Gram negatif, yang memiliki ruang periplasmik berisi enzim dan protein pengangkut. Kompleks crystal violet-iodine dapat dengan mudah lolos melalui lapisan luar bakteri Gram negatif. (Mittal, 2011; Nalawati, 2015). Dalam penelitian ini dilakukan uji antibakteri dari nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub> terhadap bakteri patogen bergram negatif *Escherichia coli* dan bakteri patogen bergram positif *Bacillus subtilis*.

### 2.7.1 *Escherichia coli*

Menurut Adelberg (2008), adapun klasifikasi *Escherichia coli* sebagai berikut.

|         |                             |
|---------|-----------------------------|
| Kingdom | : <i>Prokaryotae</i>        |
| Divisi  | : <i>Gracilicutes</i>       |
| Kelas   | : <i>Schizomycetes</i>      |
| Ordo    | : <i>Eubacteriales</i>      |
| Famili  | : <i>Enterobacteriaceae</i> |
| Genus   | : <i>Escherichia</i>        |



Spesies : *Escherichia coli*



**Gambar 8.** Bakteri *Escherichia coli* (Khakim dan Rini, 2018)

*Escherichia coli* (*E. coli*) merupakan bakteri gram-negatif berbentuk batang dan memiliki sifat anaerob fakultatif. Bakteri yang termasuk dalam famili *Enterobacteriaceae* ini merupakan flora normal pada usus manusia yang juga berfungsi untuk membantu sintesis vitamin K. Selain itu, *E.coli* juga dapat berkembang biak di lingkungan sekitar manusia dan berfungsi sebagai pengurai. 1,2 *E. coli* dapat menjadi patogen terhadap manusia apabila jumlahnya meningkat di dalam tubuh. Keberadaan *E. coli* dalam air atau makanan dianggap berkaitan erat dengan ditemukannya bibit penyakit pada pangan. Bakteri ini memproduksi enterotoksin yang peranannya terhadap penyakit diare telah diketahui secara luas (Bahar dan Zulfa, 2018).

*Escherichia coli* memiliki karakteristik biokimia seperti kemampuan memproduksi indol, tidak dapat memfermentasi sitrat, dan menunjukkan hasil negatif pada analisis urease. Bakteri ini umumnya hidup di saluran pencernaan manusia atau hewan, dan mampu bertahan di lingkungan yang sulit. *Escherichia coli* dapat tumbuh di air tawar, air laut, atau tanah, meskipun terpapar pada kondisi abiotik dan biotik. Bakteri ini juga dapat bertahan dalam lingkungan yang tidak menguntungkan, seperti pH rendah, perubahan suhu, dan tekanan osmotik. Kemampuannya bertahan selama proses pendinginan dan pembekuan menjadikan *Escherichia coli* toleran terhadap kondisi kering. (Rahayu dkk., 2018).

### 2.7.2 *Bacillus subtilis*

Menurut (Napitupulu dkk., 2019) klasifikasi *Bacillus subtilis* adalah sebagai berikut:

|         |                                        |
|---------|----------------------------------------|
| Domain  | : <i>Bacteria</i>                      |
| Kingdom | : <i>Prokaryotae Phylum : Bacteria</i> |
| Class   | : <i>Schizomycetes</i>                 |
| Ordo    | : <i>Eubacteriales</i>                 |
| Famili  | : <i>Bacillaceae</i>                   |
| Genus   | : <i>Bacillus</i>                      |
| Spesies | : <i>Bacillus subtilis</i>             |



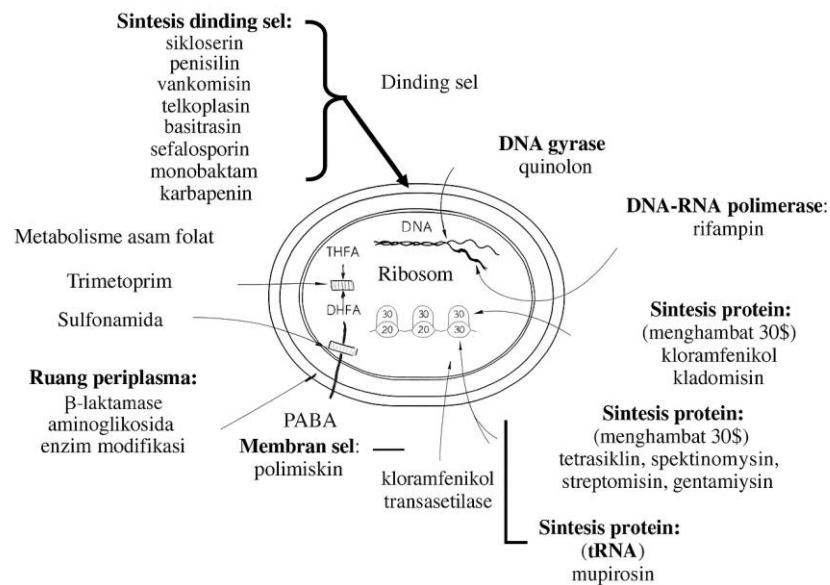
**Gambar 9.** Bakteri *Bacillus subtilis* (Sulistiyani *et al.*, 2021)

*Bacillus subtilis* adalah bakteri Gram positif berbentuk batang yang membentuk rantai, bersifat aerob obligat namun juga anaerob fakultatif. Bakteri ini menghasilkan endospora sebagai bentuk bertahan dalam kondisi lingkungan yang tidak mendukung. Suhu optimal pertumbuhan *Bacillus subtilis* berkisar antara 30-37°C, dengan batas minimum 18°C dan maksimum 43°C. Banyak spesies dari genus *Bacillus* yang bersifat saprofit dan umumnya ditemukan di tanah yang kaya karbohidrat, air, udara, serta tanaman. Beberapa spesies bersifat patogen, menghasilkan enterotoksin atau toksin emetik yang dapat membuat makanan beracun. *Bacillus subtilis* dapat menyebabkan berbagai penyakit pada manusia, seperti meningitis, endokarditis, konjungtivitis, dan gastroenteritis akut. Sel *Bacillus subtilis* berukuran 1 x 3,4 µm, berbentuk batang, tidak bergerak, memiliki flagela, serta spora yang terletak di tengah sel. Morfologi koloni

*Bacillus subtilis* sangat bervariasi tergantung komposisi media. Infeksi *Bacillus subtilis* dapat menyebabkan gejala seperti diare dan muntah (Napitupulu dkk., 2019).

### **2.7.3 Mekanisme Antibakteri**

Antibakteri adalah senyawa yang digunakan untuk menghambat pertumbuhan bakteri yang merugikan. Pengendalian pertumbuhan mikroorganisme bertujuan untuk mencegah penyebaran penyakit dan infeksi, membasmi mikroorganisme pada inang yang terinfeksi, serta mencegah kerusakan bahan oleh mikroorganisme. Antibakteri yang digunakan pada penelitian adalah kloramfenikol. Pemilihan kloramfenikol sebagai kontrol positif dikarenakan kloramfenikol merupakan antibakteri berspektrum luas, sehingga mampu membunuh bakteri gram positif maupun gram negatif. Bakteri dikatakan resisten apabila menghasilkan diameter zona hambat sebesar  $<20$  mm (Utomo dkk., 2018). Senyawa antibakteri biasanya bekerja dengan cara merusak dinding sel, mengubah permeabilitas membran, mengganggu sintesis protein, dan menghambat aktivitas enzim. Skema mekanisme antibakteri dapat dilihat pada Gambar 10.



### Gambar 10. Mekanisme Antibakteri

Target mekanisme antibakteri adalah sebagai berikut:

- a. Mengganggu dinding sel bakteri

Antibakteri seperti beta-laktam (misalnya, penisilin) bekerja dengan menghambat sintesis dinding sel bakteri. Bakteri yang memiliki dinding sel yang rusak tidak dapat mempertahankan tekanan osmotik, sehingga menyebabkan lisis (pecahnya) sel.

- b. Mengubah permeabilitas membran sel

Antibakteri seperti polimiksin B berinteraksi dengan fosfolipid dalam membran sel bakteri, menyebabkan perubahan permeabilitas membran. Ini memungkinkan zat-zat yang seharusnya tidak masuk ke dalam sel, sehingga mengganggu fungsi sel dan menyebabkan kebocoran material intraseluler.

- c. Menghambat sintesis protein

Antibakteri seperti tetrasiklin dan kloramfenikol bekerja dengan menghambat ribosom bakteri, yang mencegah sintesis protein esensial bagi pertumbuhan dan kelangsungan hidup bakteri.

- d. Mengganggu sintesis asam nukleat

Antibakteri seperti kuinolon (misalnya, siprofloksasin) menghambat enzim DNA girase, yang penting untuk replikasi DNA bakteri. Tanpa replikasi DNA, bakteri tidak dapat berkembang biak dan mati.

e. Menghambat aktivitas enzim

Antibakteri seperti sulfonamida menghambat enzim yang terlibat dalam jalur metabolik penting untuk sintesis folat, yang esensial bagi pertumbuhan bakteri. Tanpa folat, bakteri tidak dapat menghasilkan DNA dan RNA, sehingga pertumbuhannya terhambat ( Willey *et al.*, 2008).

#### **2.7.4 Metode Pengujian Bakteri**

Dalam penelitian ini, uji aktivitas antibakteri dilakukan menggunakan metode difusi sumur. Metode ini adalah salah satu teknik untuk menguji kepekaan bakteri terhadap zat antimikroba dengan cara membuat sumur atau lubang pada media uji. Prosedur ini dimulai dengan membuat lubang berdiameter 6 mm di media menggunakan pipet, kemudian zat antimikroba dengan konsentrasi tertentu ditambahkan ke dalam sumur tersebut. Media padat sebelumnya sudah diinokulasi dengan bakteri yang akan diuji. Setelah proses inkubasi selama 24 jam, zona hambat di sekitar sumur diamati untuk melihat apakah ada penghambatan pertumbuhan bakteri. Metode ini dipilih karena zona hambat yang terbentuk lebih mudah terlihat, baik di permukaan maupun di dasar media, sehingga memberikan hasil yang lebih jelas dan akurat. Berdasarkan penelitian sebelumnya, metode ini memungkinkan ekstrak antimikroba untuk terdifusi lebih merata dan homogen di dalam media, sehingga menghasilkan konsentrasi yang lebih kuat untuk menghambat pertumbuhan bakteri. Menurut Wulandari dan Khotibul (2023), metode difusi sumur menunjukkan efektivitas yang lebih baik dalam menyebarkan zat antimikroba secara keseluruhan, sehingga memberikan hasil yang lebih optimal dalam pengujian antibakteri.

### **2.8 Tinjauan Umum Jamur**

Jamur adalah organisme yang tidak memiliki klorofil, sehingga tidak mampu melakukan fotosintesis untuk menghasilkan makanan sendiri. Mereka

memperoleh nutrisi seperti selulosa, glukosa, lignin, protein, dan pati dari organisme lain melalui proses penguraian. Jamur umumnya hidup sebagai heterotrof, yang berarti mereka bergantung pada organisme lain untuk makanan, serta saprofit, yang hidup dari materi organik mati atau limbah. Dalam bahasa Inggris, jamur dikenal sebagai *mushroom* dan termasuk dalam kelompok *Fungi*. Secara struktural, jamur terdiri dari benang-benang yang disebut hifa, dan kumpulan hifa ini membentuk miselium. Miselium ini dapat mengandung berbagai pigmen, seperti merah, ungu, kuning, coklat, dan abu-abu, yang sering kali menjadi ciri khas spesies tertentu. Selain itu, jamur juga dapat membentuk spora dengan beragam warna, seperti hijau, biru-hijau, kuning, jingga, hingga merah muda (Ahmad, 2018). Dalam penelitian ini dilakukan uji antibakteri dari nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub> terhadap jamur patogen yaitu *Candida albicans*.

### 2.8.1 *Candida albicans*

Menurut (Marbun, 2021) klasifikasi *Candida albicans* adalah sebagai berikut:

|         |                             |
|---------|-----------------------------|
| Domain  | : <i>Eukaryota</i>          |
| Kingdom | : <i>Ascomycota</i>         |
| Class   | : <i>Saccharomycetes</i>    |
| Ordo    | : <i>Saccharomycetales</i>  |
| Famili  | : <i>Saccharomycetaceae</i> |
| Genus   | : <i>Candida</i>            |
| Spesies | : <i>Candida albicans</i>   |



**Gambar 11.** Morfologi Jamur *Candida albicans* (Tazkiatulmilla, 2020)

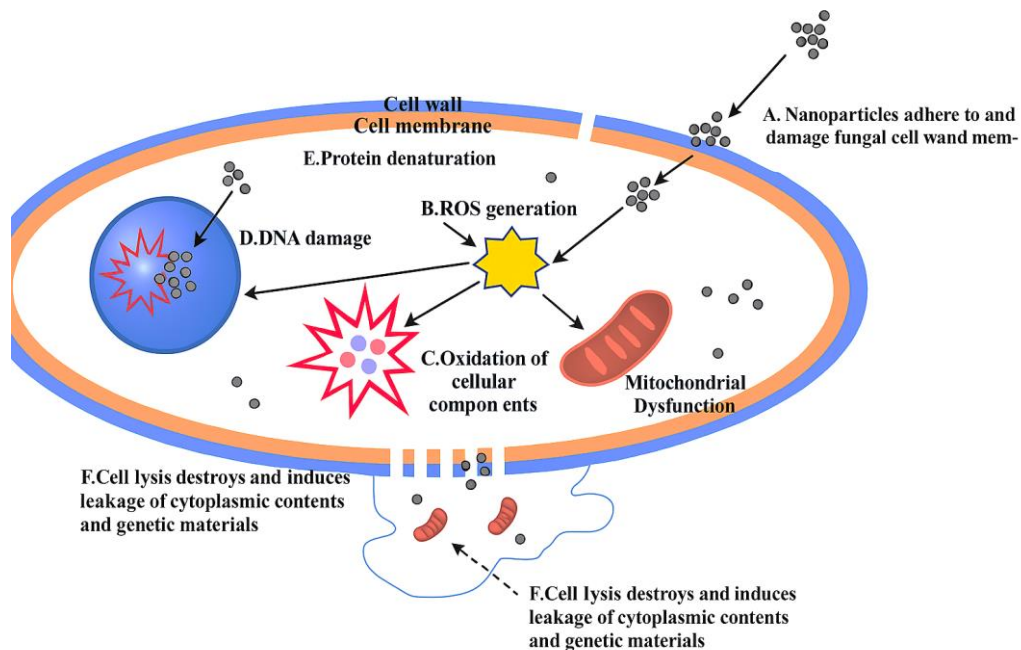
Jamur *Candida albicans* telah dikenal dan diteliti sejak abad ke-18 sebagai penyebab berbagai infeksi yang seringkali terkait dengan kebersihan yang buruk. Nama *Candida* pertama kali diperkenalkan pada *Third International Microbiology Congress* di New York tahun 1938, dan kemudian dibakukan pada *Eight Botanical Congress* di Paris pada tahun 1954. *Candida albicans* tumbuh dengan baik pada suhu 25-30°C dan juga pada suhu tubuh manusia, yaitu 35-37°C. Jamur ini menjadi salah satu agen utama penyebab infeksi pada manusia, terutama pada individu dengan sistem imun yang lemah (Marbun, 2021).

*Candida albicans* adalah jamur berbentuk lonjong yang berkembang biak melalui proses bertunas, menghasilkan struktur yang disebut pseudomiselium. Jamur ini merupakan flora normal yang ditemukan pada selaput lendir saluran pernapasan, saluran pencernaan, dan organ genital wanita. Di lingkungan tersebut, *Candida albicans* dapat berkembang dan berhubungan dengan kondisi patogen ketika mendominasi flora normal. Pada individu dengan sistem kekebalan yang lemah atau tertekan, *Candida albicans* dapat menyebabkan penyakit sistemik progresif. Infeksi ini dapat berlanjut menjadi invasi aliran darah, tromboflebitis, endokarditis, atau infeksi pada mata dan organ lainnya (Talapko *et al.*, 2021). Patogenitas *Candida albicans* sangat dipengaruhi oleh dinding selnya, yang berinteraksi langsung dengan sel-sel inang. Dinding sel ini memiliki sifat immunosupresif yang meningkatkan kemampuannya dalam mempertahankan diri terhadap sistem imun inang. Selain itu, *Candida albicans* mampu menembus mukosa dan menginvasi jaringan berkat aktivitas enzim proteinase aspartil yang dimilikinya. Keparahan infeksi juga dipengaruhi oleh bentuk hifa yang terdapat pada koloni *Candida albicans*. Hifa memiliki virulensi yang tinggi karena ukuran besarnya, yang membuatnya sulit difagositosis oleh makrofag. Selain itu, hifa memiliki kemampuan regenerasi dan reproduksi yang lebih baik (Sari, 2012).

### 2.8.2 Mekanisme Antijamur

Antijamur mempunyai dua pengertian yaitu *fungisidal* dan *fungistatik*. *Fungisidal* adalah suatu senyawa yang dapat membunuh jamur, sedangkan *fungistatik* dapat

menghambat pertumbuhan jamur tanpa mematikannya (Herkamela dan Yenny, 2022). Tujuan utama pengobatan infeksi jamur adalah membunuh organisme yang patogen dan memulihkan kembali flora normal kulit dengan cara memperbaiki membran mukosa yang merupakan tempat berkembangnya koloni jamur ( Alioes dkk., 2018). Skema mekanisme antijamur dapat dilihat pada Gambar 12.



**Gambar 12.** Mekanisme Obat Antijamur

Terjadinya mekanisme antijamur menurut Setiyani (2010) dapat dikelompokkan menjadi :

a. Gangguan pada membran sel

Gangguan pada mekanisme ini disebabkan oleh keberadaan *ergosterol* di dalam membran sel jamur. *Ergosterol* adalah komponen sterol yang krusial dan rentan terhadap serangan antibiotik turunan polien. Pembentukan kompleks antara polien dan ergosterol dapat menyebabkan kebocoran pada membran sel, yang akhirnya mengarah pada lisis sel. Contoh senyawa yang termasuk dalam kelompok ini adalah amfoterisin B dan nistatin.

b. Penghambatan perkembangan jamur

Antijamur ini bekerja melalui senyawa antibiotik *griseofulvin*, yang mengikat protein mikrotubulus dalam sel, merusak struktur spindle mitotik, dan



menghentikan metafase pembelahan sel jamur. Hal ini membatasi perkembangan jamur. Sementara itu, antimikroba adalah senyawa yang dapat menghambat pertumbuhan atau membunuh mikroorganisme.

c. Penghambatan biosintesis *ergosterol* dalam sel jamur

Mekanisme ini terjadi karena *azol* mengganggu sintesis *ergosterol* dengan memblokir *dimetilasi-14- $\alpha$*  yang tergantung pada *sitokrom P450* dari *lanosterol*, prekursor *ergosterol* dalam jamur dan kolesterol dalam tubuh mamalia. Gangguan ini mengubah permeabilitas dan fungsi membran, menghambat biosintesis *ergosterol*, serta menyebabkan ketidakseimbangan metabolit. Contoh senyawa *azol* adalah *ketokonazol* dan *flukonazol*.

d. Penghambatan sintesis protein jamur

Mekanisme ini disebabkan oleh senyawa turunan pirimidin. Efek antijamur terjadi karena senyawa turunan pirimidin masuk ke dalam sel jamur dengan bantuan *sitosin deaminase* dan dalam sitoplasma akan bergabung dengan RNA setelah mengalami deaminasi menjadi *5-fluorourasil*. Sintesis protein sel jamur terganggu akibat penghambatan langsung sintesis DNA oleh metabolit *5-fluorourasil*. Contoh senyawanya adalah *flusitosin*.

### 2.8.3 Metode Pengujian Antijamur

Penentuan aktivitas antijamur dapat dilakukan melalui metode difusi sumuran, yang sedikit berbeda dengan uji antibakteri tetapi prinsip dasarnya serupa. Metode ini digunakan untuk menguji efektivitas suatu zat dalam menghambat pertumbuhan jamur dengan membuat sumur atau lubang pada media padat yang diinokulasi dengan kultur jamur uji. Lubang-lubang ini dibuat menggunakan alat seperti pipet dengan diameter 5-6 mm. Setelah sumur dibuat, zat antijamur dalam konsentrasi tertentu dimasukkan ke dalam sumur, dan media diinkubasi pada suhu yang sesuai (umumnya 25-30°C) selama 24 hingga 72 jam, tergantung pada jenis jamur yang diuji, seperti *Candida albicans* (Jawetz *et al.*, 1996)

Perbedaan utama dalam uji antijamur ini adalah jenis media dan kondisi inkubasi. Media yang digunakan biasanya disesuaikan untuk pertumbuhan jamur, seperti

*Potato Dextrose Agar* (PDA) atau *Sabouraud Dextrose Agar* (SDA), yang mendukung pertumbuhan jamur secara optimal. Selain itu, jamur biasanya *Potato Dextrose Agar* (PDA) atau *Sabouraud Dextrose Agar* (SDA), yang mendukung pertumbuhan jamur secara optimal. Selain itu, jamur biasanya membutuhkan waktu inkubasi yang lebih lama dibandingkan dengan bakteri, dan inkubasi sering kali dilakukan pada suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan uji antibakteri. Setelah masa inkubasi, zona hambat di sekitar sumur diamati. Zona hambat ini menunjukkan bahwa zat antijamur berhasil menghambat pertumbuhan jamur di sekitar sumur, yang terlihat sebagai daerah bening di media. Zona hambat yang terbentuk menunjukkan tingkat efektivitas zat uji terhadap jamur tersebut.

Keuntungan dari metode difusi sumur dalam uji antijamur adalah kemampuannya untuk menilai penyebaran zat antijamur secara merata ke seluruh media.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Balouiri *et al* (2016), metode ini memungkinkan difusi zat antijamur yang lebih homogen, sehingga konsentrasi zat di media cukup tinggi untuk secara efektif menghambat pertumbuhan jamur. Selain itu, metode ini memberikan hasil visual yang jelas terkait zona hambat, yang membantu peneliti dalam mengevaluasi seberapa kuat zat tersebut dalam menghambat jamur.

## **2.9 SOP Keselamatan Kerja di Laboratorium Mikrobiologi (*Biosafety*)**

Dalam penelitian ini, uji antibakteri dan antijamur dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Universitas Lampung. Untuk menjaga keselamatan dan kebersihan laboratorium mikrobiologi, tentunya terdapat *Standard Operating Procedures* (SOP) yang harus dipatuhi selama peneliti bekerja di laboratorium mikrobiologi. SOP di laboratorium mikrobiologi memiliki beberapa tujuan penting, antara lain

- a. Diagnosa: SOP dirancang untuk membantu dalam identifikasi mikroorganisme patogen. Ini penting untuk pengobatan yang tepat dan pengendalian infeksi.
- b. Kualitas Layanan: Menyediakan layanan berkualitas tinggi kepada pasien dengan biaya yang efisien. Ini mencakup pengurangan biaya reagen dan meningkatkan produktivitas.

Keselamatan kerja di laboratorium mikrobiologi sangat penting untuk melindungi staf, pasien, dan lingkungan dari risiko infeksi dan bahaya yang terkait dengan mikroorganisme patogen. Prinsip dasar keselamatan meliputi akses terbatas ke laboratorium, penggunaan alat pelindung diri (APD), dan penerapan teknik aseptik. Prosedur keselamatan mencakup penyimpanan bahan berbahaya dalam wadah yang tepat, penanganan spesimen dengan teknik yang aman, dan penggunaan peralatan yang terkalibrasi. Selain itu, limbah biologis harus dibuang sesuai prosedur yang aman. Pelatihan rutin dan kesadaran tentang potensi risiko di laboratorium juga penting untuk mengurangi kemungkinan kecelakaan. Terakhir, penting untuk memiliki protokol tindakan darurat dan peralatan darurat untuk menghadapi situasi yang tidak terduga. Implementasi semua langkah ini akan meningkatkan keselamatan dan kualitas layanan laboratorium (Jilani *and* Hasan, 2016).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan September 2024 hingga Mei 2025 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Jurusan Kimia dan Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Analisis XRD akan dilakukan di Universitas Negeri Padang (UNP). Analisis FTIR akan dilakukan di Institut Teknologi Bandung (ITB). Analisis band-gap DRS di Laboratorium UI-Chem, Universitas Indonesia.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang disiapkan untuk digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut, gelas beaker, neraca analitik, heating magnetic stirrer, sentrifuge, spin bar, thermometer, oven, lemari asam, furnace, icebath, desikator, sonikasi, pH meter, inkubator, FTIR, XRD, DRS UV-vis, cawan petri, pipet volumetrik, stopwatch, *Biosafety Cabinet* (BSC) dan lampu *visible*.

Adapun bahan yang disiapkan untuk digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut, prekursor  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , larutan pectin, HCl 1M, akuades,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (95%), larutan ammonia, *Thiourea*, etanol, Bakteri *B. subtilis*, Bakteri *E. coli*, Jamur *C. albicans*, nutrient, media agar, plastic wrap, tisu dan kapas.

### 3.3 Sintesis Senyawa CuO

Sebanyak 12 gram pektin dilarutkan dengan 400 mL akuades di stirrer sampai homogen kurang lebih selama 3 jam, lalu dimasukkan precursor  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  yang dilarutkan dalam 500 mL akuades ke dalam 2 botol infus yang bervolume sama dan atur kecepatan agar habisnya bersamaan, disertai dengan penambahan larutan ammonia sampai pH 1 dengan mempertahankan suhu dibawah  $80^\circ\text{C}$ , distirer sampai spin bar sudah tidak bergerak, lalu dimasukkan ke dalam kulkas hingga beku, dan di freezdry selama 55 jam dan dikalsinasi pada suhu  $700^\circ\text{C}$  dengan suhu penanganan  $200^\circ\text{C}$  selama 2 jam, kemudian oven pada suhu  $110^\circ\text{C}$  lalu dianalisis dengan XRD dan FTIR untuk mengetahui apakah senyawa CuO terbentuk (Kurniati dkk, 2015).

### 3.4 Sintesis $\text{TiO}_2$

Nanopartikel  $\text{TiO}_2$  disintesis menggunakan metode sol-gel menggunakan titanium (IV) isopropoksida (TTIP) sebagai prekursor dan Isopropanol serta akuades sebagai pelarut dengan perbandingan masing-masing 1:3:15. Prekursor TTIP disiapkan dalam gelas kimia sebagai larutan 1. Selanjutnya pelarut isopropanol dicampurkan dalam akuades hingga homogen sebagai larutan 2. Selanjutnya secara perlahan, larutan 2 dicampurkan dengan larutan 1 dibawah pengadukan konstan selama 30 menit. Pada keadaan ini terjadi hidrolisis ditandai dengan terbentuknya larutan berwarna putih. Kemudian, campuran dipeptitasi dengan meneteskan  $\text{HNO}_3$  hingga diperoleh kondisi larutan pH 2 dibawah pengadukan selama 1 jam dan dilanjutkan proses peptisasi selama 12 jam pada suhu ruang. Tahap kondensasi terjadi selama proses peptisasi yang mengalami polimerisasi menghasilkan gel putih. Gel berwarna putih yang mengendap dikumpulkan dan dikeringkan pada suhu  $110^\circ\text{C}$  hingga terbentuk serbuk, kemudian dikalsinasi pada suhu  $600^\circ\text{C}$  dengan suhu penanganangan  $200^\circ\text{C}$  selama 2 jam (Qiu dan Kalita, 2006). Hasil yang diperoleh dianalisis menggunakan XRD untuk mengetahui struktur kristal.

### 3.5 Impregnasi Nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub>

*Thiourea* disiapkan lalu masukkan senyawa CuO, aquades dan etanol kemudian diaduk selama 1 jam pada suhu ruang. Hasil yang diperoleh disimpan selama 2 hari pada suhu ruang dan dikalsinasi pada suhu 600°C sehingga terbentuk S/CuO (Ohno *et al.*, 2004). Preparasi nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub> dilakukan dengan rasio S/CuO dan TiO<sub>2</sub> ditimbang sesuai dengan perbandingan 0,25:1 ; 0,75:1. Sampel dimasukkan kedalam gelas beaker 500 mL lalu ditambahkan sebanyak 400 mL akuades. Sampel kemudian di ultrasonikasi selama 50 menit agar material dengan akuades dapat tercampur, disaring dan di oven hingga kering lalu analisis dengan menggunakan instrumen XRD, FTIR dan DRS.

### 3.6 Metode Analisis

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini meliputi instrumen *Fourier Transform Infrared Spectrometry* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *UV-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS). Sampel yang akan dianalisis terdiri dari CuO, TiO<sub>2</sub>, katalis S/CuO, dan nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub>.

#### 3.6.1 Analisis *Fourier Transform Infrared Spectrometry* (FTIR)

Sampel S/CuO/TiO<sub>2</sub> dikarakterisasi menggunakan FTIR. Pengujian FTIR ini bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terbentuk dalam sampel S/CuO/TiO<sub>2</sub> melalui getaran atau vibrasi molekul. Rentang bilangan gelombang yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 400-4000 cm<sup>-1</sup>. Data hasil analisa disimpan dalam bentuk file ASCII, lalu dianalisis menggunakan perangkat lunak Origin untuk menampilkan pita serapan atau absorbansi pada wilayah spektrum tertentu (Patel, 2015).

### 3.6.2 Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD)

Pengujian XRD dilakukan untuk mengkarakterisasi kristalinitas sampel S/CuO/nGO. Pola difraksi diperoleh menggunakan BTXTM III Benchtop XRD Analyzer dengan radiasi Cu-K $\alpha$  (1.54060 Å) pada tegangan 30 kV dan daya 10 W, dengan rentang sudut difraksi  $2\theta = 5^\circ - 90^\circ$ . Data difraksi yang dihasilkan kemudian diolah menggunakan aplikasi Match dan dibandingkan dengan referensi dari beberapa jurnal yang relevan (Taufantri dkk., 2016).

### 3.6.3 Analisis Energi *Band-Gap*

Analisis *band-gap* energi dilakukan menggunakan DRS UV-Vis, yang diintegrasikan dengan tabung berdiameter 15 cm untuk mengukur diffuse reflectance. Nilai *band-gap* semikonduktor sangat krusial, karena mempengaruhi kemampuan semikonduktor dalam menghantarkan elektron dan hole, yang berperan penting dalam kinerja material semikonduktor (Pragathiswaran *et al.*, 2015).

## 3.7 Tahap Uji Aktivitas Antibakteri

Uji antibakteri akan dilakukan menggunakan metode Difusi Sumuran. Sampel yang akan diuji yaitu material CuO, TiO<sub>2</sub>, katalis S/CuO dan nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub>.

### 3.7.1 Sterilisasi Alat

Alat-alat yang akan digunakan disterilisasi selama 15 menit tekanan 1 atm 121 derajat celcius di dalam autoclave. Alat kaca seperti cawan petri dan tabung reaksi

dibungkus dengan menggunakan kertas hvs yang kemudian dimasukkan ke dalam plastik tahan panas.

### 3.7.2 Pembuatan Media

Media yang digunakan dalam penelitian adalah *Nutrient Agar* (NA) untuk bakteri dan *Potato Dextrose Agar* (PDA) untuk jamur. Timbang media NA dan PDA sesuai prosedur di kemasan. Penimbangan harus dilakukan dengan teliti dan cepat, kemudian serbuk media dimasukkan secara hati-hati ke dalam gelas beaker. Tambahkan aquades, aduk merata dengan spinbar dan panaskan dengan hati-hati menggunakan penangas sampai media tercampur homogen, pada saat pemanasan jangan sampai berbentuk buih berlebihan sampai meluap. Tuangkan media NA dan PDA pada masing-masing erlenmeyer. Sterilkan media tersebut dengan menggunakan autoklaf selama 15 menit, tekanan 1 atm 121 derajat celcius (Hayati dkk.,2021).

### 3.7.3 Peremajaan Bakteri

Bakteri yang telah ditumbuhkan pada media agar miring diinokulasikan kembali ke media agar yang baru, dimulai dengan sterilisasi media agar di dalam *autoclave*. Media yang telah disteril dituangkan ke dalam cawan petri steril dilakukan di dalam *Biological Safety Cabinet*. Media didiamkan hingga mengeras, kemudian diambil satu ose bakteri menggunakan jarum ose steril dari media agar miring. Selanjutnya, dilakukan penggoresan kuadran pada media agar. Kemudian tepi cawan petri dipijarkan pada bunsen, lalu dilapisi dengan *plastik wrap*. Diinkubasi selama 24 jam di dalam inkubator pada suhu 37°C. Kemudian diamati koloni bakteri yang tumbuh dengan menggunakan *Colony Counter* (Hayati dkk.,2021). Setelah inkubasi, satu ose bakteri yang telah diremajakan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 3-4 mL NaCl steril. Suspensi diatur tingkat kekeruhannya agar setara dengan standar McFarland 0,5 (setara dengan  $1,5 \times 10^6$



kuman), kemudian dikocok perlahan hingga homogen dan suspensi siap digunakan (Salasa dkk., 2019).

#### 3.7.4 Aplikasi Nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub> Sebagai Antibakteri

Pengujian antibakteri dilakukan menggunakan metode difusi sumuran di dalam *Bio Safety Cabinet* (BSC). Langkah awal adalah 25 ml *Nutrient Agar* (NA) dituangkan ke dalam cawan petri dan dibiarkan mengeras. Setelah media mengeras, suspensi diswap menggunakan katembat steril pada media dan diamkan 3 menit hingga bakteri berdifusi. Kemudian, dibuat lubang sumuran dengan diameter 5 mm pada media tersebut. Lalu, larutan uji dengan konsentrasi 8% masing-masing sampel CuO, TiO<sub>2</sub>, S/CuO dan S/CuO/TiO<sub>2</sub> (0,25/1;0,75/1), serta kontrol positif (Kloramfenikol=1%) dan kontrol negatif dimasukkan ke dalam sumur menggunakan mikropipet sebanyak 50 µL. Selanjutnya, permukaan media diiradiasi menggunakan sinar tampak dengan variasi waktu 15, 30, 45, dan 60 menit. Setelah itu, cawan diinkubasi gelap pada suhu 37°C selama 24 jam, dengan pengukuran zona bening dilakukan menggunakan jangka sorong untuk mendapatkan zona hambat bakteri dengan persamaan:

$$\text{Zona hambat} = \frac{(D_v - D_c) + (D_h - D_c)}{2}$$

Keterangan    D<sub>v</sub> = Diameter vertikal

                  D<sub>h</sub> = Diameter horizontal

                  D<sub>c</sub> = Diameter lubang sumuran

Zona bening yang terbentuk di sekitar sumur menunjukkan adanya aktivitas antibakteri, di mana bakteri tidak tumbuh di area tersebut (Magani., 2019).

### 3.8 Tahap Uji Aktivitas Jamur

Uji antijamur akan dilakukan menggunakan metode Difusi sumuran Sampel yang akan diuji yaitu material CuO, TiO<sub>2</sub>, katalis S/CuO dan nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub>.

### 3.8.1 Peremajaan *Candida albicans*

Proses peremajaan jamur dilakukan dengan mengambil satu ose dari stok murni, kemudian diinokulasikan secara gores pada medium PDA miring. Kultur tersebut diinkubasi dalam inkubator pada suhu 25°C selama 24 jam. Setelah inkubasi, satu ose jamur yang telah diremajakan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 3-4 mL air steril. Suspensi diatur tingkat kekeruhannya agar setara dengan standar McFarland 0,5 (setara dengan  $1,5 \times 10^6$  kuman), kemudian dikocok perlahan hingga homogen dan suspensi siap digunakan (Salasa dkk., 2019).

### 3.8.2 Aplikasi Nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub> Sebagai Antijamur

Pengujian antibakteri dilakukan menggunakan metode difusi sumuran di dalam *Bio Safety Cabinet* (BSC). Langkah awal adalah 25 ml *Potato Dextrose Agar* (PDA) dituangkan ke dalam cawan petri dan dibiarkan mengeras. Setelah media mengeras, suspensi diswap menggunakan katembat steril pada media dan diamkan 3 menit hingga jamur berdifusi. Kemudian, dibuat lubang sumuran dengan diameter 5 mm pada media tersebut. Lalu, larutan uji dengan konsentrasi 8% masing-masing sampel CuO, TiO<sub>2</sub>, S/CuO dan S/CuO/TiO<sub>2</sub> (0,25/1;0,75/1), serta kontrol positif (Nystatin=1%) dan kontrol negatif dimasukkan ke dalam sumur menggunakan mikropipet sebanyak 50 µL. Selanjutnya, permukaan media diiradiasi menggunakan sinar tampak dengan variasi waktu 15, 30, 45, dan 60 menit. Setelah itu, cawan diinkubasi gelap pada suhu ruang selama 24 jam, dengan pengukuran zona bening dilakukan menggunakan jangka sorong untuk mendapatkan zona hambat jamur dengan persamaan:

$$\text{Zona hambat} = \frac{(D_v - D_c) + (D_h - D_c)}{2}$$

Keterangan    D<sub>v</sub> = Diameter vertikal

                    D<sub>h</sub> = Diameter horizontal

                    D<sub>c</sub> = Diameter lubang sumuran

(Magani., 2019).

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Senyawa sulfur berhasil disintesis dari thiourea dan didopingkan ke dalam CuO, sehingga diperoleh katalis S/CuO. Katalis S/CuO juga berhasil diimpregnasi ke dalam material TiO<sub>2</sub>, menghasilkan nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub> dengan variasi perbandingan 0,25/1 dan 0,75/1.
2. Ukuran kristal masing-masing variasi adalah 35,86 nm untuk perbandingan 0,25/1 dan 32,15 nm untuk 0,75/1. Nilai band gap nanomaterial S/CuO/TiO<sub>2</sub> sebesar 2,88 eV (variasi 0,25/1) dan 2,6 eV (variasi 0,75/1), menunjukkan bahwa material ini aktif di bawah cahaya tampak dan berpotensi sebagai fotokatalis yang efektif.
3. Uji aktivitas antibakteri menggunakan metode difusi sumuran menunjukkan bahwa zona hambat dari nanomaterial konsentrasi 8% (80 mg/mL) terhadap *Bacillus subtilis* lebih besar dibandingkan *Escherichia coli*. Zona bening maksimal tercapai pada waktu penyinaran 60 menit, dengan ukuran zona hambat berkisar antara 1–7 mm.
4. Pengujian aktivitas antijamur terhadap *Candida albicans* juga menunjukkan adanya kemampuan hambat dari nanomaterial konsentrasi 8% (80 mg/mL) dengan efektivitas yang bervariasi. Zona bening maksimal terdeteksi pada penyinaran selama 60 menit dengan ukuran berkisar antara 2–5 mm.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka pada penelitian selanjutnya disarankan untuk:

1. Dalam proses penambahan larutan amonia untuk mencapai pH 1 saat sintesis CuO, disarankan menggunakan pH meter digital untuk mendapatkan hasil yang lebih presisi dibandingkan indikator universal atau kertas lakmus, sehingga pembentukan CuO lebih optimal.
2. Proses kalsinasi sebaiknya dilakukan dengan furnace yang memiliki kontrol suhu otomatis dan grafik pemanasan bertahap. Hal ini penting untuk menghindari overheating atau underheating yang dapat memengaruhi kristalinitas dan ukuran partikel CuO maupun TiO<sub>2</sub>.
3. Melakukan karakterisasi lanjutan menggunakan *Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM-EDX) guna mengidentifikasi secara mendalam mengenai morfologi permukaan serta distribusi, homogenitas, dan interaksi katalis S/CuO dalam material TiO<sub>2</sub>.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adelberg, J.W. 2008. *Medical Microbiology*. Edisi 23. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Afriyanti, L. N. 2019. Keberadaan *Escherichia coli* pada Makanan di Kantin Sekolah Dasar. *Higeia Journal of Public Health Research and Development*. 3(3).
- Ahirwar, B.K and Kumar, A. 2024. Experimental Investigation for Heat Transfer Performance of CuO-Water Nanofluid in a Double Pipe Heat Exchanger. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 149:4133–4151.
- Ahmad, I., Hani, A., Mahmoud, M. H., Tahir, H. W., and Saiqa, I. 2024. Deciphering the Catalytic Activity of Nickel Anchored on Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-SiO<sub>2</sub>-3-CPMS-L as a Magnetically Recoverable Nanocatalyst for the Efficacious Reduction of 4-Nitrophenol, Nitrobenzene, and Methyl Orange. *Journal of Environmental Management*. 367.
- Ahmad, R. Z. 2018. Medium Tapioka untuk Preservasi Kapang yang Bermanfaat untuk Veteriner. *Jurnal Mikologi Indonesia*. 2(1): 1-6.
- Alebachew, N., Murthy, A.C.A., Bedassa, A., Taye, B. D., Karel, G.E., Ernst, H.G.L and Liza, C.H. 2022. Synthesis and Characterization of CuO-S-doped g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Based Nanocomposites for Binder-free Sensor Applications. *RSC Advances*.
- Ali, S. A. 2020. *Application of Nanomaterials in Environmental Improvement*. Intechopen. Al-Muthanna, Iraq.
- Alioes, Y., Amalia, K., Eriza, A. Z., Vanesha, A. 2018. Uji Potensi Antijamur *Candida albicans* Ekstrak Daun Gelinggang (*Cassia alata* L.) dibandingkan dengan Sediaan Daun Sirih yang Beredar di Pasaran secara In Vitro. *Jurnal Kimia Riset*. 3(2): 108-115.
- Aprilla, W. R dan Abdul, H. 2016. Sintesis Semikonduktor TiO<sub>2</sub> serta Aplikasinya pada Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Dye Indigo Carmine. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 19(3): 111-117.

- A'srai, A. I. M., Razali, M. H., Amin, K. A. M dan Osman, U. M. 2023. CuO/TiO<sub>2</sub> Nanocomposite Photocatalyst for Efficient MO Degradation. *Journal of Nanomaterials and Biostructures*. 18(3): 1005-1124.
- Aziz, S. N., Abdulwahab, A M., Thana, S. A., Dheyazan, M. A. A. 2024. Synthesis, Characterization, and Evaluation of Antibacterial and Antifungal Activities of CuO-ZnO-Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanocomposites. *Heliyon*. 10(18): 37802.
- Bahar, M dan Zulfa, F. 2018. Potensi Antibakteri Isolat Actinomycetes terhadap Aktivitas Proteolitik dan Amilolitik *Escherichia Coli* ATTC 25922. *Jurnal Teknologi Laboratorium*. 7(1): 25-30.
- Balouiri, M., Sadiki, M., and Ibnsouda, S. K. 2016. Methods for in vitro Evaluating Antimicrobial Activity: A Review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*. 6(2): 71-79.
- Chougala, L.S., Yatnatti, M. S., Lingangoudar, R. K., Kamble, R. R, and Kadadevarmath, J. S. 2017. A Simple Approach on Synthesis of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles and its Application in dye Sensitized Solar Cells. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 9(4): 04005.
- Deganello, F., Massimo, D., Leonarda, F.L., Roberto, C and Maria, L. C. 2024. Soft-hard Templating Solution Combustion Synthesized CeO<sub>2</sub>-CuO-TiO<sub>2</sub> Nanostructures for Visible Light Photocatalysis. *Catalysis Today*. 448 : 115169.
- Deng, Z., Hoefling, A., Théato, P., & Lienkamp, K. 2018. Surface Properties and Antimicrobial Activity of Poly (Sulfur-co-1, 3-diisopropenylbenzene) Copolymers. *Macromolecular Chemistry and Physics*. 219(5): 1700497.
- Destriani, U. L. 2023. Sintesis Pigmen Merah Hematit ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dari Pasir Besi dengan Metode Kopresipitasi dan Hidrotermal: A Review. *Asian Journal of Science Technology Engineering and Art*. 1(2): 255-265.
- Devaraji, M., Punniyakoti, V. T., and Karthikeyan, E. 2024. The Potential of Copper Oxide Nanoparticles in Nanomedicine: A Comprehensive Review. *Biotechnology Notes*. 5: 80-89.
- Dicastillo, C. L. D., Matias, G. C., Fernanda, B. M., Camilo, S., and Maria, J. G. 2020. *Antimicrobial Resistance : Antimicrobial Effect of Titanium Dioxide Nanoparticles*. Intechopen.
- Hajipour, P., Bahrami, A., Eslami, A and Hosseini, A. 2020. Chemical Bath Synthesis of CuO-GO-Ag Nanocomposites with Enhanced Antibacterial Properties. *Journal of Alloys and Compounds*. 821 : 153456.

- Havancsak, Karoly. 2016. *High-Resolution Scanning Electron Microscopy* Eötvös Loránd University. Department of Materials Physics Hungary. Budapest, Pázmány Péter sétány.
- Hayati, L. N., Tyaningsih, W., Praja, R. N., Sri, C., Maya, N. Y., dan Prima, A. W. 2019. Isolasi dan Identifikasi *Staphylococcus aureus* Pada Susu Kambing Peranakan Etawah Penderita Mesitis Subklinis di Kelurahan Kalipuro, Banyuwangi. *Jurnal Medik Veteriner*. 2(2): 76-82.
- Herkamela dan Yenny. 2022. Berbagai Bahan Alam sebagai Antijamur *Malassezia* sp. *Jurnal Kedokteran*. Syiah Kuala. 10(3): 121-127.
- Hummel, R. E and Dubroca, T. 2000. Differential Reflectance Spectroscopy in Analysis of Surfaces. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. 9047-9071.
- Jawetz., Melnick., and Adelberg's. 2013. *Medical Microbiology*. Twenty-Sixth Edition. Mc Graw Hill. New York.
- Karlina, L., Hary, S., dan Septian, B. 2023. Metode Sintesis Nanopartikel-TiO<sub>2</sub>: a Review. *Jurnal Pendidikan dan Sains*. 3(6): 1199-121.
- Khakim, L. dan Rini, C. S. 2018. Identifikasi *Escherichia coli* dan *Salmonella* sp. pada Air Kolam Renang Candi Pari. *Medicra (Journal of Medical Laboratory Science/Technology)*. 1(2): 84-93.
- Kurniati, T., Mukhtar, A., dan Yanti, P. H. 2023. Sintesis Tembaga Oksida (CuO) Serta Uji Degradasi Terhadap Metanil Kuning. *JOM FMIPA*. 2(2): 3-4.
- Linsebigler, A. L., Lu, G., and Yates, J. T. 1995. Photocatalysis on TiO<sub>2</sub> Surfaces: Principles, Mechanisms, and Selected Results. *Chemical Reviews*. 3(1): 8-15.
- Magani, A. K., Trina, E. T., dan Beivy, J. K. 2019. Uji Antibakteri Nanopartikel Kitosan terhadap Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *Jurnal Bios Logos*. 10(1): 8-12.
- Manurung, P. G. 2018. *Nanomaterial: Tinjauan Ilmu Masa Kini*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Marbun, R. A. T. 2019. Uji Aktivitas Ekstrak Daun Pirdot (*Saurauia vulcani* Korth.) Terhadap Pertumbuhan *Candida albicans* Secara In Vitro. *Jurnal Bios Logos*. 11(1): 1-6.
- Marin, L. E.G., Karla, J. M., Alfredo, R. V. N and Ernestina, C. L. 2022. Highly Antifungal Activity of Biosynthesized Copper Oxide Nanoparticles against *Candida albicans*. *Nanomaterials*. 12(21) : 3856.

- Maruthupandy, M., Jun, H. J., Jiyeon, N., Sung, I. K., and Wan, S. C. 2024. Mitigated Toxicity of Polystyrene Nanoplastics in Combination Exposure with Copper Ions by Transformation into Copper (I) Oxide: Inhibits the Oxidative Potential of Nanoplastics. *Chemosphere*. 364: 143288.
- Mittal, D. R., 2011, *Nature of Interaction Between Metal Nanoparticles (Ag) & Bacterial Cell (E. coli)*, Tesis tidak diterbitkan, Department of Biotechnology and Medical Engineering, National Institute of Technology Rourkela. Rourkela.
- Mohamed, M. A., Jaafar, J., Ismail, A. F., Othman, M. H. D., and Rahman, M. A. 2017. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. *In Membrane characterization* (pp. 3-29). elsevier.
- Muttaqin, R., Wasi, S. W. P., dan Upik, N. 2023. Pengembangan Buku Panduan Teknik Karakterisasi Material : X-ray Diffractometer (XRD) Panalytical Xpert3 Powder. *Indonesian Journal of Laboratory*. 6(1): 9-16.
- Nalawati, A. N. 2015. Sintesis Nanopartikel Perak (NP<sub>Ag</sub>) dengan Metode yang Ramah Lingkungan dan Kajian Aktivitasnya dalam Menghambat Pertumbuhan Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif. Tesis tidak diterbitkan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Napitupulu, H. G., Rumengan, I. F. M., Wullur, S., Ginting, E. L., Rimper, J. R. T. S. L., dan Toloh, B. H. 2019. *Bacillus sp.* sebagai Agensi Pengurai dalam Pemeliharaan *Brachionus rotundiformis* yang Menggunakan IkanMentah sebagai Sumber Nutrisi. *Jurnal Ilmiah Platax*. 7(1): 158-169.
- Navaee, A and Abdollah, S. 2020. Sulfur doped-copper oxide nanoclusters synthesized through a facile electroplating process assisted by thiourea for selective photoelectrocatalytic reduction of CO<sub>2</sub>. *Journal of Colloid and Interface Science* : 241-252.
- Ohno T., Akiyoshi, M., Umebayashi T., Asai, K., Mitsui, T., dan Michio Matsumura. 2004. Preparation of S-doped TiO<sub>2</sub> Photocatalyst and Their Photocatalytic Activities under Visible Light. *Journal Applied Catalyst A: General*. 115-121.
- Ouyang, W and Luo, X. 2020. Enhanced Photocatalytic and Antimicrobial Properties of TiO<sub>2</sub> Nanomaterials under Visible Light Irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 390: 112308.
- Palanivel, C., Prabhakaran, N. R., & Selvakumar, G. 2019. Morphological Expedient Flower Like Nanostructures WO<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> Nanocomposite Material and its Multi Applications. *OpenNano*. 4: 100026.



- Patel, N. H. 2015. Basic Principle, Working and Instrumentation of Experimental Techniques. Sardar Patel University. Gujarat.
- Pragathiswaran, C., Abbubakkar, B. M., Govindhan, P., and Abuthahir, K. S. 2015. Synthesis of TiO<sub>2</sub> and ZnO Nano composites with Graphene Oxide Photocatalytic Reduction and Removal of Chromium (VI) in Aqueous Solution. *J Appl Chem.* 4: 525-532.
- Purwanto, S., Nurul, T. R., Suryandaru., dan Ahmad, F.M. 2016. Penerapan Nanoteknologi dalam Kehidupan Sehari-hari. Transfer Inovasi Press. Tangerang.
- Qiu, S and Kalita, S. J. 2006. Synthesis, Processing and Characterization of Nanocrystalline Titanium Dioxide. *Materials Science and Engineering A.* 327-332.
- Ramzan, M., Obodo, R. M., Mukhtar, S., Ilyas, S. Z., Aziz, F., and Thovhogi, N. 2019. Green synthesis of copper oxide nanoparticles using Cedrus deodara aqueous extract for antibacterial activity. *Journal Materials Proceedings.* 36(2): 576–581.
- Saedi, S., Shokri, M and Rhim, J. W. 2020. Antimicrobial activity of sulfur nanoparticles: effect of preparation methods. *Arabian Journal of Chemistry.* 13(8): 6580-6588.
- Saida, K., Nomoto, Y., Okauchi, H., Ogiwara, H., and Nishimoto, K. 2012. Influences of Phosphorus and Sulphur on Ductility Dip Cracking Susceptibility in Multipass Weld Metal of Alloy 690. *Science and Technology of Welding and Joining.* 17(1): 1-8.
- Salasa, A. M., Ratnah., dan Ismail, H. I. 2019. Penentuan Nilai MIC (Minimum Inhibitory Concentration) dan MKC (Minimum Killing Concentration) Ekstrak Daun Kecombrang (*Etlingera elatior*) terhadap *Candida albicans* penyebab Keputihan. *Media Farmasi.* 16(1).
- Sari, S. H. P. 2012. Skripsi: Efek Pemberian Ekstrak Daun Sirih (*Piper Betle L.*) pada Laju Endap Darah (LED) Model Hewan Coba Tikus Wistar Jantan yang dipapar *Candida albicans* secara Intrakutan. Universitas Jember. Jember.
- Schukraft, G. E. M., Ioanna, I., Robert, T. W., Bart, V. D. L., Camille, P and Atsui, U. 2022. Evaluation of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O Adsorption on a Porous Polymer Using DFT and In Situ DRIFT Spectroscopy. *Journal of Physical Chemistry B.* 126: 8048-8057.
- Setiyani, A. 2010. Skripsi: Uji Aktivitas Antijamur  $\alpha$ -mangostin Hasil Isolasi Kulit Buah Manggis (*Garcinia mangostana l*) terhadap *Malassezia sp.* Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.

- Sitompul, S.D. 2023. Sintesis Karakterisasi dan Aplikasi Nnaomaterial S/CuO/nGO yang diiradiasi Sinar *Visible* sebagai Antibakteri terhadap Bakteri *Escherichia coli* dan *Bacillus sp.* Jurusan Kimia. FMIPA-UNILA. Lampung.
- Sharma, R. K and Ghose, R. 2015. Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles by Homogeneous Precipitation Method and its Application in Antifungal Activity Against *Candida albicans*. *Ceramics International*. 41(1): 967-975.
- Solehudin, A. 2009. Pengaruh Sulfur dan Senyawanya Terhadap Korosi. Jurusan Pendidikan Teknik Mesin. FPTK - UPI. Bandung.
- Subaer. 2015. Pengantar Fisika Geopolimer. DP2M Dikti. Jakarta.
- Sukertiasih, N. K., Fitria, M., Herleeyana, M., dan Dwi, A. S. 2021. Studi Retrospektif Gambaran Resistensi Bakteri terhadap Antibiotik. *Jurnal Ilmiah Medicamento*. 7(2): 108-111.
- Sulistiyani, T. R., Kusmiati, M., dan Putri, G. A. 2021. The 16S rRNA Analysis and Enzyme Screening of *Bacillus* from *Rhizosphere Soil* of Lombok Island. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 26(4): 582-590.
- Talapko, J., Martina, J., Tatjana, M., Emina, P., Sanja, B., Ivan, K., and Ivana, S. 2021. *Candida albicans*: The Virulence Factors and Clinical Manifestations of Infection. *Journal of Fungi*. 7(2): 79.
- Taufantri, Y., Irdhawati, Raka, I. A., dan Astiti, A. 2016. Sintesis dan Karakterisasi Grafena dengan Metode Reduksi Grafit Oksida Menggunakan Pereduksi Zn. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan IlmuKimia*. 2(1): 17-23.
- Tazkiatulmilla, S. 2020. Skripsi: Formulasi Sediaan Obat Kumur Ekstrak Daun Bidara (*Ziziphus mauritiana Lam.*) sebagai Aantijamur *Candida albicans* Penyebab Sariawan. Universitas Muhammadiyah Magelang. Magelang.
- Theivasanthi, T and Marimuthu, A. 2020. Titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) Nanoparticles XRD Analyses: An Insight. *Chemical Physics Journal Citation*.
- Ungeheuer, K., Marszalek, K. W., Mitura-Nowak, M., Perzanowski, M., Jelen, P., Marszalek, M., and Sitarz, M. 2022. Influence of Cr ion implantation on physical properties of CuO thin films. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9): 4541.
- Utomo. S., Budi., Fujiyanti. M., Lestari, Fuji.W dan Mulyani. S. 2018. Uji Aktivitas Antibakteri Senyawa C-4- Metoksifenilaliks resorsinarena Termodifikasi *Hexadecyl Trimethylammonium-Bromide* terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *Journal Kimia dan Pendidikan Kimia*. 3 (3): 201-209.

- Vellingiri, G., Mrunal, A. D., Govindaraj, R., Krishna, V. K. N., Charumathi, M. L., Kumar, J. M., Vignesh, M. S. D., Daniel, R. I., and Ramasamy, P. 2021. Synthesis of Anatase TiO<sub>2</sub> Microspheres and Their Efficient Performance in Dye-sensitized Solar Cell. *Journal of Materials Science: Materias in Electronics*. 32(22): 266306-26317.
- Willey., Joanne, M., Sherwood., Linda., Woolverton., Christoper, J., and Lansing, M. 2008. *Microbiology*. McGraw-Hill Higher Education. New York.
- Wulandari, L dan Khotibul, U. 2023. Potensi Ekstrak Daun Kirinyuh (*Chromolaena odorata*) dalam Menghambat Bakteri Patogen (*E. sakazakii*, *S. typhi*, dan *L. monocytogenes*). *BIOSCIENCE-TROPIC*. 8(2): 18-31.
- Xu, P. F., Zhi, H.L., Yong, H. D., Qian, S., Dan, W., Xiao, F., and Jie, X.W. 2020. Microfluidic Controllable Synthesis of Monodispersed Sulfur Nanoparticles with Enhanced Antibacterial Activities. *Chemical Engineering Journal*.
- Yechezkel, Y., Dror, I., and Berkowitz, B. 2013. Catalytic Degradation of Brominated Flame Retardants by Copper Oxide Nanoparticles. *Chemosphere*. 93(1):172-177
- Ye, F and Ohmori, A. 2002. The Photocatalytic Activity and Photo-absorption of Plasma Sprayed. *Surface and Coatings Technology*. 160: 62-67.
- Zhang, Q., Kaili, Z., Daguo, X., Guangcheng., Y., Hui, H., Fude, N., Chenmin, L., and Shihe, Y. 2014. CuO nanostructures: Synthesis, Characterization, Growth Mechanisms, Fundamental Properties, and Applications. *Progress in Materials Science*. 60: 20.
- Zhuang, Q., Kaiyuan, S., Jiayu, W., Haifeng, Z., Ping, Z and Youxin, L. 2024. Revolutionizing Pollution Control with Innovative CuO/TiO<sub>2</sub> Nanocomposite for Enhanced Photocatalytic Degradation and Antimicrobial Efficacy. *Journal of Surfaces and Interfaces*. 55 : 105410.

# LAMPIRAN