

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI S/CuO/TiO₂ (0,5/1 dan 1/1) YANG
DIIRADIASI SINAR TAMPAK SEBAGAI ANTIBAKTERI (*Bacillus subtilis*
dan *Eschericia coli*) DAN ANTIJAMUR (*Candida albicans*)**

(Skripsi)

Oleh

ADELIA FEBY TAMARA

NPM 2117011040



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

ABSTRAK

SINTESIS DAN KARAKTERISASI S/CuO/TiO₂ (0,5/1 dan 1/1) YANG DIIRADIASI SINAR TAMPAK SEBAGAI ANTIBAKTERI (*Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli*) DAN ANTIJAMUR (*Candida albicans*)

Oleh

Adelia Feby Tamara

Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis dan karakterisasi nanokomposit S/CuO/TiO₂ serta menguji aktivitas antimikroba terhadap *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, dan *Candida albicans*. Sintesis dilakukan melalui metode sol-gel untuk CuO dan TiO₂, kemudian diikuti dengan doping S/CuO ke dalam TiO₂ melalui impregnasi dan sonikasi pada rasio 0,5:1 dan 1:1. Data XRD menunjukkan keberhasilan sintesis kristal TiO₂ anatase ($2\theta = 25^\circ, 27^\circ, 48^\circ$), CuO ($2\theta = 35^\circ, 38^\circ, 48^\circ$), dan sulfur ($2\theta = 35^\circ, 75^\circ$). Ukuran kristal dari S/CuO/TiO₂ pada rasio 0,5:1 dan 1:1 masing-masing adalah 40,83 nm dan 51,92 nm. Analisis DRS UV-Vis menunjukkan bahwa nanokomposit mampu menyerap cahaya pada rentang 200–800 nm dengan nilai *band gap* masing-masing sebesar 2,07 eV untuk S/CuO dan 2,70 eV untuk S/CuO/TiO₂ (rasio 0,5:1) serta 2,62 eV untuk (rasio 1:1). Hasil uji antibakteri menunjukkan bahwa nanokomposit memiliki aktivitas penghambatan tertinggi terhadap *Bacillus subtilis* (zona hambat rata-rata 7,5 mm) dibandingkan dengan *Escherichia coli* (zona hambat rata-rata 7 mm). Sedangkan uji antijamur menunjukkan bahwa senyawa hasil sintesis mampu menghambat pertumbuhan *Candida albicans* dengan zona hambat maksimum sebesar 5,5 mm pada waktu optimum 60 menit.

Kata kunci: Nanokomposit, S/CuO/TiO₂, antibakteri, antijamur.

ABSTRACT

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF S/CuO/TiO₂ (0.5/1 and 1/1) IRRADIATED BY VISIBLE LIGHT AS ANTIBACTERIAL (*Bacillus subtilis* and *Escherichia coli*) AND ANTIFUNGAL (*Candida albicans*)

By

Adelia Feby Tamara

In this research, the synthesis and characterization of the S/CuO/TiO₂ nanocomposite were carried out, along with evaluation of its antimicrobial activity against *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, and *Candida albicans*. The synthesis was conducted using the sol-gel method for CuO and TiO₂, followed by doping of S/CuO into TiO₂ through impregnation and sonication at ratios of 0.5:1 and 1:1. XRD data confirmed the successful synthesis of anatase TiO₂ crystals ($2\theta = 25^\circ, 27^\circ, 48^\circ$), CuO ($2\theta = 35^\circ, 38^\circ, 48^\circ$), and sulfur ($2\theta = 35^\circ, 75^\circ$). The crystallite sizes of S/CuO/TiO₂ were 40.83 nm for the 0.5:1 ratio and 51.92 nm for the 1:1 ratio. UV-Vis DRS analysis showed that the nanocomposites were able to absorb light in the 200–800 nm range, with respective band gap energies of 2.07 eV for S/CuO, 2.70 eV for S/CuO/TiO₂ (0.5:1), and 2.62 eV for S/CuO/TiO₂ (1:1). Antibacterial tests indicated that the nanocomposite exhibited the highest inhibition activity against *Bacillus subtilis* (average inhibition zone of 7.5 mm) compared to *Escherichia coli* (average inhibition zone 7 mm) Meanwhile, antifungal tests showed that the synthesized compound could inhibit the growth of *Candida albicans*, with a maximum inhibition zone of 5.5 mm after 60 minutes of visible light exposure.

Keywords: Nanocomposite, S/CuO/TiO₂, antibacterial, antifungal.

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI S/CuO/TiO₂ (0,5/1 dan 1/1) YANG
DIIRADIASI SINAR TAMPAK SEBAGAI ANTIBAKTERI (*Bacillus subtilis*
dan *Eschericia coli*) DAN ANTIJAMUR (*Candida albicans*)**

Oleh

Adelia Feby Tamara

Skripsi

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

Pada

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



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

Judul Skripsi

: **SINTESIS DAN KARAKTERISASI
S/CuO/TiO₂ (0,5/1 dan 1/1) YANG
DIIRADIASI SINAR TAMPAK
SEBAGAI ANTIBAKTERI (*Bacillus
subtilis* dan *Eschericia coli*) DAN
ANTIJAMUR (*Candida albicans*)**

Nama Mahasiswa

: **Adelia Feby Tamara**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **2117011040**

Program Studi

: **Kimia**

Fakultas

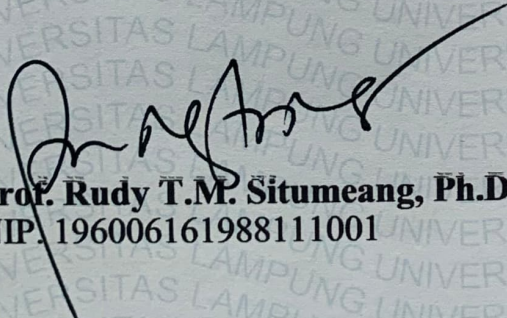
: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

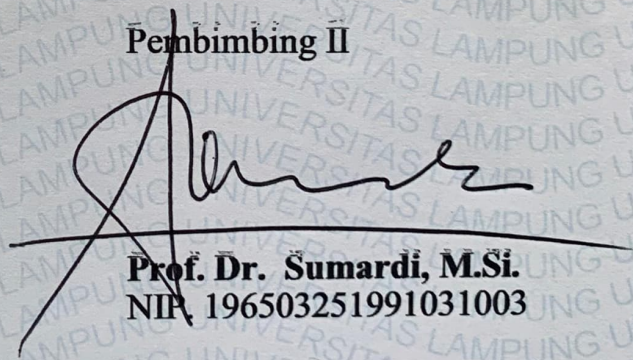
MENYETUJUI

I. Komisi Pembimbing

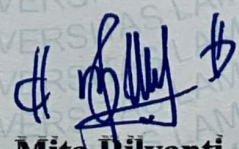
Pembimbing I

Pembimbing II


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


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

II. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung


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

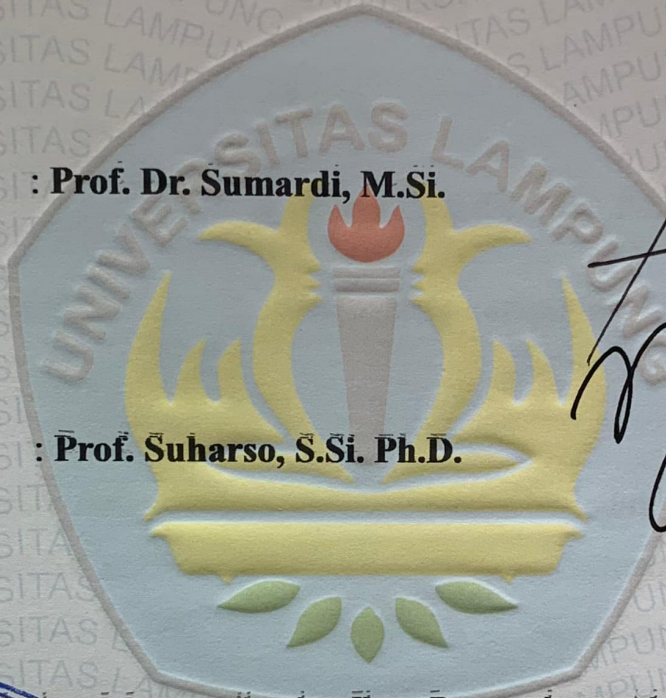
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

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

Anggota : **Prof. Suharso, S.Si. Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

NIP 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 17 Juli 2025

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Adelia Feby Tamara
NPM : 2117011040
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini yang berjudul **“Sintesis dan Karakterisasi S/CuO/TiO₂ (0,5/1 dan 1/1) yang Diiradiasi Sinar Tampak Sebagai Antibakteri (*Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli*) dan Antijamur (*Candida albicans*)”** adalah hasil penelitian dan karya tulis saya sendiri dan tidak terdapat karya tulisan yang telah diterbitkan orang lain, kecuali acuan yang secara tertulis dicantumkan pada naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Saya tidak keberatan apabila sebagian maupun keseluruhan data pada naskah ini dipakai oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 17 Juli 2025



Adelia Feby Tamara
NPM 2117011040

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Adelia Feby Tamara, lahir di Natar Lampung Selatan 01 Februari 2003 sebagai anak tunggal yang merupakan buah cinta dari pasangan Bapak Parmono dan Ibu Noviyanti. Penulis bertempat tinggal di Merak Batin, Natar, Lampung Selatan. Jenjang pendidikan penulis diawali dari Sekolah Dasar di SDN 3 Merak Batin yang di selesaikan pada tahun 2015. Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Natar yang diselesaikan pada tahun 2018. Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Natar yang diselesaikan pada tahun 2021. Kemudian pada tahun yang sama, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Pada tahun 2024, penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Rejomulyo, Kec. Jati Agung, Kab. Lampung Selatan dan telah menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung dengan judul **“Sintesis dan Uji Gram Negatif Antibakteri Nanokomposit CuO/TiO₂ yang Diiradiasi Sinar *Visible*”**. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah mengikuti kegiatan Program Kreatifitas Mahasiswa pada tahun 2023 dan dinyatakan lolos pendanaan. Pengalaman organisasi penulis dimulai dari Kader Muda Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) sebagai anggota bidang Kaderisasi dan Pengembangan Organisasi (KPO) pada tahun 2022. Selain HIMAKI, penulis juga aktif bergabung dalam organisasi Kesenian FMIPA khususnya seni tari.

MOTTO

“Jadikan sabar dan sholat sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah bersama orang-orang yang sabar”
(Q.S. Al-Baqarah: 153)

“Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya. Dia mendapat (pahala) dari (kebajikan) yang dikerjakannya dan mendapat (siksa) dari (kejahatan) yang diperbuatnya”
(Q.S. Al-Baqarah: 286)

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan.
Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan”
(Q.S Al-Insyirah: 5-6)

Iman tak menjamin hidup tanpa luka, tapi menjanjikan kekuatan untuk melewatinya
(Penulis)

Aku membahayakan nyawa ibuku untuk lahir ke dunia, jadi tidak mungkin aku tidak ada artinya
(Penulis)

“Untuk apapun yang terjadi dihidupku, aku ikhlas menerimanya, aku hanya ingin menjadi sebaik-baiknya manusia. Bahkan di titik terburukku dalam hidup, aku hanya ingin bermanfaat bagi banyak orang, untuk siapapun yang berkesempatan membaca ini tolong bantu doakan aku.”
(Penulis)

PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadirat Allah SWT. yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah serta iman-Nya. Sholawat beserta salam semoga selalu tercurahkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW. Kupersembahkan karya ini untuk orang yang kusayangi:

Untuk Bapak dan Mama Tercinta

Karya kecil ini kupersembahkan sebagai wujud cinta, bakti, hormat, sayang dan tanggung jawab kepada Bapak Parmono dan Mama Noviyanti. Terimakasih dengan segala keterbatasan ekonomi, keringat yang tak pernah diminta dihargai, dan doa-doa yang lirih dalam diam, kalian terus berjuang agar aku bisa berdiri di titik ini.

Bapak Prof. Dr. Rudy T. M. Situmeang, M.Sc. Ph.D. dan Bapak Prof. Dr. Sumardi, S.Si. M.Si.

Atas bimbingan, ilmu, saran, dukungan selama penelitian dan penulisan tugas akhir. Terimakasih telah memberikan yang terbaik dan membantu mengejar mimpi, penulis merasa menemukan pelindung, disiplin dan kasih dari pembimbing. Terimakasih telah menuntun dan memberikan jalan saat penulis tak tau arah.

Dosen Jurusan Kimia

Atas segala ilmu, pembelajaran serta motivasi yang diberikan selama masa perkuliahan.

Keluarga Besar Mama dan Bapak

Atas segala doa dan dukungan yang diberikan sehingga penulis mampu meraih gelar sarjana dan menjadi orang pertama dari kedua belah pihak yang memiliki gelar sarjana.

Sahabat-sahabat Tercinta

Terima kasih telah menjadi bahu saat dunia terasa berat, dan tawa saat semuanya terasa ringan.

Almamater Tercinta, Universitas Lampung

SANWACANA

Alhamdulillahirobbil alamin, puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat, karunia, dan kekuatan yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Sintesis dan Karakterisasi S/CuO/TiO₂ (0,5/1 dan 1/1) yang Diiradiasi Sinar Tampak Sebagai Antibakteri (*Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli*) dan Antijamur (*Candida albicans*)” dengan baik. Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Penyusunan skripsi ini tentunya tidak lepas dari dukungan, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan baik secara moril maupun materil.

1. Bapak Prof. Rudy T. M. Situmeang, M.Sc. Ph.D. selaku pembimbing 1, sosok yang mungkin terlihat galak di luar, tapi berhati sangat hangat di dalam. Terimakasih atas segala bimbingan serta ilmu yang bapak berikan dalam penyelesaian skripsi ini, tawa khas Batak yang Bapak berikan mampu memberikan ketenangan disela sela ketegangan. Dengan sepenuh hati saya doakan, semoga Tuhan Yang Maha Pengasih membalas semua kebaikan Bapak dengan berlimpah keberkahan, kesehatan, dan sukacita di dunia ini. Jika diperkenankan, saya berharap bisa bertemu Bapak lagi, bukan hanya di dunia, tapi juga di surga-Nya sebagai sesama pecinta kebaikan.

2. Bapak Prof. Dr. Sumardi, S.Si., M.Si. selaku pembimbing 2, terima kasih yang tak terhingga saya sampaikan atas segala bimbingan, kesabaran, dan kelembutan dalam membimbing saya menyelesaikan skripsi ini. Di tengah segala kekhawatiran dan tekanan yang saya rasakan selama proses ini, sikap Bapak yang tenang menjadi penguat yang luar biasa. Semoga kebaikan hati dan ilmu yang Bapak tanamkan menjadi amal jariyah yang terus mengalir.
3. Bapak Prof. Suharso, S.Si. Ph.D. sebagai pembahas yang memberikan saran, arahan, kritik dan motivasi terkait penyelesaian skripsi ini.
4. Orang tua tercinta Bapak Parmono dan Mama Noviyanti, meskipun kalian hanya sempat merasakan bangku pendidikan di Sekolah Dasar, namun senantiasa memberikan yang terbaik, tak kenal lelah mendoakan, mengusahakan, memberikan dukungan baik secara moral maupun finansial. Perjalanan hidup kita sebagai satu keluarga yang utuh memang tidak mudah, namun segala hal yang telah dilalui memberikan penulis pelajaran yang sangat berharga. Terima kasih karena tidak pernah menyerah, bahkan saat aku sendiri hampir menyerah. Semoga Tuhan mengangkat derajat kalian setinggi-tingginya, melebihi apa pun yang bisa aku raih dengan ilmu ini.
5. Kenzi Delvino adikku tersayang, terimakasih telah menjadi pelipur lara, obat dari segala rasa lelah, jadilah pribadi yang tangguh, bahagia dan membanggakan. Semoga kelak hidupmu jauh lebih baik dariku, gelar ini akan ku manfaatkan sebaik-baiknya untuk memberikanmu kehidupan yang lebih baik lagi.
6. Ibu Hapin Afriyani, M.Si. selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan motivasi, arahan, saran dan kritik dalam pelaksanaan studi.
7. Ibu Prof. Dr. Mita Rilyanti, S.Si. M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
9. Bapak/Ibu dosen Jurusan Kimia yang telah mendidik dan memberikan ilmu kepada penulis.
10. Bapak/Ibu staff administrasi di Jurusan Kimia dan Fakultas MIPA yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.

11. Kepada mba Liza dan Mba Oni selaku laboran Kimia Anorganik-Fisik dan Mikrobiologi, terimakasih atas bantuan yang diberikan kepada penulis baik pada saat Praktik Kerja Lapangan hingga penyelesaian tugas akhir, serta saran, motivasi dan canda tawa selama penelitian.
12. Rekan sepenelitianku Rudy Research 21 Haryati Priskilla Tarigan, Nella Simanjuntak, Rika Sapitri dan Nanda Putri Kusuma, terimakasih untuk segala kebersamaan, motivasi, dukungan, bantuan kepada penulis sehingga semuanya berjalan lancar. Semoga apapun yang menjadi harapan kita lekas tercapai, semoga kalian selalu dicintai dimanapun pijak duduk kalian.
13. Andhika Fitra Pratama sosok yang membersamai penulis dari awal perkuliahan hingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini, terimakasih atas dukungan, motivasi dan bantuan materil yang diberikan. Hadirnya saudara menjadikan kehidupan penulis menjadi lebih mudah dilalui, semoga Allah menambah nikmat iman dan Islammu.
14. Keluarga besar yang telah memberikan semangat, doa, motivasi, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
15. Kadam Sidik alias Husain, sosok yang mungkin tak mengenal penulis namun, kehadirannya mampu memberikan pengaruh yang besar dalam hidup penulis. Terimakasih karna telah menjadi sumber inspirasi dalam diam, melalui karya dan ucapannya, penulis belajar menjadi versi terbaik dari diri sendiri. Terimakasih karena telah ada dan hadir sebagai sosok yang dikagumi penulis, semoga karna kebaikan Allah dirimu bisa membaca skripsi ini bersama penulis.
16. Amelia Normalita teman pertama diperkuliahan hingga saat ini, terimakasih atas kebersamaan, canda, tawa dan air mata sehingga penulis tidak pernah merasa sendiri, terimakasih atas segala bentuk perhatian dan doa yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
17. Haryati Priskilla Tarigan, terimakasih atas segala kebersamaan, bantuan dan saran yang diberikan kepada penulis, dari awal perkuliahan hingga penelitian, terimakasih selalu mengingatkan segala hal baik mengenai perkuliahan hingga perjalanan hidup ini, terimakasih karna telah membuat perkuliahan ini terasa

lebih mudah dijalani, bahagialah selalu dimanapun kamu berada, semoga dimanapun tempatmu Tuhanmu selalu membersamaimu.

18. Riska Setya Dharmayanti terimakasih atas kesabarannya mendengarkan keluhan kesah penulis, membantu mewujudkan keinginan penulis pada masa-masa perkuliahan, terimakasih atas segala tawa dan kebersamaan yang diberikan.
19. Tim Hayuk, Aranca, Lupita, Debora, Sovia, Elis, Hurin, dan Selvia atas kebersamaan yang diberikan, terimakasih telah memberikan rasa pertemanan yang baik pada masa perkuliahan, terimakasih atas segala kenangan yang telah dilalui bersama, di penghujung pertemuan ini penulis berharap semoga dimanapun kalian berada rahmat dan kasihNya selalu membersamai kalian.
20. Umi Handayani, teman penulis sejak kecil, remaja hingga saat ini menginjak kepala dua, terima kasih telah menjadi tempat berkeluh kesah, menumpahkan segala resah dan gundah, meskipun beberapa tahun terakhir pertemuan kita dapat dihitung dengan jari saja karna jalan yang kita tempuh berbeda, namun penulis tetap mendoakan semoga dirimu baik-baik saja. Bahagialah, semoga dirimu dijadikan orang yang lelah dalam membagi-bagikan harta Allah, bukan yang lelah dalam mencari harta Allah.
21. Teman- teman kimia Angkatan 21 terutama kelas B, terimakasih atas kebersamaan dan canda tawa yang diberikan selama masa perkuliahan. Semoga kita semua dijadikan orang-orang yang lelah dalam membagi-bagikan harta Allah bukan yang lelah dalam mencari harta Allah.
22. Rekan-rekan penelitian Kimia 21 penghuni laboratorium Kimia Anorganik-Fisik, terimakasih atas canda tawa yang dilalui bersama pada masa-masa penelitian, atas bantuan dan saran, semoga sehat selalu.
23. Seluruh pihak yang telah membantu mendoakan penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
24. Terimakasih untuk diriku sendiri yang telah berjuang kuat dalam proses perkuliahan hingga penulisan skripsi ini. Terimakasih karena memutuskan tidak menyerah sesulit apapun proses penyusunan skripsi ini dan telah menyelesaikannya sebaik dan semaksimal mungkin. Terimakasih karna selalu berusaha kuat dan sabar untuk menerima segala yang terjadi dalam hidup ini,

hiduplah lebih baik. Berbahagialah selalu dimanapun berada, semoga dirimu selalu berada di jalan yang di rahmati Allah.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan untuk memperbaiki penulisan di masa yang sekarang. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat menambah wawasan dan ilmu pengetahuan untuk kita semuanya. Kiranya Allah akan selalu merahmawti dan meridhoi kita di setiap perjalanan dan kehidupan kita semua.

Bandar Lampung, 17 Juli 2025

Penulis

Adelia Feby Tamara

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	x
---------------------	---

DAFTAR TABEL	xiii
--------------------	------

I. PENDAHULUAN	1
----------------------	---

1.1 Latar Belakang	1
--------------------------	---

1.2 Tujuan Penelitian	5
-----------------------------	---

1.3 Manfaat Penelitian	6
------------------------------	---

II. TINJAUAN PUSTAKA	7
----------------------------	---

2.1 Nanopartikel	7
------------------------	---

2.2 Nanokomposit	7
------------------------	---

2.3 Tembaga (II) Oksida (CuO)	8
-------------------------------------	---

2.3 Sulfur	9
------------------	---

2.4 Titanium Dioksida (TiO ₂)	11
---	----

2.5 Mikroba	13
-------------------	----

2.6.1 <i>Escherichia coli</i>	14
-------------------------------------	----

2.6.2 <i>Bacillus subtilis</i>	15
--------------------------------------	----

2.6.3 <i>Candida albicans</i>	16
-------------------------------------	----

2.6 Antimikroba	18
-----------------------	----

2.6.1 Antibiotik	19
------------------------	----

2.6.2 Antifungi	22
-----------------------	----

2.7 Resistensi	24
----------------------	----

2.8 Uji Aktifitas Antimikroba	27
-------------------------------------	----

2.9 Reaksi Fotokatalitik.....	29
2.10 Katalis.....	30
2.11 Preparasi Katalis.....	31
2.11.1 Metode Sol-Gel.....	31
2.11.2 Pengeringan Beku (<i>Freeze Dry</i>).....	32
2.11.3 Impregnasi.....	33
2.11.4 Sonikasi (Ultrasonik)	34
2.12 Karakterisasi Katalis.....	35
2.12.1 <i>Fourier Transform Infrared Spectrometry</i> (FTIR).....	35
2.12.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	36
2.12.3 <i>Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (DRS).....	38
III. METODE PENELITIAN.....	39
3.1. Waktu dan Tempat	39
3.2. Alat dan Bahan	39
3.3. Sintesis S/CuO/TiO ₂	40
3.3.1. Sintesis Nanopartikel CuO.....	40
3.3.2. Sintesis Nanopartikel TiO ₂	41
3.3.3. Pembuatan Nanokomposit S/CuO/TiO ₂	41
3.3.4. Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	42
3.3.5. Analisis <i>Fourier Transform Infrared Spectrometry</i> (FTIR).....	42
3.3.6. Analisis <i>Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (DRS).....	43
3.4. Uji Aktivitas Antimikroba	43
3.4.1. Sterilisasi Alat	43
3.4.2. Regenerasi Mikroba	43
3.4.3. Perlakuan S/CuO/TiO ₂ Sebagai Antimikroba	44
3.4.5 Pengamatan Hasil Uji Antimikroba	46
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1. Nanopartikel CuO.....	47
4.2. Nanopartikel TiO ₂	49
4.3. Nanokomposit S/CuO/TiO ₂	50
4.3.1 Nanokomposit S/CuO	50
4.3.2 Nanokomposit S/CuO/TiO ₂	52
4.4. Karakterisasi	53
4.4.1 FTIR	53

4.4.2 XRD	58
4.4.3 DRS UV- <i>Vis</i>	62
4.5. Uji Aktivitas Antimikroba.....	67
4.5.1 Uji Antibakteri	68
4.5.2 Uji Antijamur	73
V. KESIMPULAN	76
5.1. Kesimpulan	76
5.2. Saran....	77
DAFTAR PUSTAKA.....	78
LAMPIRAN.....	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Mekanisme nanopartikel sulfur terhadap sel bakteri	11
2. Mekanisme nanopartikel sulfur terhadap sel jamur	11
3. Struktur kristal TiO ₂	12
4. Bakteri <i>Escherichia coli</i>	15
5. Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	16
6. Struktur dinding <i>Candida albicans</i>	17
7. Mekanisme antibiotik.....	22
8. Mekanisme anopartikel terhadap bakteri dan jamur	24
9. Mekanisme utama resistensi bakteri.	27
10. Proses reaksi fotokatalitik.	30
11. Perubahan fase beku (air) menjadi gas melalui pengeringan beku.	33
12. Spektrum FTIR TiO ₂	36
13. Difraksi sinar-X pada jarak antar atom d dan sinar datang θ	37
14. Difraktogram XRD nanopartikel TiO ₂	37

15. Energi <i>band gap</i> (a) TiO_2 , (b) 1% Cu(II)-TiO_2 (c), 1% $\text{Cu(II)-TiO}_2/\text{BiO}_3$	38
16. Hasil Pembuatan Nanopartikel CuO	49
17. Hasil Pembuatan Nanopartikel TiO_2	50
18. Nanokomposit S/CuO	50
19. Hasil sintesis S/CuO/TiO_2	53
20. Spektrum IR CuO	54
21 Spektrum IR TiO_2	55
22 Spektrum IR S/CuO 1/1.	56
23 Spektrum IR S/CuO/TiO_2	57
24 Hasil Difraktogram CuO	59
25 Hasil Difraktogram TiO_2	60
26 Hasil Difraktogram S/CuO 1/1.	61
27. Hasil Difraktogram dari S/CuO/TiO_2	62
28. Spektrum absorbansi a) CuO dan b) S/CuO	63
29. Grafik nilai <i>band gap</i> CuO	64
30. Grafik nilai <i>band gap</i> S/CuO	64
31. Spektrum absorbansi a) S/CuO/TiO_2 0,5/1 dan b) S/CuO/TiO_2 1/1.	65
32. Grafik nilai <i>band gap</i> S/CuO/TiO_2 0,5/1.	66
33. Grafik nilai <i>band gap</i> S/CuO/TiO_2 1/1.....	66
34. Hasil Uji Antibakteri <i>Escherichia coli</i> ke-1	94

35. Hasil Uji Antibakteri <i>Escherichia coli</i> ke-2	95
36. Hasil Uji Antibakteri <i>Bacillus subtilis</i> ke-1.	97
37. Hasil Uji Antibakteri <i>Bacillus subtilis</i> ke-2	98
38. Hasil Uji Antijamur <i>Candida albicans</i> ke-1.....	99
39. Hasil Uji Antijamur <i>Candida albicans</i> ke-2.....	100

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Sifat Fisik Belerang.....	9
2. Hasil Sintesis S/CuO	51
3. Hasil Pembuatan Nanokomposit S/CuO/TiO ₂	53
4. Hasil Uji Bakteri <i>Escherichia coli</i>	71
5. Hasil Uji Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	72
6. Hasil Uji Antijamur	73
7. Hasil Uji Antibakteri ke-1 dan 2	96
8. Hasil Uji Antijamur ke-1 dan 2.	101

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Infeksi mikroba pada manusia merupakan masalah besar di negara-negara berkembang, termasuk Indonesia (Mustofa dan Adilla, 2024). Jamur menjadi salah satu penyebab infeksi yang umum di Indonesia, terutama karena kondisi tropis dan kelembaban udara yang tinggi, yang mendukung pertumbuhannya (Purnamasari dkk, 2021). Salah satu jenis jamur yang mudah menjangkit masyarakat Indonesia yaitu golongan jamur *Candida albicans* (Nurul dkk., 2020). Infeksi *Candida albicans* banyak dijumpai pada hampir 80% wanita Indonesia pada usia 15-45 tahun (Fitria dkk, 2020). *Candida albicans* dapat ditemukan di berbagai bagian tubuh seperti mulut, vagina, kulit, kuku dan paru-paru. Namun, ketika populasinya meningkat di habitat alami tersebut, *Candida albicans* dapat menyebabkan infeksi yang dikenal sebagai kandidiasis, yang sering kali menimbulkan gangguan kesehatan seperti menyebabkan infeksi dan kondisi serius seperti septikemia, endokarditis, atau meningitis (Vandy, 2020).

Infeksi mikroorganisme lain yang banyak terjadi di Indonesia selain infeksi jamur adalah infeksi bakteri. Di Indonesia infeksi bakteri dibuktikan dengan penelitian tentang penyebab infeksi nasokomial yang dilakukan di kamar operasi CITO BLU RSUP. Prof. DR. R. D. Kandou Manado pada tahun 2019-2024 yang menunjukkan bahwa bakteri *Bacillus subtilis* menjadi salah satu bakteri yang paling banyak ditemukan dalam kasus infeksi nasokomial (Balqis dan Susilawati, 2024).

Selain infeksi mikroba, permasalahan resistensi bakteri terhadap antibiotik juga menjadi salah satu masalah kesehatan yang tidak hanya menjadi masalah di negara berkembang namun juga menjadi masalah kesehatan secara global (CDC, 2019). Resistensi ialah ketahanan patogen dalam melenyapkan dan mengurangi kinerja antibiotik, yang berpengaruh pada angka kesakitan, kematian, ekonomi maupun sosial (Yunita dkk., 2021). Penggunaan antibiotik yang kurang bijak menjadi penyebab utama terjadinya resistensi antibiotik (Mutmainah dkk., 2022).

Penyakit resistensi yang telah ditemukan di Indonesia salah satunya yaitu resistensi terhadap bakteri *Escherichia coli*. Kementerian Kesehatan RI mengatakan bahwa di Indonesia jumlah penderita ISK mencapai 180.000 kasus baru per tahun (Mutmainah, 2020). Mikroorganisme yang paling umum menyebabkan ISK adalah bakteri aerob, *Enterobacteriaceae* (di antaranya *Escherichia coli* dan *Enterococcus faecalis*) yang menjadi penyebab utama infeksi ini, dengan presentasi lebih dari 95% (Yashir dan Apriani, 2019). *Escherichia coli* diketahui memiliki tingkat resistensi rata-rata sekitar 26-56%. Bakteri ini dilaporkan telah menunjukkan banyak resistensi terhadap beberapa kelompok antibiotik, termasuk β -laktam, fosfomisin, fenikol, dan kuinolon (Syafriana *et al.*, 2020). Sebuah studi mengenai resistensi antimikroba di Indonesia (AMRIN-*Study*) mengungkapkan bahwa dari 2.494 responden yang tersebar di berbagai wilayah di Indonesia, sebanyak 43% bakteri *Escherichia coli* menunjukkan resistensi terhadap berbagai jenis antibiotik. Beberapa antibiotik yang mengalami tingkat resistensi tinggi antara lain adalah ampicilin (34%), kotrimoksazol (29%), dan kloramfenikol (25%) (Nurjanah dkk., 2020).

Nanopartikel menjadi topik penelitian yang menarik dan mendapat banyak perhatian karena kemampuannya dalam meningkatkan luas permukaan secara signifikan. Salah satu jenis yang banyak dikaji adalah nanopartikel oksida logam, yang memiliki potensi luas untuk diterapkan di berbagai sektor, terutama karena perannya sebagai katalis aktif dalam berbagai aplikasi (Zahra dkk., 2024). Nanopartikel berukuran sangat kecil, umumnya antara 1 hingga 100 nanometer, yang membuatnya memiliki sifat kimia, fisika, dan biologis yang khas. Ukuran partikel yang semakin kecil akan memperluas area permukaan yang berinteraksi

dengan mikroorganisme, sehingga mampu meningkatkan efektivitasnya sebagai agen antijamur dan antibakteri (Luhurningtyas dkk., 2021).

Metode sintesis yang tepat akan menghasilkan nanopartikel dengan ukuran kecil. Semakin kecil ukuran nanopartikel semakin besar efek antibakterinya. Jika ukuran partikel semakin kecil, luas permukaan semakin besar, sehingga meningkatkan kontak nanopartikel dengan sel bakteri atau jamur, dan mampu meningkatkan efektivitas bakterisida dan fungisida. Mekanisme reaksi antara nanopartikel tembaga dengan sel bakteri dapat dipahami melalui peranan nanopartikel tembaga yang berfungsi dalam mempengaruhi metabolisme sel dan menghambat pertumbuhan sel (Qamar *et al.*, 2020). Nanopartikel tembaga dapat melakukan penetrasi ke dalam membran sel melalui dinding sel yang kemudian menghambat sintesis protein. Sehingga hal ini memungkinkan terjadinya penurunan permeabilitas membran dan pada akhirnya menyebabkan kematian sel tersebut (Ermini *and* Voliani, 2021).

Nanopartikel tembaga (II) oksida (CuO) memiliki potensi yang tinggi dalam nanopartikel oksida logam karena memiliki biaya yang relatif rendah, katalitik dan memiliki sifat antimikroba (Muthuvel *et al.*, 2020). Nanopartikel CuO menunjukkan efektivitas yang tinggi sebagai agen antimikroba terhadap berbagai mikroorganisme, termasuk bakteri, virus, dan organisme eukariotik. Partikel-partikel nano ini mampu menembus dinding sel bakteri dan menyebabkan terbentuknya pori atau lubang pada permukaan sel. Setelah itu, nanopartikel tersebut cenderung terakumulasi di permukaan sel, yang kemudian memicu perubahan struktural pada membran, seperti peningkatan permeabilitas dan akhirnya mengakibatkan kematian sel. Oleh karena itu, nanopartikel CuO berpotensi besar untuk digunakan sebagai bahan antimikroba (Mustaqim dan Kusumastuti, 2020). Nanopartikel CuO yang berukuran nanometer memiliki ukuran yang lebih kecil dari ukuran pori membran sel, sehingga hal ini menyebabkan nanopartikel CuO memiliki kemudahan untuk menembus membran sel dan mencegah pertumbuhan bakteri. Selain itu nanopartikel CuO juga dapat menghasilkan *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang mampu berinteraksi dengan membran sel bakteri untuk masuk ke dalam sel yang kemudian mengakibatkan

terhambatnya pertumbuhan bakteri, produksi (ROS) pada nanopartikel CuO ini juga diketahui mampu menghancurkan membran sel bakteri (Labanni *et al.*, 2023).

Selain nanopartikel CuO, nanopartikel TiO₂ juga efektif sebagai antibakteri. Serbuk TiO₂ memiliki karakteristik optik, dielektrik, dan katalitik yang menonjol, sehingga banyak dimanfaatkan dalam berbagai industri sebagai pigmen, bahan pengisi, pendukung katalis, serta sebagai fotokatalis (Tinentang dkk., 2021). Kemampuan nanopartikel TiO₂ dalam meningkatkan sifat mekanik serta efektivitas antibakterinya terhadap bakteri Gram-positif maupun Gram-negatif juga pengaruhnya terhadap pertumbuhan sel, telah menjadi fokus perhatian yang luas khususnya dalam industri farmasi (Aritonang *et al.*, 2020).

Sulfur yang biasa dikenal sebagai belerang dalam beberapa tahun terakhir golongan senyawa ini menunjukkan berbagai macam aktivitas biologis termasuk antijamur, antibakteri, antiinflamasi dan antioksidan (Verma *et al.*, 2024). Sulfur memiliki peran sebagai fungisida dan insektisida alami yang cukup aman dan ramah untuk lingkungan sekitar. Sulfur berperan penting sebagai fungisida dengan cara kerja menghambat terjadinya pertumbuhan jamur dan bakteri yang dapat menyebabkan penyakit pada tanaman. Proses sulfur sebagai fungisida yaitu mengganggu metabolisme sel jamur dan bakteri sehingga jamur dan bakteri tidak dapat menginfeksi. Selain itu, sulfur berperan sebagai insektisida pembunuh serangga dengan cara mengganggu sistem pernapasan serangga sehingga serangga mati (Tanzil *et al.*, 2022). Sulfur mampu membunuh jamur dengan cara melisiskan dinding sel jamur. Sulfur juga diketahui berfungsi sebagai keratolitik, sehingga dipasaran banyak ditemukan sediaan sulfur komersial seperti dalam bentuk salep dan sabun (Yulisa dkk., 2025).

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Legia pada tahun 2023 yang berjudul Sintesis dan Karakterisasi S/CuO/nGO dari Limbah Bonggol Jagung yang Diiradiasi Sinar Tampak Sebagai Antibakteri. Pada penelitian tersebut material S/CuO/nGO digunakan sebagai antibakteri terhadap bakteri *Escherichia coli* dan *Bacillus subtilis* dengan menggunakan metode difusi cakram, dimana suatu kertas

saring atau *paper disk* berfungsi sebagai tempat penampungan zat antimikroba. Diketahui material tersebut memiliki kemampuan sebagai antibakteri. Penelitian tersebut dikatakan berhasil karena material tersebut mampu menghambat proses pertumbuhan bakteri dimana pada bakteri *Escherichia coli* menunjukkan hasil yang lebih optimum dibandingkan terhadap bakteri *Bacillus subtilis*.

Penelitian mengenai antimikroba nanokomposit S/CuO/TiO₂ belum pernah dilakukan, sehingga berdasarkan latar belakang tersebut, saya mengusulkan proposal penelitian yang berjudul sintesis dan karakterisasi S/CuO/TiO₂ (1/1 dan 0,5/1) yang diiradiasi sinar tampak sebagai antibakteri (*Escherichia coli* dan *Bacillus subtilis*) dan antijamur (*Candida albicans*). Dimana pada penelitian ini dilakukan preparasi nanopartikel CuO menggunakan metode sol gel yang kemudian didopping dengan thiourea untuk mendapatkan senyawa S/CuO. Selanjutnya S/CuO didistribusikan ke permukaan TiO₂ dengan metode impregnasi dan sonikasi untuk mendapatkan nanokomposit S/CuO/TiO₂. Nanokomposit S/CuO/TiO₂ yang telah disintesis kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) dan *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS) yang dimana material tersebut digunakan sebagai antibakteri terhadap bakteri *Escherichia coli* dan *Bacillus subtilis* serta antijamur terhadap jamur *Candida albicans* menggunakan metode difusi cakram dengan bantuan cahaya tampak.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mensintesis nanopartikel TiO₂ anatase yang didopping dengan S/CuO.
2. Menganalisis sifat-sifat kimia dari nanokomposit S/CuO/TiO₂ dengan rasio komposisi 0,5/1 dan 1/1.
3. Uji aktivitas antibakteri S/CuO/TiO₂ terhadap bakteri *Escherichia coli* dan *Bacillus subtilis*.
4. Uji aktivitas antijamur S/CuO/TiO₂ terhadap jamur *Candida albicans*.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui karakteristik kimia dari nanokomposit S/CuO/TiO₂ dengan rasio komposisi 0,5/1 dan 1/1.
2. Memberikan informasi mengenai nanokomposit S/CuO/TiO₂ dapat digunakan sebagai antibakteri.
3. Memberikan informasi mengenai nanokomposit S/CuO/TiO₂ dapat digunakan sebagai antijamur.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nanopartikel

Nanopartikel merupakan salah satu hasil dari nanoteknologi baru yang berkembang pesat. Nanopartikel memiliki ukuran sekitar 1–100 nm, serta memiliki sifat kimia dan fisika yang lebih unggul dari material yang berukuran besar (Febriliani dkk., 2025). Nanopartikel logam sering diteliti karena memiliki kemampuan antibakteri yang sangat efektif. Seiring dengan semakin kecilnya ukuran partikel, efektivitas antibakteri nanopartikel meningkat, karena luas permukaan yang lebih besar memungkinkan interaksi yang lebih intens dengan mikroorganisme seperti bakteri dan jamur (Fusfita dkk., 2025). Keberhasilan propolis sebagai antibakteri dalam bentuk ekstrak dan sediaan mikro menjadi dasar pengembangan propolis dalam bentuk nano. Bentuk nano ini memberikan peningkatan luas permukaan, yang pada gilirannya meningkatkan kelarutannya dalam tubuh. Selain itu, ukuran partikel yang sangat kecil memungkinkan penetrasi ke membran luar bakteri, sehingga senyawa aktif di dalamnya dapat merusak dinding sel bakteri secara lebih efektif (Harahap dkk., 2025).

2.2 Nanokomposit

Nanokomposit merupakan jenis material komposit yang mengandung setidaknya dua komponen berukuran nanometer (1–100 nm). Komponen nano ini seperti nanopartikel logam, nanoclay, atau karbon nanotube dicampurkan ke dalam matriks utama yang bisa berupa polimer, logam, atau keramik. Tujuan penambahan partikel nano ini adalah untuk meningkatkan karakteristik mekanik,

termal, kimiawi, dan fungsional dari material tanpa memberikan tambahan massa yang signifikan. Keunggulan utama nanokomposit terletak pada interaksi yang terjadi antara partikel nano dan matriks penyusunnya, yang mampu menghasilkan sifat unggul seperti peningkatan kekuatan, kekakuan, dan stabilitas termal dibandingkan material biasa. (Septiyanto dkk., 2025). Nanokomposit merupakan material yang mengandung agen penguat atau bahan pengisi berukuran nano yang sangat kecil, namun memiliki karakteristik fungsional yang menonjol, seperti peningkatan dalam sifat termal, mekanik, optik, serta konduktivitas (Sundari dan Fiardila, 2024).

2.3 Tembaga (II) Oksida (CuO)

Tembaga (Cu) termasuk ke dalam golongan logam berat yang beratnya lebih dari 5 g/cm^3 , kebanyakan tembaga didapat dari proses pertambangan yang mengandung logam tembaga dengan proses pembakaran dan pencairan. Dengan proses elektrolitik logam tembaga biasanya dapat dipisahkan dan dimurnikan, sehingga menjadi logam tembaga murni. Salah satu contoh nanopartikel yang menjadi perhatian untuk diteliti yaitu nanopartikel tembaga (II) oksida (CuO). CuO bersifat semi konduktor dan mempunyai nilai *band gap* sebesar 1,2-1,55 eV. CuO banyak diaplikasikan sebagai bahan biomedis dan antibakteri (Waris dkk., 2021).

Salah satu mekanisme potensial dari aktivitas antibakteri nanopartikel besi adalah kemampuannya menghasilkan ROS (*Reactive Oxygen Species*). ROS merupakan radikal bebas yang dapat merusak struktur sel, termasuk memutus rantai DNA, menonaktifkan enzim, serta memicu peroksidasi lipid, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kematian sel bakteri (Vihodcefa, 2021). Pembentukan ROS oleh nanopartikel dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah interaksi langsung dengan mitokondria. DNA mitokondria bertanggung jawab dalam menyandikan protein-protein penting untuk jalur produksi energi, seperti fosforilasi oksidatif, yang menghasilkan ATP dan ROS sebagai produk sampingan. Proses ini dapat menyebabkan kematian sel jika terjadi ketidakseimbangan.

Mitokondria juga merupakan pusat utama transport elektron, yang menjadi sumber utama pembentukan ROS. Ketika nanopartikel memasuki sel, mereka dapat mengganggu rantai transport elektron di mitokondria, sehingga meningkatkan produksi ROS akibat terganggunya proses respirasi seluler. ROS yang dihasilkan kemudian dapat merusak berbagai komponen sel seperti lipid, protein, dan DNA, yang pada akhirnya memicu stres oksidatif dan menyebabkan kematian sel (Hikmah *et al.*, 2021).

2.3 Sulfur

Belerang merupakan salah satu unsur yang banyak ditemukan di alam, baik dalam bentuk bebas maupun persenyawaan. Kadar belerang di kerak bumi mencapai sekitar 0,1 persen bobot, termasuk di dalamnya selenium dan tellurium, yang merupakan keluarga belerang. Jika belerang ditemukan sebagai unsur, biasanya bercampur dengan batu atau tanah, kemudian dipisahkan melalui pemanasan hingga belerang meleleh dan keluar. Belerang merupakan elemen yang banyak digunakan dalam bidang biomedis, belerang juga dikenal dengan sulfur. Belerang memiliki fleksibilitas yang unik. Pada belerang terdapat asam amino seperti taurin, metionin, sistein, homosistein dan homosistin. Belerang juga memiliki kemampuan sebagai shampo antiketombe dan jerawat (Sanjaya, 2023).

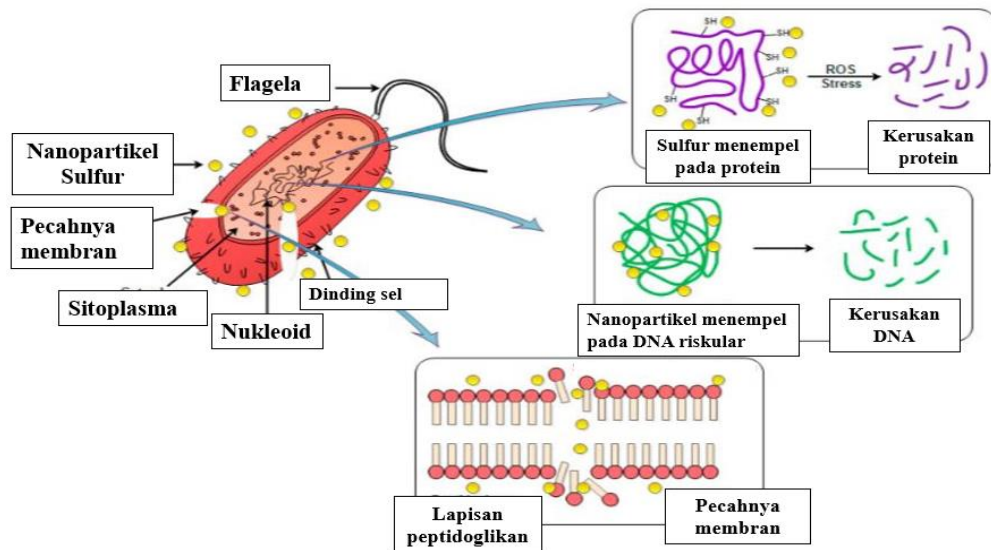
Tabel 1. Sifat Fisik Belerang (Stel'makh *et al.*, 2023).

Penampilan pada suhu kamar	Kuning, getas, padat
Rumus molekul biasa	S ₈
Titik leleh, °C	115,2
Titik didih, °C	444,6
Energi pengionan, Ev/atom dan kJ/mol	10,4
Massa jenis (α -sulfur), g/cm ³	2,07
Massa atom relatif, g/mol	32,065

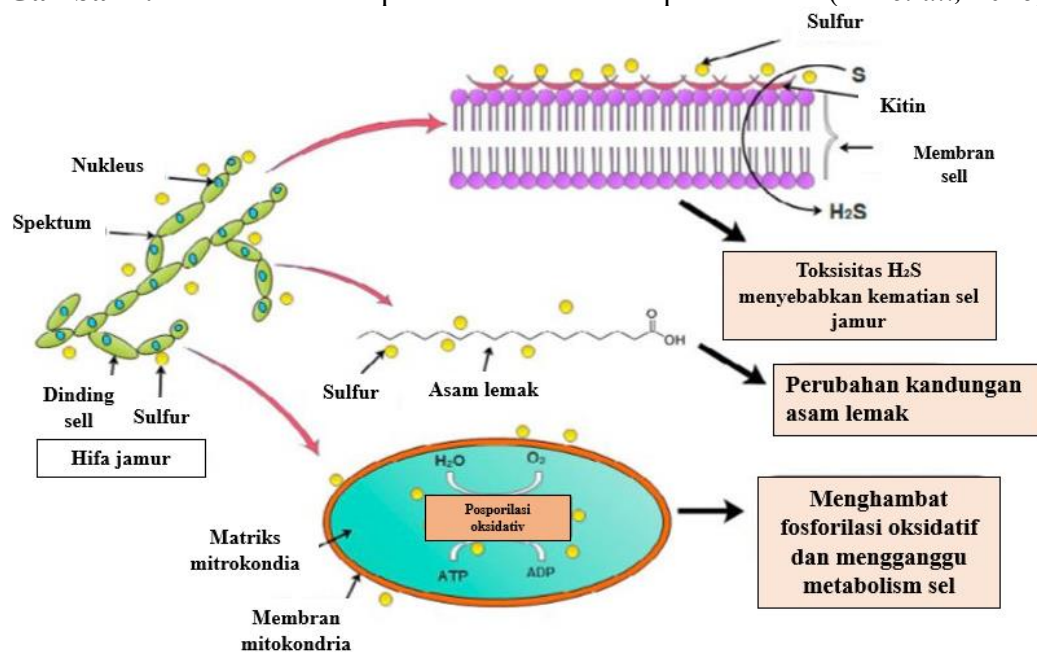
Sulfur merupakan sebuah padatan kristal yang berwarna kuning cerah dan memiliki bau yang khas yang cukup menyengat. Sulfur banyak ditemukan di daerah gunung berapi, batuan yang mengandung mineral sulfida dan mata air panas. Sulfur dikenal dengan belerang yang berperan penting sebagai fungisida dan insektisida alami yang ramah dan aman untuk lingkungan (Tanjil *et al.*, 2022). Selain digunakan sebagai antiparasit dan antijamur, pemberian terapi sulfur juga dimaksudkan untuk mencegah kemungkinan terjadinya interaksi atau kontraindikasi antara obat antijamur seperti ketokonazol dengan ivermectin (Yulisa dkk., 2025).

Berikut merupakan mekanisme nanopartikel belerang terhadap mikroorganisme bakteri dan jamur menurut beberapa ahli:

1. Ketika nanopartikel berinteraksi dengan permukaan bakteri, gaya elektrostatis antara nanopartikel dan sel bakteri memfasilitasi masuknya nanopartikel ke dalam membran sel. Hal ini mengakibatkan kerusakan pada membran sel dan berkurangnya viabilitas bakteri (Hajipour, 2012).
2. Ketika sulfur mengenai bakteri, terjadi perubahan pada integritas membran, potensial membran, serta depolarisasi. Perubahan ini menyebabkan gangguan transportasi, mengacaukan transduksi energi, dan pada akhirnya menyebabkan lisis atau kematian sel bakteri (Beyth *et al.*, 2015).
3. Nanopartikel berfungsi sebagai agen antimikroba dengan mengganggu proses replikasi DNA serta melepaskan ion logam beracun dan senyawa volatil, yang berperan dalam menyebabkan lisis sel (Kandi dan Kandi, 2015).
4. Nanopartikel sulfur yang bermuatan negatif akan berinteraksi dengan enzim dan protein pada target biologisnya, dengan menyerang permukaan sel dan membentuk lubang hingga terjadi kebocoran sel.



Gambar 1. Mekanisme nanopartikel sulfur terhadap sel bakteri (Rai *et al.*, 2016).



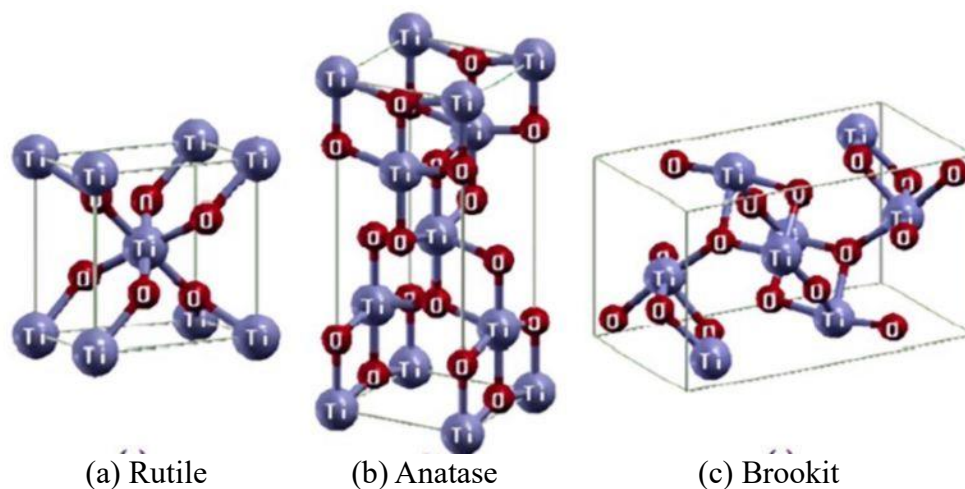
Gambar 2. Mekanisme nanopartikel sulfur terhadap sel jamur (Rai *et al.*, 2016).

2.4 Titanium Dioksida (TiO₂)

Titanium dioksida (TiO₂) merupakan salah satu jenis nanopartikel dari oksida logam yang banyak dimanfaatkan sebagai fotokatalis. Material ini dikenal karena sifat termal, magnetik, optik, dan dielektriknya yang unggul, serta kemampuan fotokatalitik yang tinggi, tidak toksik, dan memiliki kestabilan termal yang baik. TiO₂ memiliki beragam aplikasi, antara lain dalam perangkat optoelektronik,

material pembersih mandiri (*self cleaning*), sel surya berbasis dye (*dye sensitized solar cells*), proses fotokatalisis, elektrokimia, serta sebagai bahan aktif dalam produk antibakteri (Welia dkk., 2022). Titanium dioksida memiliki tiga bentuk struktur kristal, yaitu anatase, rutile, dan brookite. Di antara ketiganya, struktur rutile dan anatase tergolong stabil dan umum digunakan sebagai material fotokatalis. Dari segi aktivitas fotokatalitik, anatase menunjukkan kinerja yang lebih unggul dibandingkan rutile karena memiliki luas permukaan yang lebih besar dan ukuran partikel yang lebih kecil. Selain itu, anatase juga memiliki energi celah pita (*band gap*) yang lebih kecil daripada rutile, sehingga memberikan performa fotokatalitik yang lebih baik.

Meskipun titanium dioksida dikenal sebagai fotokatalis yang efektif, penggunaannya masih menghadapi beberapa kendala yang membatasi kinerjanya. Beberapa masalah tersebut meliputi kemampuan penyerapan cahaya yang terbatas, karena TiO_2 hanya responsif terhadap sinar ultraviolet dengan panjang gelombang di bawah 387 nm akibat celah pita yang lebar. Selain itu, proses rekombinasi pembawa muatan yang cepat serta efisiensi transfer muatan antar pembawa fotogenerasi juga menjadi hambatan. Sejumlah material semikonduktor nano seperti ZnO , TiO_2 , CdS , dan Fe_2O_3 saat ini menjadi fokus penelitian karena potensinya dalam mengatasi keterbatasan tersebut. TiO_2 tetap populer sebagai fotokatalis karena kemampuannya menyerap sinar UV secara efektif (Pratama dkk., 2021).



Gambar 3. Struktur kristal TiO_2 (Hikmah dkk., 2022)

Oksida logam TiO₂ dan ZnO cocok digunakan sebagai agen antibakteri karena ekonomis, memiliki stabilitas mekanik dan termal yang tinggi, mampu menyerap sinar UV, memiliki efek fotokatalitik, serta luas permukaan yang besar. Selain itu, kedua material ini telah diakui oleh banyak negara sebagai bahan fungsional yang aman dan tidak beracun (Sari dkk., 2022). Nanopartikel TiO₂ juga telah banyak dikombinasikan dengan logam lain seperti nanopartikel Ag untuk membentuk nanokomposit, dan diketahui memiliki efek antibakteri yang lebih baik dibandingkan jika saat TiO₂ dalam bentuk murni (Tinentang *et al.*, 2021). Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa nanopartikel TiO₂ memiliki aktivitas antimikroba yang baik sebagai antifungi maupun antibakteri. Selain itu, TiO₂ juga termasuk ke dalam kategori GRAS atau *Generally Recognized as Safe* (López de Dicastillo *et al.*, 2021). Fotokatalis TiO₂ diketahui dapat menghambat pertumbuhan sel bakteri patogen seperti *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* dan *Bacillus subtilis* (Fartiwi dkk., 2019).

2.5 Mikroba

Mikroba adalah organisme sederhana yang tersusun dari satu atau beberapa sel, mencakup berbagai jenis seperti virus, bakteri, mikroalga, protozoa, khamir, dan kapang (Tama dkk., 2023). Mikroorganisme atau mikroba adalah makhluk hidup yang memiliki ukuran sangat kecil, dengan diameter kurang dari 0,1 mm, sehingga hanya dapat dilihat menggunakan mikroskop. Beberapa mikroorganisme terdiri atas satu sel (*uniseluler*), sementara yang lain terdiri dari beberapa sel (*multiseluler*). Kelompok mikroorganisme mencakup bakteri, archaea, jamur (*fungi*), protozoa, mikroalga (*alga mikroskopis*), dan virus. Virus, bakteri, dan archaea diklasifikasikan sebagai organisme prokariotik, sedangkan jamur, protozoa, dan mikroalga tergolong eukariotik (Nurhayati dkk., 2022).

Kontaminasi mikroba merupakan salah satu masalah dalam kehidupan manusia yang berkaitan dengan penyebab infeksi. Kontaminasi dapat terjadi melalui makanan, air, udara, tanah dan lingkungan sekitar. Infeksi ialah keadaan masuknya mikroorganisme yang bersifat patogen tinggi ke dalam tubuh,

kemudian berkembang biak dan menimbulkan penyakit (Kulla dan Herani, 2022). Mikroorganisme yang sering berpotensi menyebabkan infeksi nasokomial antara lain *Proteus sp.*, *Escherichia coli* (Latifa dan Sofyanita, 2023). serta *Bacillus subtilis* (Syauqi, 2017).

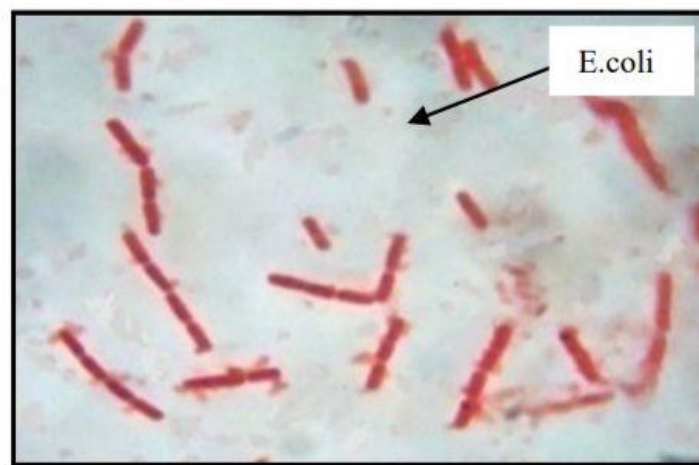
2.6.1 *Escherichia coli*

Escherichia coli merupakan bakteri gram negatif, yang memiliki klasifikasi sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Prokaryota</i>
Filum	: <i>Gracilicutes</i>
Kelas	: <i>Scotobacteria</i>
Ordo	: <i>Eubacterials</i>
Famili	: <i>Enterobacteriaceae</i>
Genus	: <i>Escherichia</i>
Spesies	: <i>Escherichia coli</i> (Juliantina <i>et al.</i> , 2008).

Escherichia coli adalah jenis bakteri gram negatif yang bersifat patogen. Perbedaan utama antara bakteri gram positif dan gram negatif terletak pada struktur dinding selnya. Beberapa strain *Escherichia coli* diketahui sebagai penyebab utama diare akut, terutama pada anak-anak balita. Strain-strain tertentu bahkan dikaitkan dengan bayi berat lahir rendah (*low birth weight infants*). Bakteri ini biasanya ditemukan di kotoran manusia, air yang tercemar, atau fasilitas sanitasi seperti toilet. Bakteri ini menghasilkan racun yang dapat merusak lapisan mukosa usus halus (Kulla dan Herani, 2022). *Escherichia coli* berbentuk batang dengan ukuran sekitar 1,0-1,5 μm x 2,0-6,0 μm , dapat bersifat motil dengan flagela atau tidak motil. Bakteri ini dapat tumbuh baik dengan maupun tanpa oksigen karena bersifat fakultatif anaerob, serta mampu bertahan di lingkungan dengan nutrisi rendah. Secara biokimia, *Escherichia coli* mampu menghasilkan indol, memiliki kemampuan terbatas dalam memfermentasi sitrat, dan menunjukkan hasil negatif pada uji urease (Rahayu dkk., 2018).

Escherichia coli mampu memfermentasi laktosa pada suhu 0°C dan diketahui lebih banyak menyebabkan infeksi pada manusia dibandingkan dengan akuatik lainnya. *Escherichia coli* menjadi penyebab diare akut pada semua kelompok usia. Bakteri ini menghasilkan toksin yang dapat menempel dan merusak sel mukosa di usus halus. Gejala umum yang muncul pada infeksi ini meliputi diare berair, kram perut, demam ringan, mual, dan rasa tidak nyaman (Kulla dan Herani, 2022).



Gambar 4. Bakteri *Escherichia coli* (Komala dan Yanarosanti, 2014).

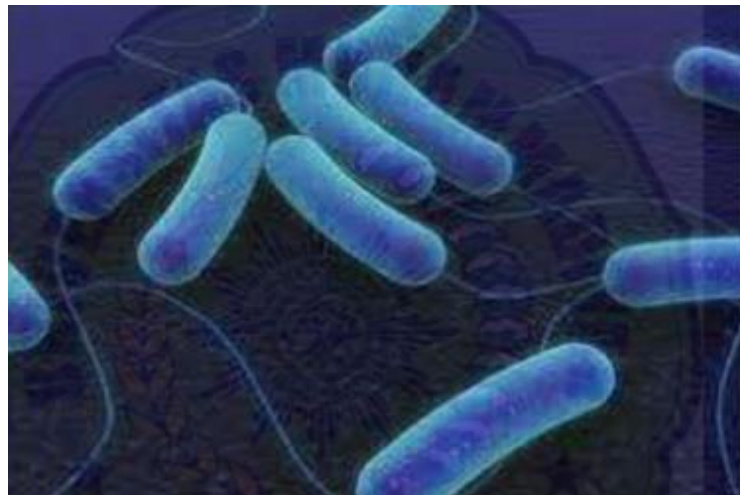
2.6.2 *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis merupakan bakteri gram positif yang memiliki klasifikasi sebagai berikut:

Domain	: <i>Bacteria</i>
Kingdom	: <i>Procaryotae</i>
Phylum	: <i>Bacteria</i>
Class	: <i>Schizomycetes</i>
Ordo	: <i>Eubacteriales</i>
Famili	: <i>Bacillaceae</i>
Genus	: <i>Bacillus</i>
Spesies	: <i>Bacillus subtilis</i> (Rahayu <i>et al.</i> , 2017).

Bacillus adalah bakteri kemoorganotrof dengan sel berbentuk batang, berukuran antara 0,3-2,2 µm x 1,27-7,0 µm. Sebagian besar bersifat motil dengan flagela

lateral khas. Metabolisme *Bacillus subtilis* dapat melalui respirasi sejati, fermentasi sejati, atau keduanya, dan bakteri ini dapat bersifat aerob sejati atau anaerob fakultatif. *Bacillus subtilis* sering ditemukan di tanah (Sudarwati, 2018). Secara alami bakteri *Bacillus subtilis* merupakan flora normal yang terdapat pada tubuh manusia, apabila populasinya tinggi dan berada di luar habitat aslinya maka bakteri tersebut berpotensi untuk menimbulkan penyakit (Brooks *et al*, 2001). *Bacillus subtilis* mampu memproduksi enterotoksin yang dapat mencemari makanan, terutama pada makanan yang mengandung protein (Pratiwi, 2008). *Bacillus subtilis* menyebabkan penyakit pada manusia dengan mengganggu sistem imun seperti meningitis dan gastroenteritis akut (Jawetz dan Adelberg, 1996) serta antraknosa pada tanaman cabai (Asyifa dan Abadi, 2025).



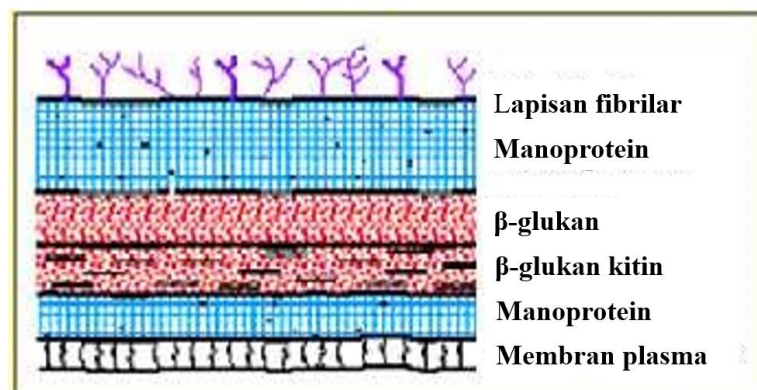
Gambar 5. Bakteri *Bacillus subtilis* (Ambarwati dan Ibrahim, 2021).

2.6.3 *Candida albicans*

Candida albicans merupakan salah satu khamir yang sering menyebabkan infeksi. *Candida albicans* adalah flora normal yang dapat ditemukan pada saluran pencernaan, selaput mukosa, saluran pernapasan, vagina, uretra, kulit, dan dibawah kuku. Klasifikasi *Candida albicans* adalah sebagai berikut :

Diviso	: <i>Thallophyta</i>
Subdiviso	: Fungi
Classis	: <i>Deuteromycetes</i>
Ordo	: <i>Moniliales</i>
Familia	: <i>Cryptococcaceae</i>
Genus	: <i>Candida</i>
Spesies	: <i>Candida albicans</i> (Waluyo, 2004).

Candida albicans merupakan jamur patogen berbentuk ragi, tunas dan oval, selain itu juga terdapat bentuk seperti pseudohifa yang mampu menghasilkan hifa sejati. *Candida albicans* adalah salah satu mikroorganisme yang populasinya dapat meningkat akibat perubahan kondisi fisiologis pada penderita diabetes mellitus. Mikroorganisme ini mampu memecah dan memanfaatkan berbagai jenis gula di sekitarnya, seperti glukosa, maltosa, sukrosa, galaktosa, dan laktosa (Utami dkk., 2024). *Candida albicans* memiliki dua wujud secara simultan (*dimorphic organism*) seperti *yeast-like state* (non-invasif dan *sugar fermenting organism*). Selain itu juga memiliki dua bentuk seperti *fungus form* yang memproduksi *root-like structure* atau struktur seperti akar yang panjang dan dapat memasuki mukrosa. *Candida albicans* bersifat non-patogen, namun akan bersifat patogen ketika terdapat faktor predisposisi (Wijaya, 2017). Faktor-faktor predisposisi pada *Candida albicans* yaitu penggunaan antibiotik dalam jangka panjang, tidak terkontrolnya penyakit diabetes melitus, pemakaian gigi palsu yang terus menerus, defisiensi zat besi dan imunosupresi yang buruk (Suryaningsih *et al.*, 2015).



Gambar 6. Struktur dinding *Candida albicans* (Larone, 1986).

Dinding sel *Candida albicans* berperan sebagai pelindung target bagi beberapa obat antijamur, serta memberikan bentuk dan melindungi sel ragi dari lingkungan sekitarnya. Dinding sel ini terdiri dari enam lapisan, dari luar ke dalam yaitu lapisan fibrillar, mannoprotein, β -glukan, β -glukan-kitin, mannoprotein, dan membran plasma (Kusumaningtyas, 2009). *Candida albicans* dapat menyebabkan penyakit sistemik yang progresif pada individu dengan sistem kekebalan tubuh yang lemah atau terganggu. Infeksi akibat *Candida albicans* dapat menyerang berbagai bagian tubuh seperti mulut, vagina, kulit, kuku, dan paru-paru, serta dapat berkembang menjadi kondisi serius seperti septikemia, endokarditis, atau meningitis. Selain itu, *Candida albicans* juga dapat menyebabkan infeksi keputihan. Keputihan adalah kondisi di mana vagina mengeluarkan lendir berwarna putih secara berlebihan, dalam beberapa kasus keputihan juga dapat berupa lendir berwarna putih kekuningan dengan bau tidak sedap. Hal ini sering kali mengakibatkan rasa panas dan gatal di area vagina (Maloho dan Solikah, 2023)

Obat antijamur untuk mengobati kandidiasis (infeksi yang disebabkan *Candida albicans*) pada rongga mulut saat ini telah banyak diproduksi. Namun, obat-obatan tersebut memiliki efek samping, seperti mual dan iritasi. Penggunaan obat-obatan ini dalam jangka waktu yang panjang juga menyebabkan resistensi *Candida albicans* (Sulastri dkk., 2024).

2.6 Antimikroba

Antimikroba merupakan senyawa kimia yang berfungsi untuk membunuh atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme, dengan tingkat toksisitas yang relatif rendah terhadap manusia. Zat ini dapat berasal dari atau diproduksi oleh mikroorganisme tertentu dan memiliki kemampuan untuk menghambat aktivitas mikroorganisme lain meskipun dalam konsentrasi yang kecil (Wendersyteyt dkk., 2021). Penggunaan zat antimikroba merupakan upaya yang bertujuan untuk mengontrol pertumbuhan serta penyebaran mikroorganisme seperti bakteri dan jamur. Upaya ini mencakup berbagai tindakan yang dirancang untuk menghambat,

mematikan, atau mengeliminasi mikroba. Penerapan antimikroba memiliki peran penting di berbagai sektor, seperti bidang medis, pertanian, industri makanan, dan kebersihan sehari-hari. Dalam praktik kedokteran, antibiotik digunakan untuk menangani infeksi yang disebabkan oleh bakteri, sementara obat antijamur dimanfaatkan untuk mengobati infeksi yang disebabkan oleh jamur. Di sisi lain, disinfektan digunakan untuk mensterilkan alat medis maupun permukaan di fasilitas kesehatan. Dalam bidang pertanian, senyawa antimikroba juga digunakan untuk melindungi tanaman dari serangan penyakit yang ditimbulkan oleh bakteri atau jamur, termasuk penggunaan fungisida untuk mencegah atau mengobati infeksi jamur pada tanaman (Putri dkk., 2023).

2.6.1 Antibiotik

Antibiotik merupakan jenis obat yang digunakan untuk mengobati infeksi yang disebabkan oleh bakteri. Berdasarkan cara kerjanya, antibiotik dapat dibedakan menjadi dua jenis: bakterisidal, yaitu yang bekerja dengan membunuh bakteri secara langsung, dan bakteriostatik, yaitu yang menghambat pertumbuhan serta reproduksi bakteri. Pengelompokan antibiotik juga dapat dilakukan berdasarkan mekanisme kerjanya, struktur kimianya, dan cakupan aktivitasnya terhadap berbagai jenis bakteri. Dalam menghambat maupun membunuh bakteri, zat antimikroba memiliki aturan kadar minimal. Kadar tersebut yaitu kadar hambat minimal (KHM) dan kadar bunuh minimal (KBM). Suatu antibakteri tertentu mampu meningkatkan aktivitas bakteriostatik menjadi bakteriosid jika ditingkatkan kadar antibakterinya dengan melebihi kadar hambat minimal (Jawetz dkk., 2001). Secara umum, antibiotik bekerja melalui lima mekanisme utama, yaitu: mengganggu pembentukan dinding sel bakteri, merusak integritas membran sel, menghambat proses sintesis protein, menghalangi sintesis asam nukleat, serta mengintervensi jalur metabolisme atau aktivitas enzim penting dalam sel bakteri

1. Menghambat pembentukan dinding sel.

Dinding sel bakteri merupakan struktur makromolekul yang bersifat elastis dan memiliki peran penting dalam menjaga bentuk sel serta melindunginya

dari lisis akibat tekanan osmotik tinggi di dalam sel. Komponen utama dinding sel ini adalah peptidoglikan, yang tersusun dari rantai panjang *N-acetylglucosamine* (GlcNAc) dan *N-acetylmuramic acid* (MurNAc), saling terhubung melalui jembatan silang peptida pendek yang terdiri dari empat asam amino. Proses pembentukan ikatan silang ini melibatkan enzim transpeptidase dan karboksipeptidase, yang dikenal sebagai *Penicillin-Binding Proteins* (PBP). Struktur pelindung ini menjadi sasaran utama beberapa jenis antibiotik seperti golongan β -laktam dan glikopeptida. Antibiotik yang bekerja dengan cara menghambat sintesis dinding sel bakteri antara lain adalah β -laktam (termasuk penisilin, sefalosporin, karbapenem, dan monobaktam) serta glikopeptida seperti vankomisin dan teikoplanin.

2. Merusak fungsi sel membran.

Membran plasma dan dinding sel membungkus sel bakteri, di mana dinding sel berfungsi utama untuk melindungi sel dari tekanan internal. Struktur dinding sel ini terdiri dari peptidoglikan yang berada di luar membran sitoplasma dan berperan sebagai penghalang terhadap molekul besar, namun tetap memungkinkan molekul kecil untuk melewati. Polimiksin, salah satu jenis antibiotik yang memiliki muatan positif yang memungkinkan interaksi dengan permukaan bakteri bermuatan negatif hal ini disebabkan oleh keberadaan peptidoglikan dan lipopolisakarida (LPS) pada membran luar bakteri. Setelah berikatan dengan membran sel, polimiksin meningkatkan permeabilitas membran dan merusak struktur dinding sel. Gangguan ini menyebabkan ketidakseimbangan tekanan osmotik, keluarnya isi sel, masuknya cairan secara cepat, serta terhambatnya proses respirasi sel, yang pada akhirnya mengakibatkan kematian bakteri.

3. Menghambat sintesis protein.

Sintesis protein merupakan proses biologis penting dan kompleks yang memungkinkan setiap sel menghasilkan protein spesifik. Proses ini melibatkan dua tahap utama, yaitu transkripsi dan translasi, yang selanjutnya terbagi ke dalam empat fase: inisiasi, elongasi, terminasi, dan daur ulang

(*recycling*). Antibiotik yang menghambat sintesis protein bekerja dengan memanfaatkan perbedaan struktural antara ribosom bakteri dan ribosom sel eukariotik. Karena ribosom bakteri memiliki bentuk khas, yaitu tipe 70S yang terdiri dari subunit 30S dan 50S, antibiotik dapat menargetkan struktur ini secara selektif dan menghambat pertumbuhan bakteri tanpa merusak sel inang. Beberapa antibiotik seperti makrolida, aminoglikosida, dan tetrasiklin bekerja dengan mengganggu fungsi subunit 30S. Antibiotik ini umumnya memiliki gugus karbohidrat bermuatan positif, yang memungkinkan mereka berinteraksi dengan membran plasma bakteri yang bermuatan negatif, sehingga dapat berdifusi ke dalam sel. Setelah berada di dalam, antibiotik ini menyebabkan kesalahan dalam proses translasi protein (*mistranslasi*). Sementara itu, antibiotik seperti kloramfenikol bekerja dengan menargetkan subunit 50S ribosom, dan menghambat proses sintesis protein pada tahap translasi.

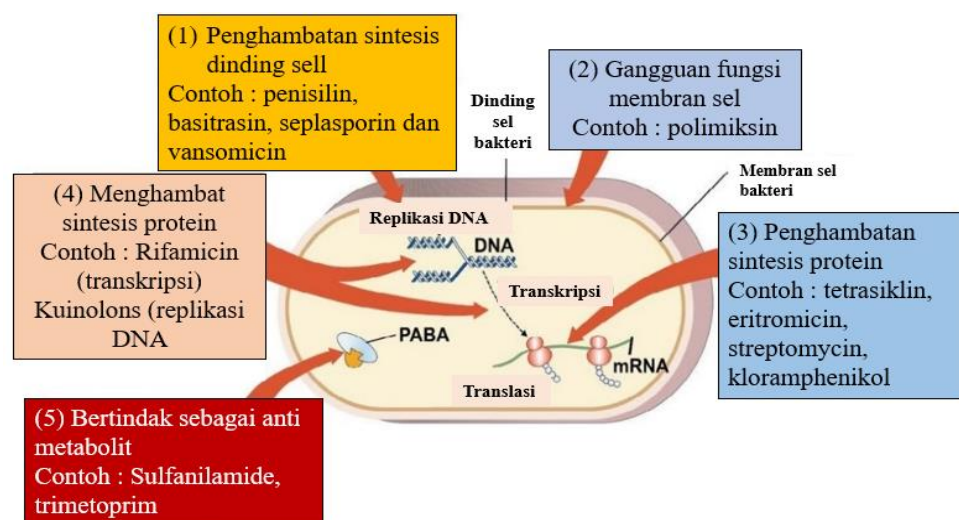
4. Menghambat sintesis asam nukleat.

Proses sintesis DNA pada bakteri memerlukan sejumlah enzim penting yang dikenal sebagai topoisomerase. Enzim ini terbagi ke dalam dua tipe utama, yaitu tipe IA yang mencakup Topoisomerase I dan III serta tipe IIA, yang terdiri dari DNA gyrase dan Topoisomerase IV. Ketidaksempurnaan atau gangguan pada enzim-enzim ini dapat menyebabkan terbentuknya DNA yang tidak normal. Fluoroquinolon adalah antibiotik spektrum luas yang efektif melawan berbagai jenis bakteri, termasuk bakteri gram positif, gram negatif, dan bakteri anaerob. Antibiotik ini bekerja dengan cara menghambat aktivitas enzim DNA gyrase pada bakteri gram negatif, yang berperan penting dalam memulai proses replikasi DNA. Selain itu, pada bakteri gram positif, fluoroquinolon menghambat enzim topoisomerase IV, yang terlibat dalam pemisahan kromosom anak (*dekatenasi*) setelah replikasi.

5. Menghambat jalur metabolik atau enzim bakteri.

Sel eukariotik memperoleh folat dari lingkungan eksternal melalui mekanisme transport aktif, sedangkan mikroorganisme harus mensintesis

folat sendiri melalui jalur *de novo*. Perbedaan ini menjadikan jalur biosintesis folat sebagai target strategis dalam pengembangan antibiotik. Sulfonamid bekerja dengan menghambat *para-aminobenzoic acid* (PABA), komponen penting dalam pembentukan folat pada bakteri. Karena memiliki struktur yang menyerupai PABA, sulfonamid bertindak sebagai inhibitor kompetitif, sehingga mengganggu produksi folat yang dibutuhkan untuk pertumbuhan bakteri. Selain itu, antibiotik dari golongan diaminopiridin, seperti trimetoprim, menghambat aktivitas enzim dihidrofolat reduktase (DHFR), yang merupakan langkah akhir dalam jalur biosintesis folat, sehingga semakin menghambat kelangsungan hidup bakteri (Fadrian, 2023).



Gambar 7. Mekanisme antibiotik (Fadrian 2023).

2.6.2 Antifungi

Antifungi memiliki dua jenis mekanisme kerja, yaitu fungisidal dan fungistatik. Fungisidal merujuk pada senyawa yang mampu membunuh jamur secara langsung, sementara fungistatik berfungsi untuk menghambat pertumbuhan jamur tanpa menyebabkan kematian sel jamur tersebut. Tujuan utama dalam pengobatan infeksi jamur adalah mengeliminasi organisme patogen penyebab infeksi serta mengembalikan keseimbangan flora normal pada kulit, dengan memperbaiki kondisi membran mukosa yang menjadi tempat tumbuhnya koloni jamur. Berikut merupakan mekanisme kerja antifungi.

1. Merusak fungsi sterol membrane sel jamur

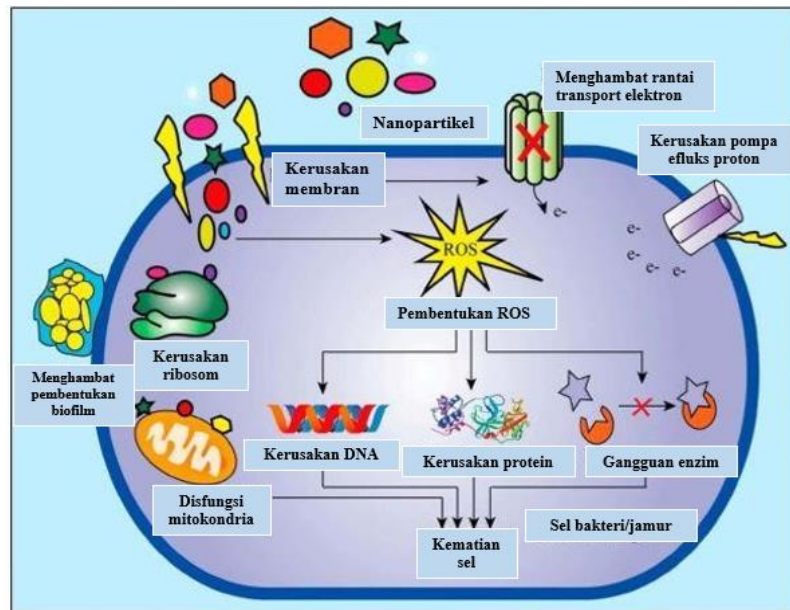
Ergosterol merupakan sterol penting yang terdapat dalam membran sel jamur, dan menjadi target utama bagi antibiotik golongan polien. Ketika polien berikatan dengan ergosterol, terbentuklah kompleks yang membentuk pori-pori pada membran sel. Melalui pori-pori ini, berbagai komponen penting dalam sel jamur seperti ion kalium, fosfat anorganik, asam karboksilat, asam amino, dan ester fosfat dapat keluar, sehingga menyebabkan gangguan fungsi sel dan akhirnya mengakibatkan kematian sel jamur. Contoh senyawa yang memiliki kemampuan menghambat biosintesis ergosterol dalam sel jamur ialah ketokonazol, fluconazole dan nystatin.

2. Menghambat sintesis asam nukleat serta sintesis protein jamur.

Mekanisme kerja antijamur yang menargetkan sintesis asam nukleat melibatkan pemutusan rantai RNA secara prematur dan gangguan terhadap proses pembentukan DNA. Salah satu contohnya adalah 5-flusitosin (5-FC), yang masuk ke dalam inti sel jamur melalui enzim sitosin permease. Setelah berada di dalam sel, 5-FC diubah menjadi 5-fluorouridin trifosfat, senyawa yang menyebabkan penghentian awal dalam sintesis RNA. Senyawa ini kemudian dimetabolisme lebih lanjut menjadi 5-fluorodeoksiuridin monofosfat, yang bertindak sebagai penghambat enzim timidilat sintetase, sehingga menghambat proses sintesis DNA pada jamur.

3. Merusak dinding sel jamur.

Dinding sel jamur memiliki struktur khas yang terdiri dari mannoprotein, kitin, dan glukan, yang berperan penting dalam menjaga kekakuan dan bentuk sel, mendukung aktivitas metabolik, serta mengatur pertukaran ion melalui membran sel. Di antara komponen tersebut, glukan berfungsi sebagai elemen penopang utama. Antijamur dari golongan ekinokandin bekerja dengan menghambat sintesis 1,3-glukan, meskipun bukan melalui mekanisme kompetitif. Ketika produksi glukan terganggu, struktur dan bentuk sel jamur tidak dapat dipertahankan, yang pada akhirnya menyebabkan sel mengalami lisis (Herkamela dan Yeni, 2022).



Gambar 8. Mekanisme nanopartikel terhadap bakteri dan jamur (Das and Patra, 2023).

2.7 Resistensi

Resistensi merupakan kemampuan patogen untuk bertahan terhadap efek antibiotik, yang berdampak pada meningkatnya angka kesakitan, kematian, serta menimbulkan beban ekonomi dan sosial. Mengatasi resistensi antibiotik memerlukan upaya kolektif, salah satunya melalui perubahan perilaku dalam penggunaan antibiotik. Resistensi muncul ketika bakteri mengalami perubahan yang menyebabkan zat aktif dalam antibiotik menjadi kurang efektif atau tidak bekerja sama sekali. Penggunaan antibiotik dalam jangka panjang dan terus-menerus bisa menyebabkan tubuh menjadi kebal terhadap infeksi bakteri sejenis, yang dikenal sebagai kekebalan terhadap antibiotik (Setiawan, 2023). Resistensi bakteri dapat terjadi melalui berbagai mekanisme, dan lima di antaranya yang paling umum meliputi: penghambatan oleh enzim, perubahan pada *penicillin binding protein* (PBP), mutasi pada porin, aktivitas pompa efluks, serta modifikasi pada target kerja antibiotik.

1. Inhibisi enzim

Mekanisme resistensi bakteri yang paling umum adalah inaktivasi antibiotik oleh enzim. Bakteri dapat melakukannya melalui dua cara utama dengan

menghancurkan antibiotik secara langsung atau menambahkan gugus kimia tertentu ke dalam struktur obat. Inaktivasi langsung sering terjadi melalui reaksi hidrolisis, di mana enzim bakteri memecah antibiotik. Sementara itu, inaktivasi kimiawi terjadi ketika bakteri menambahkan gugus seperti asetil, fosfat, adenil, atau lainnya ke molekul antibiotik, mengubah strukturnya sehingga tidak lagi efektif. Misalnya, fosforilasi dan adenilasi biasa terjadi pada antibiotik makrolid, sementara asetilasi sering ditemukan pada aminoglikosida, kloramfenikol, streptogramin, dan fluoroquinolon. Proses ini mencegah antibiotik menempel pada targetnya di dalam sel bakteri, sehingga kehilangan efek antimikroba.

2. Modifikasi PBP

Penicillin binding protein (PBP) adalah protein esensial yang berperan dalam proses pembentukan peptidoglikan, yaitu komponen utama penyusun dinding sel bakteri. Protein ini memiliki fungsi sebagai enzim yang membantu pembentukan rantai glikan melalui proses transglukosilasi dan menyilangkan antar rantai glikan melalui transpeptidasi. Bagian aktif dari enzim transpeptidase menjadi sasaran antibiotik β -laktam, yang dapat meniru struktur dipeptida dalam peptidoglikan. Antibiotik ini kemudian membentuk kompleks acyl-enzim yang sangat stabil, sehingga enzim menjadi tidak aktif dan fungsi pembentukan dinding sel terganggu.

3. Modifikasi porin

Bakteri gram negatif memiliki lapisan membran luar di atas dinding sel yang terdiri dari dua lapisan lipid. Komponen utama lapisan ini adalah lipopolisakarida (LPS), yang bersifat hidrofobik dan membuat pergerakan zat-zat hidrofilik, seperti antibiotik, menjadi sulit. Oleh karena itu, diperlukan porin, yaitu saluran protein, untuk memfasilitasi masuknya molekul ke dalam membran lipid tersebut. Beberapa bakteri, seperti *Pseudomonas aeruginosa*, yang sensitif terhadap antibiotik β -laktam, menunjukkan penurunan produksi porin sebagai salah satu mekanisme pertahanan. Penelitian telah membuktikan bahwa tekanan akibat penggunaan antibiotik jangka panjang

berkontribusi terhadap munculnya bakteri resisten ganda (MDR), dan perubahan pada struktur atau ekspresi porin memainkan peran penting dalam proses tersebut. Mekanisme yang paling umum meliputi penurunan jumlah porin atau mutasi pada porin, yang keduanya menghambat masuknya antibiotik ke dalam sel bakteri.

4. Pompa efluks

Bakteri memiliki gen yang mengatur pembentukan pompa efluks, yaitu mekanisme yang digunakan untuk mengeluarkan zat beracun dari dalam sel. Beberapa pompa ini aktif secara terus-menerus, sementara yang lain hanya diaktifkan dalam kondisi tertentu atau saat mendeteksi keberadaan senyawa spesifik. Pompa efluks berperan penting dalam mengusir berbagai senyawa asing, termasuk antibiotik, dan banyak di antaranya mampu mengeluarkan berbagai jenis senyawa sekaligus dikenal sebagai pompa *efluks multidrug resistance* (MDR). Sebagian besar bakteri memiliki berbagai jenis pompa efluks. Berdasarkan struktur dan sumber energi yang digunakan, pompa ini diklasifikasikan ke dalam lima kelompok utama:

- a. *ATP-binding cassette* (ABC) menggunakan energi dari ATP,
- b. *Multidrug and toxic compound extrusion* (MATE) bergantung pada gradien ion,
- c. *Small multidrug resistance* (SMR) berukuran kecil dan sederhana,
- d. *Major facilitator superfamily* (MFS) menggunakan gradien proton,
- e. *Resistance-nodulation-cell division* (RND) umum pada bakteri gram negatif dan sangat efisien dalam mengusir antibiotik.

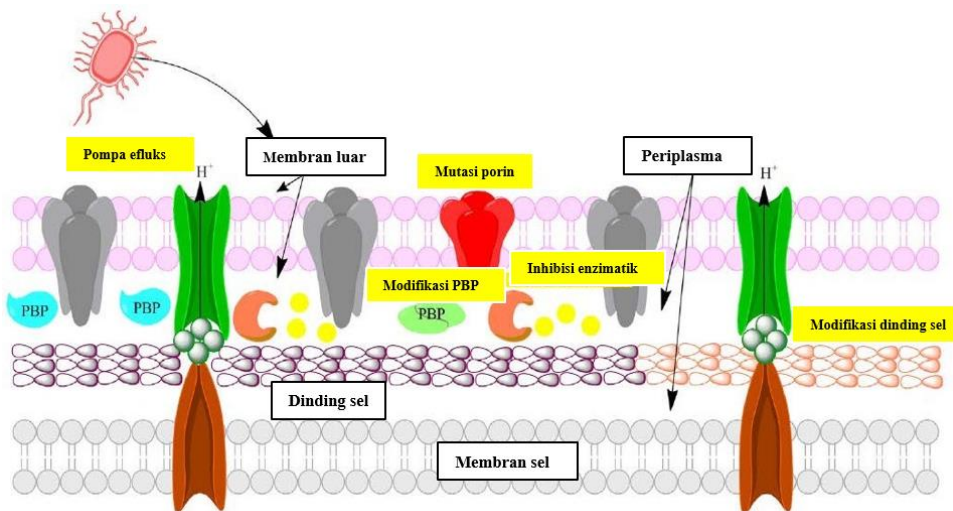
5. Perubahan pada lokasi target

Salah satu cara bakteri mengembangkan resistensi terhadap antibiotik β -laktam adalah dengan memodifikasi struktur protein *penicillin-binding protein* (PBP), sehingga afinitas antara antibiotik dan PBP menurun.

Perubahan ini menyebabkan berkurangnya efektivitas antibiotik, seperti yang terlihat pada *Staphylococcus aureus* serta kemunculan *Enterococcus* yang resisten terhadap glikopeptida akibat mutasi pada enzim transpeptidase kondisi yang menjadi perhatian serius di dunia medis. Pada aminoglikosida,

salah satu mekanisme resistensi yang sering ditemukan adalah perubahan target antibiotik. Hal ini biasanya disebabkan oleh mutasi pada gen *rrs* yang memengaruhi posisi A dari 16S rRNA di ribosom. Meski begitu, mutasi ini tergolong jarang dan umumnya hanya ditemukan pada *Mycobacterium tuberculosis*.

Resistensi jamak atau *multi drug resistance* (MDR) terjadi ketika bakteri mengembangkan perlindungan terhadap berbagai jenis antibiotik melalui kombinasi mekanisme, termasuk perubahan struktur membran (baik dengan mengurangi masuknya obat maupun meningkatkan pengeluarannya lewat pompa efluks), inaktivasi obat, serta modifikasi senyawa antibiotik. Bakteri Gram negatif merupakan penyebab umum MDR dan dikenal sangat sulit diobati karena resistensinya terhadap banyak antibiotik klinis. Mekanisme dominan dalam MDR biasanya berkaitan dengan perubahan permeabilitas membrane (Fadrian, 2023).



Gambar 9. Mekanisme utama resistensi bakteri (Fadrian, 2023).

2.8 Uji Aktifitas Antimikroba

Aktivitas antibakteri dapat dipelajari melalui beberapa metode, termasuk metode dilusi, metode difusi agar, dan metode difusi dilusi. Metode difusi sering kali digunakan dalam analisis aktivitas antibakteri. Terdapat tiga teknik dalam metode difusi, yaitu metode sumuran, cakram, dan silinder (Kipimbob dkk., 2019).

Prinsip metode difusi bekerja dengan mendasarkan pada penyebaran senyawa antibakteri ke dalam media padat yang telah diinokulasi dengan mikroba uji. Hasil pengamatan ditunjukkan dengan ada tidaknya daerah jernih disekitar kertas cakram, dimana daerah jernih tersebut disebut dengan zona hambat (Balouri *et al.*, 2016). Metode difusi sumuran cocok digunakan dalam percobaan ini, metode difusi sumuran merupakan metode yang dilakukan dengan cara membuat lubang sebagai tempat penampungan zat antibakteri dalam suatu lempeng cawan yang telah diinokulasikan dengan bakteri uji. Kemudian diinkubasi pada suhu dan waktu yang sesuai, lalu diamati ada atau tidaknya zona hambat disekeliling lubang yang menjadi penentu berhasil atau tidaknya zat antimikroba dalam menghambat maupun membunuh bakteri (Putri dkk., 2023). Metode difusi sumuran memiliki kelebihan antara lain, lebih mudah mengukur luas zona hambat yang dihasilkan karena bakteri tidak hanya beraktivitas diatas permukaan media namun juga sampai ke bawah media (Nurhayati dkk., 2020).

Dalam metode difusi, terdapat beberapa faktor penting yang harus diperhatikan agar hasil yang diperoleh akurat, antara lain:

1. Tahap pradifusi: Perbedaan waktu pada fase ini dapat memengaruhi seberapa jauh zat uji menyebar di antara media pencadang, sehingga berdampak pada hasil difusi.
2. Ketebalan media agar: Ketebalan agar sangat berpengaruh terhadap sensitivitas uji. Jika agar terlalu tebal, penyebaran zat uji menjadi terbatas sehingga menghasilkan zona hambat yang lebih kecil. Sebaliknya, agar yang lebih tipis memungkinkan difusi yang lebih luas.
3. Kerapatan inokulum: Jumlah mikroorganisme yang diinokulasikan berperan besar terhadap ukuran zona hambat. Semakin sedikit inokulum, maka zat uji dapat menyebar lebih luas, menghasilkan zona hambat yang lebih besar. Sebaliknya, jumlah inokulum yang tinggi akan memperkecil zona hambat.
4. Komposisi media agar: Perubahan dalam komposisi media dapat memengaruhi sifat fisik dan kimia media, yang berdampak pada difusi zat uji, aktivitas bakteri, serta laju pertumbuhan mikroorganisme.

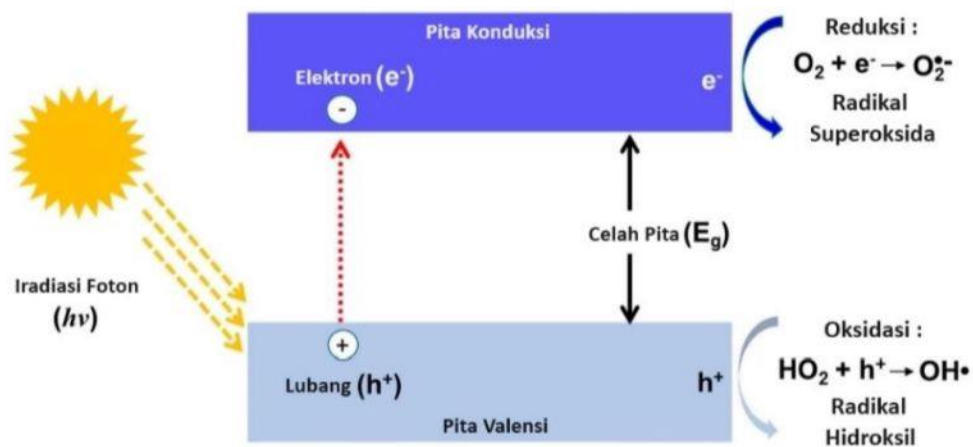
5. Suhu inkubasi: Umumnya, suhu optimal untuk pertumbuhan bakteri adalah sekitar 37°C. Suhu ini mendukung pertumbuhan maksimal sehingga zona hambat dapat teramati dengan jelas.
6. Lama inkubasi: Durasi inkubasi perlu disesuaikan dengan laju pertumbuhan bakteri. Zona hambat biasanya mulai terbentuk beberapa jam pertama setelah inokulasi dan dapat diamati saat koloni mulai tumbuh.
7. pH media: Tingkat keasaman atau kebasaan media memengaruhi jumlah zat uji yang berdifusi dan tingkat ionisasi molekulnya. Selain itu, pH juga berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroorganisme, sehingga penting untuk dikontrol secara tepat (Wilapangga dan Syaputra, 2018).

2.9 Reaksi Fotokatalitik

Reaksi fotokatalitik merupakan proses kimia yang berlangsung lebih cepat dengan bantuan material fotokatalis dan cahaya (foton). Ketika foton dengan energi yang sebanding dengan celah pita energi mengenai fotokatalis, elektron pada pita valensi akan tereksitasi dan berpindah ke pita konduksi, meninggalkan lubang (*hole*) pada pita valensi sebagai hasil dari perpindahan tersebut. Reaksi fotokatalitik diawali dengan terbentuknya pasangan elektron dan *hole* saat material disinari cahaya. Dalam proses fotokatalisis, fotokatalis berperan sebagai pemicu reaksi tanpa mengalami perubahan permanen saat terkena cahaya. Material ini berfungsi mengubah energi cahaya menjadi energi kimia untuk memfasilitasi sintesis atau degradasi senyawa. Fotokatalis yang paling umum digunakan adalah berbasis bahan semikonduktor, yaitu material dengan tingkat konduktivitas yang berada di antara isolator dan konduktor.

Dalam struktur energi semikonduktor, pita valensi adalah tingkat energi tertinggi yang diisi oleh elektron, sedangkan pita konduksi merupakan tingkat energi terendah yang kosong. Di antara keduanya terdapat celah energi yang dikenal sebagai pita terlarang, yang besarnya tergantung pada struktur kristal dan ikatan antar atom dalam material, serta menjadi ciri khas semikonduktor tersebut. Struktur pita energi ini sangat menentukan seberapa baik semikonduktor

menyerap cahaya dan seberapa efektif kinerjanya sebagai fotokatalis. Ketika material semikonduktor menerima foton dengan energi melebihi lebar pita terlarangnya, elektron dari pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi, dan pada saat yang sama terbentuk *hole* di pita valensi, yang kemudian dapat memicu berbagai reaksi kimia (Yang *et al.*, 2022).



Gambar 10. Proses reaksi fotokatalitik.

2.10 Katalis

Katalis adalah zat yang mampu mempercepat laju reaksi dan tetap dalam kondisi yang sama setelah reaksi selesai. Katalis berperan dalam reaksi dengan menyediakan jalur baru yang memiliki energi aktivasi lebih rendah dibandingkan reaksi yang berlangsung tanpa katalis (Supriyanto, 2019), atau dengan kata lain katalis merupakan substansi yang mempercepat laju reaksi dan tidak mempengaruhi kesetimbangan. Berdasarkan klasifikasinya katalis dapat dibedakan menjadi dua yaitu katalis homogen (dalam fase) dan heterogen (pada antar muka dari dua fase). Katalis homogen berada pada fasa yang sama seperti reaktan dan produk. Sedangkan katalis heterogen merupakan katalis yang berada dalam fasa yang berbeda dengan reaktan, biasanya katalis heterogen berwujud padatan dan interaksi pada permukaan padat-gas atau padat-cair. Umumnya, katalis heterogen lebih disukai dibandingkan dengan katalis homogen karena pada katalis homogen pemisahan dan penggunaan katalis untuk kembali digunakan sangat sulit dilakukan (Widi, 2018).

Kemampuan katalis dalam mempercepat suatu reaksi dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti temperatur, tekanan, waktu kontak dan laju alir. Kemampuan katalis dalam mempercepat reaksi juga dilihat dari aktivitas, selektivitas, dan stabilitasnya.

2.11 Preparasi Katalis

Metode preparasi katalis merupakan faktor yang mempengaruhi karakterisasi katalis. Metode yang tepat akan meningkatkan kemampuan aktivitas, selektivitas dan stabilitas katalis. Metode pembuatan katalis sangat bervariasi, dengan setiap jenis katalis dapat diproduksi melalui berbagai jalur sintesis. Proses persiapannya biasanya terdiri dari beberapa langkah bertahap. Banyak katalis berbasis logam atau oksida logam umumnya dibuat melalui proses seperti adsorpsi, pengeringan, kalsinasi, dan aktivasi. Sifat-sifat katalis ini sangat menentukan kinerja area aktif yang berperan sebagai media tempat berlangsungnya reaksi antar precursor (Ariyanti, 2012).

Terdapat beberapa macam metode preparasi untuk menempatkan fasa aktif logam ke dalam support. Empat metode utama dalam preparasi katalis adalah impregnasi, pertukaran ion, kopresipitasi, dan deposisi. Dari metode-metode tersebut, impregnasi dan pertukaran ion adalah yang paling umum digunakan untuk menghasilkan katalis bimetal. Prinsip impregnasi melibatkan memasukkan logam katalis secara paksa ke dalam pori-pori *support*, sedangkan pada metode pertukaran ion, ion-ion pada situs aktif *support* digantikan oleh ion logam katalis. Impregnasi sering digunakan karena lebih praktis, memiliki tingkat keberhasilan tinggi, dan menghasilkan limbah yang minimal (Munnik *et al.*, 2015).

2.11.1 Metode Sol-Gel

Metode sol-gel merupakan teknik untuk sintesis nanopartikel yang melibatkan reaksi kimia tak terbalik. Proses ini mengubah prekursor homogen (sol) menjadi

struktur tiga dimensi yang padat, yang disebut gel. Metode ini dikenal mampu menghasilkan material komposit yang seragam dan berkualitas tinggi, dengan kemurnian hingga 99,99% (Bokov *et al.*, 2021). Sol-gel adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan proses pembuatan material keramik melalui beberapa tahap, yaitu pembentukan sol, gelasi sol, dan penghilangan fasa cair. Sol merupakan suspensi koloid di mana fasa terdispersinya berupa partikel padat yang masih mengalami gerak Brownian atau difusi Brownian, sementara medium pendispersinya adalah cairan. Gel, di sisi lain adalah zat dengan struktur semirigid yang memiliki pori-pori dan terdiri dari jaringan tiga dimensi yang terbentuk dari rantai polimer. Metode sol-gel digunakan untuk menghasilkan material padat dari nanopartikel atau molekul kecil, terutama dalam pembuatan oksida logam seperti silikon (Si) dan titanium (Ti) (Lourenco *et al.*, 2017).

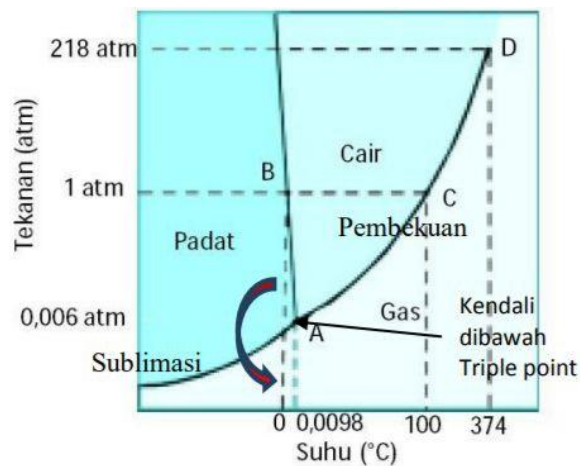
Prinsip metode sol-gel dimulai dengan pembuatan larutan prekursor dari senyawa yang diinginkan menggunakan pelarut organik. Setelah itu, larutan mengalami proses polimerisasi, kemudian dilanjutkan dengan tahap pengeringan dan kalsinasi (*annealing*) untuk menghilangkan komponen organik dan membentuk material anorganik berupa oksida. Metode ini mampu menghasilkan bahan yang halus, seragam, homogen, serta memiliki tingkat kemurnian yang tinggi (Ningsih, 2016).

2.11.2 Pengeringan Beku (*Freeze Dry*).

Freeze dryer adalah alat pengeringan yang termasuk dalam kategori *Conduction Dryer* atau *Indirect Dryer* karena perpindahan panas terjadi secara tidak langsung. Dalam proses ini, terdapat dinding pembatas antara bahan yang dikeringkan (bahan basah) dan media pemanas, sehingga uap air dari bahan basah tidak terbawa bersama media pemanas. Ini menunjukkan bahwa perpindahan panas berlangsung melalui konduksi, sehingga alat ini juga dikenal sebagai *Conduction Dryer* atau *Indirect Dryer*. Metode ini merupakan salah satu metode pengeringan yang memiliki keunggulan dalam menjaga kualitas produk, terutama untuk produk-produk yang peka terhadap panas. Dibandingkan dengan metode

pengeringan lainnya, *freeze drying* mampu menjaga stabilitas produk dengan mencegah perubahan aroma, warna, dan karakteristik organoleptik lainnya. Selain itu, metode ini juga efektif dalam menjaga struktur bahan, dengan tingkat penyusutan dan perubahan bentuk yang sangat minimal setelah pengeringan (Yulvianti dkk., 2015).

Prinsip kerja *freeze drying* adalah mengeringkan bahan pangan dengan menghilangkan kandungan air melalui proses sublimasi. Dalam proses ini, air yang terdapat dalam bahan pangan dibekukan terlebih dahulu, kemudian es yang terbentuk diubah langsung menjadi uap tanpa melewati fase cair. Sublimasi terjadi ketika tekanan dan suhu es berada di bawah titik tripel (4,58 mmHg, 0°C) (Nireesha *et al.*, 2013).



Gambar 11. Perubahan fase beku (air) menjadi gas melalui pengeringan beku (Habibi dkk., 2019).

2.11.3 Impregnasi

Impregnasi secara umum diartikan sebagai proses penjenuhan penuh suatu zat. Penjenuhan ini dilakukan dengan mengisi pori-pori *support* menggunakan larutan logam aktif melalui proses adsorpsi logam, di mana *support* direndam dalam larutan yang mengandung logam aktif. Dalam proses ini, *support* berperan menyediakan permukaan yang luas untuk mendistribusikan situs aktif secara merata, sehingga memperluas dan meningkatkan efisiensi permukaan kontak.

Metode impregnasi digunakan jika *support* tidak mengandung anion atau kation yang dapat dipertukarkan dengan fase aktif. Prinsip impregnasi adalah memasukkan logam katalis ke dalam pori-pori *support* secara paksa dengan merendam *support* dalam larutan prekursor logam aktif, disertai pengadukan dan pemanasan. Impregnasi juga merupakan metode umum untuk pembuatan katalis bimetal. Katalis bimetal dapat disintesis melalui ko-impregnasi, yaitu dengan memasukkan kedua garam logam secara bersamaan, atau melalui impregnasi terpisah, di mana garam logam pertama dimasukkan terlebih dahulu, kemudian diikuti oleh garam logam kedua. Pada ko-impregnasi, posisi dan sifat logam pada *support* tergantung pada jenis garam prekursor yang digunakan dan kecenderungan kedua logam untuk membentuk paduan (Munnik *et al.*, 2015).

2.11.4 Sonikasi (Ultrasonik)

Ultrasonikasi merupakan suatu proses mekanik yang menggunakan gelombang ultrasonik untuk menghasilkan tegangan yang kuat. Tegangan tersebut kemudian menyebabkan terjadinya proses kavitasi, yaitu suatu peristiwa terbentuknya gelembung-gelembung kecil yang berasal dari transmisi gelombang ultrasonik. Dalam konteks larutan, energi ultrasonik menghasilkan rongga akustik dengan struktur bergelembung yang akhirnya pecah. Proses kavitasi ini mendukung osmosis pelarut ke dalam dinding pori (Nurasiah, 2010). Pemanfaatan teknologi ultrasonik di industri mencakup berbagai aplikasi seperti pengelasan termoplastik, ekstraksi, kristalisasi, flotasi, pengeringan, *degassing*, *cutting*, *drilling*, *soldering*, filtrasi, homogenisasi (pencampuran), disolusi, serta deagregasi serbuk. Sonikasi artinya proses perlakuan bahan dengan gelombang ultrasonik dalam kondisi tertentu, yang menginduksi reaksi kimia pada bahan tersebut. Proses ini menggunakan gelombang ultrasonik dengan frekuensi antara 20 kHz hingga MHz, dimana energi dari gelombang tersebut menggetarkan medium sehingga mampu memutuskan ikatan antar molekul (Hassanjani-Roshan *et al.*, 2011).

2.12 Karakterisasi Katalis

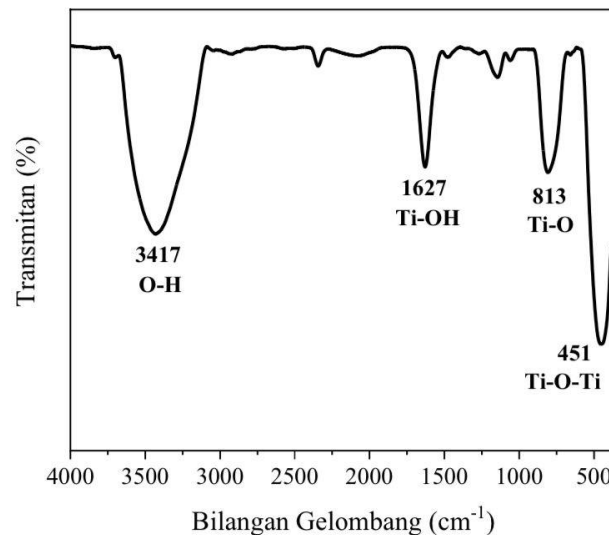
Karakterisasi menjadi parameter yang digunakan untuk mempelajari sifat fisik dan kimia suatu material, dimana karakterisasi fisik mencakup luas permukaan, volume dan diameter pori serta distribusi logam. Sedangkan karakterisasi kimia bertujuan untuk mengetahui kristalinitas, jumlah kandungan logam serta ikatan kimia pada katalis. Beberapa teknik yang digunakan untuk mempelajari sifat katalis antara lain *Fourier Transform Infrared Spectrometry* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS).

2.12.1 *Fourier Transform Infrared Spectrometry* (FTIR)

Fourier Transform Infrared (FTIR) adalah metode analisis yang digunakan untuk mengelompokkan gugus fungsi (Puspitasari dkk., 2021), dengan mempelajari interaksi antar atom dalam molekul dengan mengamati perubahan getaran yang terjadi saat sampel menyerap energi pada panjang gelombang tertentu dalam spektrum inframerah. Spektroskopi FTIR tidak merusak sampel dan hanya membutuhkan sampel yang sederhana (Buana dan Fajriati, 2019). Dalam spektroskopi inframerah, radiasi inframerah diteruskan melalui sampel. Sebagian radiasi diserap oleh sampel, sementara sisanya diteruskan. Analisis gugus fungsi menggunakan FTIR bertujuan untuk memahami proses fisika atau kimia yang berlangsung selama pencampuran (MB dan Illing, 2017). FTIR memiliki jangkauan inframerah antara 4000cm^{-1} - 400cm^{-1} . FTIR dapat digunakan secara kuantitatif karena energi yang diserap pada panjang gelombang tertentu berbanding lurus dengan jumlah energi kinetik yang terkait. Oleh karena itu, semakin tinggi konsentrasi analit, semakin banyak energi yang diserap (Riyanto dan Nas, 2016).

Prinsip kerja FTIR didasarkan pada interaksi antara energi dan materi. Sinar inframerah diarahkan melalui celah menuju sampel, di mana celah tersebut berperan dalam mengatur jumlah energi yang diteruskan ke sampel. Sebagian sinar inframerah akan diserap oleh sampel, sementara sisanya diteruskan melewati

permukaannya. Sinar yang berhasil melewati sampel kemudian ditangkap oleh detektor, dan sinyal yang dihasilkan dikirim ke komputer untuk direkam dalam bentuk spektrum berupa puncak-puncak (Sari dkk., 2018).

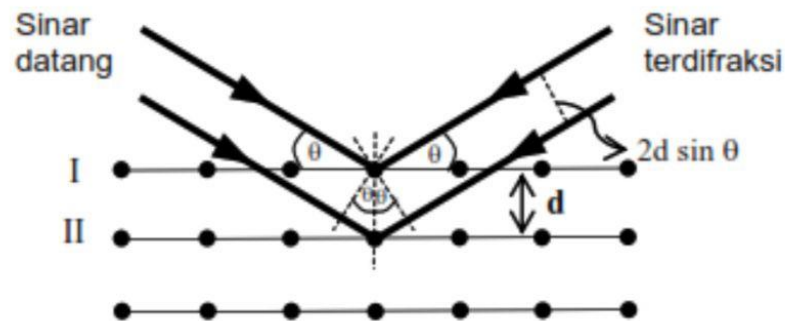


Gambar 12. Spektrum FTIR TiO₂ (Hikmah dkk., 2022)

2.12.2 X-Ray Diffraction (XRD)

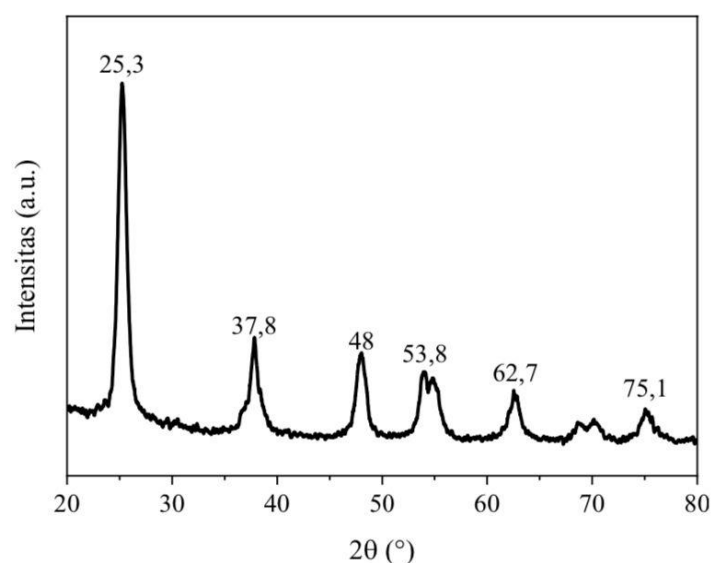
X-Ray Diffraction (XRD) adalah suatu metode yang digunakan untuk mengetahui struktur kristal, perubahan fase, ukuran kristal dan tingkat kristalinitas. Difraksi sinar-X oleh atom-atom dalam kristal menghasilkan pola yang bervariasi tergantung pada susunan atom di dalam kristal tersebut. Prinsip XRD didasarkan pada fenomena difraksi sinar-X, di mana cahaya dengan panjang gelombang λ mengalami hamburan saat melewati kisi kristal dengan sudut datang θ dan jarak antar bidang kristal d (Gambar 13). Hasil karakterisasi XRD berupa sudut hamburan (sudut Bragg) dan intensitas. Menurut teori difraksi, sudut difraksi dipengaruhi oleh lebar celah kisi, yang berdampak pada pola difraksi yang dihasilkan. Sementara itu, intensitas cahaya yang terdifraksi bergantung pada jumlah kisi kristal yang memiliki orientasi serupa (Alfarisa dan Toruan, 2018). XRD menunjukkan kualitas kristal suatu bahan pada berbagai sudut 2θ . Intensitas yang tinggi mengindikasikan bahwa kristal tersebut memiliki keteraturan yang baik, atau semakin banyak atom yang tersusun dengan rapi (Basthoh, 2013).

Radiasi yang digunakan pada metode ini berupa radiasi sinar-X, elektron dan neutron. Sinar-X yaitu foton dengan energi tinggi yang memiliki panjang gelombang berkisar 0,1-10 Å.



Gambar 13. Difraksi sinar-X pada jarak antar atom d dan sinar datang θ (Alfarisa dan Toruan, 2018).

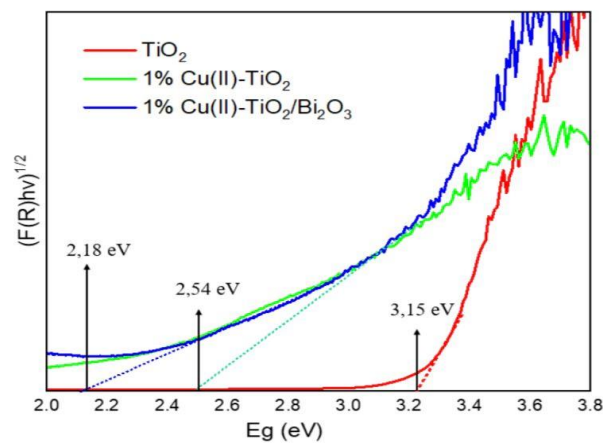
Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, sebagian dari berkas tersebut akan diserap, ditransmisikan, dan sebagian lainnya akan mengalami hamburan terdifraksi. Hamburan terdifraksi ini yang kemudian dideteksi oleh XRD. Beberapa berkas sinar-X yang terhambur saling menghilangkan karena perbedaan fase, sementara yang lain saling menguatkan karena fase yang sama. Berkas sinar-X yang saling menguatkan inilah yang dikenal sebagai berkas difraksi (Fatimah *et al.*, 2022).



Gambar 14. Difraktogram XRD nanopartikel TiO_2 (Hikmah dkk., 2022).

2.12.3 Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS)

Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS) merupakan alat yang digunakan untuk menentukan energi *band gap* atau celah pita suatu bahan semikonduktor. Energi *band gap* (E_g) adalah perbedaan energi antara pita valensi yang memiliki energi lebih rendah dan penuh dengan elektron, dan pita konduksi yang memiliki energi lebih tinggi (Tatarchuk *et al.*, 2017). Energi *band gap* diperoleh dengan cara mengubah besaran %R kedalam fungsi Kubelka-Munk, kemudian didapatkan energi *band gap* hasil dari kurva *tauch plot* berupa hubungan $(F(R)h\nu)^{1/2}$ terhadap energi (eV). Besarnya E_g pada saat $(F(R)h\nu)^{1/2} = 0$ yang dihasilkan dari perpotongan garis lurus yang memotong sumbu energi (eV) inilah yang disebut energi *band gap* (Yayuk *et al.*, 2020).



Gambar 15. Energi *band gap* (a) TiO_2 , (b) 1% Cu(II)-TiO_2 (c), 1% $\text{Cu(II)-TiO}_2/\text{Bi}_2\text{O}_3$ (Aritonang dan Sapar, 2023).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2024 hingga bulan Mei 2025 yang bertempat di Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik FMIPA Universitas Lampung. Dilakukan analisis XRD dan FTIR di Universitas Negeri Padang, analisis *band gap* dilakukan di Laboratorium UI-Chem, Uji antimikroba dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi FMIPA Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah stirer, gelas beaker 500 mL, 300 mL, 100 mL, botol infus, kulkas, oven, batang pengaduk, pipet tetes, *hot plate*, spinbar, spatula, termometer, mortar dan alu, mikropipet, aluminium foil, tabung reaksi, rak tabung reaksi, pH meter, kaca arloji, cawan petri, Mc. Farland, kertas saring, *furnace*, desikator, lemari asam, kain kasa, jarum ose, *cotton bud*, erlenmeyer, timbangan analitik, sonikasi, autoklaf, inkubator, *stopwatch*, FTIR, XRD, DRS UV-vis, lampu *visible*, *Biosafety Cabinet* (BSC) dan *Laminar Air Flow* (LAF)

Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah prekursor $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, larutan pectin, akuades, larutan ammonia, thiourea, titanium (IV) isopropoksida, isopropanol, HNO_3 , etanol, bakteri *Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli*, serta jamur *Candida albicans*, *pastik warp*, media *Nutrient*

Agar (NA) media *Potato Dextrose Agar* (PDA), tisu, kapas, spirtus, NaCL (0,85%) dan alkohol (70%).

3.3. Sintesis S/CuO/TiO₂

Penelitian ini meliputi beberapa tahapan antara lain: sintesis CuO dan sintesis TiO₂, yang dilakukan menggunakan metode sol-gel. Sintesis S/CuO dan sintesis S/CuO/TiO₂ dengan variasi perbandingan 0,5/1 dan 1/1 yang dilakukan dengan metode impregnasi dan sonokasi. Kemudian karakterisasi nanokomposit S/CuO/TiO₂ dilakukan menggunakan FTIR, XRD dan DRS UV-*Vis*

3.3.1. Sintesis Nanopartikel CuO

Sintesis CuO dilakukan dengan metode sol-gel dengan menggunakan prekursor Cu(NO₃)₂•3H₂O. Pada proses ini sebanyak 12 gram pektin dilarutkan dengan 400 mL akuades, kemudian distirer sampai homogen selama 3 jam, kemudian dimasukkan prekursor Cu(NO₃)₂•3H₂O yang telah dilarutkan dalam 500 mL akuades kedalam 2 botol infus dengan volume sama dan atur kecepatan agar habisnya bersamaan. Selama proses ini, larutan ammonia ditambahkan kedalam larutan hingga pH larutan mencapai 11 dengan mempertahankan suhu dibawah 80 °C , stirer dihentikan apabila spin bar sudah tidak bergerak, hasil proses ini berupa gel yang berwarna biru kehijauan yang kemudian dimasukkan kedalam kulkas hingga beku, lalu di *freeze-dry* hingga kering dan dikalsinasi pada suhu 700 °C untuk menghilangkan kandungan air yang kemungkinan masih tersisa, kemudian dioven pada suhu 110 °C. Hasil sintesis dianalisis dengan menggunakan XRD dan FTIR untuk mengetahui apakah nanopartikel CuO terbentuk atau tidak (Reena *et al.*, 2020).

3.3.2. Sintesis Nanopartikel TiO₂

Sintesis TiO₂ diperoleh dari prekursor titanium (IV) isopropoksida dan isopropanol. Pada proses ini digunakan 38,67 mL titanium isopropoksida dan 116,01 mL isopropanol. Larutan air suling sebanyak 1,933.5 mL digunakan sebagai katalis hidrolisis. Nilai pH larutan yang diinginkan diatur dengan menambahkan HNO₃. Proses pembuatan gel dimulai ketika kedua larutan dicampur bersama-sama dengan pengadukan yang kuat. Hidrolisis TTIP menghasilkan larutan keruh yang dipanaskan hingga 60-70 °C selama hampir 18-20 jam (peptisasi). Setelah proses peptisasi, volume larutan akan mengecil dan terbentuk suspensi, suspensi yang dihasilkan berwarna putih-biru atau buram dengan viskositas tinggi. Endapan yang telah disiapkan di *freeze-dry* hingga kering. Setelah dikeringkan diperoleh bubuk berwarna kuning putih. Terakhir, bubuk yang telah disiapkan dikalsinasi pada suhu berkisar antara 200-600 °C selama 2 jam untuk mendapatkan TiO₂ fase anatase (Mahsid *et al.*, 2007).

3.3.3. Pembuatan Nanokomposit S/CuO/TiO₂

Pada tahap ini 2,375 gram thiourea yang telah dilarutkan kedalam 100 mL akuades distirer selama 30 menit, kemudian ditambahkan 2,5 mL etanol sebanyak empat kali penambahan, dengan distirer selama 30 menit pada setiap penambahan, setelah penambahan etanol ketiga ditambahkan CuO yang kemudian distirer kembali selama 30 menit. Pada penambahan etanol terakhir dilakukan stirer selama 15 menit, hasil penambahan dipanaskan pada suhu 50 °C selama 2 jam dan dikeringkan pada suhu 70 °C, hasil pengeringan dikalsinasi pada suhu 500 °C untuk memperoleh nanopartikel S/CuO (Ohno *et al.*, 2004). Setelah S/CuO terbentuk, material kemudian diimpregnasi dengan TiO₂ dengan variasi perbandingan 0,5/1 dan 1/1. Setelah ditimbang, material dimasukkan kedalam gelas beaker 100 mL dan ditambahkan sebanyak 10 mL akuades. Kemudian disonikasi selama 30 menit dan dioven hingga kering (Aprilia, 2020).

3.3.4. Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD)

Analisis struktur kristal dilakukan dengan menggunakan difraktometer sinar-X. Analisis ini memanfaatkan radiasi $\text{CuK}\alpha$ ($1,541862 \text{ \AA}$) dengan tabung sinar-X yang dioperasikan pada 40 kV dan 30 mA. Rentang sudut difraksi (2θ) diukur dalam kisaran $10\text{--}100^\circ$, dengan ukuran langkah pemindaian $0,05^\circ$ per menit. Sampel padat ditempatkan di wadah khusus, kemudian sumber sinar-X bergerak mengelilingi sampel sambil menyinari. Sinar yang dipantulkan oleh sampel ditangkap oleh detektor, dan intensitas pantulan untuk setiap sudut tertentu dicatat oleh alat perekam. Puncak-puncak difraktogram dianalisis menggunakan aplikasi *Match* dan dibandingkan dengan file standar dari data JCPDF. Kemudian ukuran partikel dihitung dengan menggunakan Persamaan *Scherrer*, yaitu

$$D = \frac{k \cdot \lambda}{\beta \cos \theta}$$

Keterangan:

D = Ukuran kristal

k = Konstanta *Scherrer*

λ = Panjang gelombang

β = radian (FWHM)

θ = Sudut difraksi

3.3.5. Analisis *Fourier Transform Infrared Spectrometry* (FTIR)

Analisis gugus fungsi nanokomposit S/CuO/TiO₂ dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer FTIR. Analisis ini dilakukan dengan FTIR *Thermo Scientific iS5* dengan metode pelet KBr. Hasil karakterisasi tersebut kemudian diolah menggunakan perangkat lunak Origin untuk mempermudah pembacaan spektra FTIR (Rahmat, 2020).

3.3.6. Analisis *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS)

Analisis energi celah pita dilakukan menggunakan spektrofotometer Shimadzu UV -3600 yang dilengkapi dengan tabung berdiameter 15 cm untuk mengukur *diffuse reflectance*. Sampel yang diukur berupa bubuk yang berukuran dibawah 100 mesh atau 149 mikron dengan absorbansi panjang gelombang yang diukur berkisar 200-800 nm.

3.4. Uji Aktivitas Antimikroba

Dilakukan uji aktivitas antimikroba terhadap bakteri (*Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli*) dan jamur (*Candida albicans*) menggunakan metode difusi agar dengan bantuan penyinaran cahaya tampak. Dengan menggunakan variasi waktu tanpa penyinaran, 15 menit penyinaran, 30 menit penyinaran, 45 menit penyinaran dan 60 menit penyinaran.

3.4.1. Sterilisasi Alat

Alat yang digunakan untuk uji antibakteri disterilisasi dengan menggunakan autoklaf. Dimana alat kaca seperti tabung reaksi, cawan petri dan erlenmeyer dibungkus menggunakan kertas yang kemudian dimasukkan kedalam plastik tahan panas diletakkan kedalam autoclave untuk disterilisasi selama 15 menit. Sedangkan proses sterilisasi untuk alat besi seperti jarum ose cukup disemprot alkohol dan dibakar diatas bunsen.

3.4.2. Regenerasi Mikroba

Sebelum digunakan bakteri harus diinokulasi kembali terlebih dahulu. Proses ini dilakukan dengan cara mensterilkan media NA di dalam autoklaf. Setelah steril

media dituang kedalam tabung reaksi dan atur posisi supaya menghasilkan media dalam bentuk agar miring. Media yang telah menjendal dimasukkan satu ose kultur bakteri dengan cara zig-zag, kemudian tepi tabung reaksi yang telah diberi bakteri dipanaskan dengan bunsen, lalu ditutup dengan sumbat dan di lapisi dengan plastik warp, bakteri diinkubasi selama 24 jam di dalam inkubator 37°C. Lapisan berwarna kuning-keruh diatas permukaan media menandakan bakteri berhasil tumbuh pada permukaan media. Kemudian simpan kultur bakteri didalam kulkas. Regenerasi pada *Candida albicans* dilakukan dengan cara yang sama, namun dengan penggunaan media yang berbeda yaitu media PDA. Pada regenerasi jamur *Candida albicans*, pertumbuhan *Candida albicans* ditandai dengan terdapatnya lapisan berwarna putih kekeruhan diatas permukaan media.

3.4.3. Perlakuan S/CuO/TiO₂ Sebagai Antimikroba

a). Uji Antibakteri

Pengujian antibakteri dilakukan dengan menggunakan metode difusi agar sumuran, dimana cawan petri yang telah disiapkan diisi media NA sebanyak 30 mL, kemudian dibiarkan hingga mengeras atau menjendal. Disiapkan suspensi bakteri yang akan di ujikan dengan cara diambil satu ose bakteri dari dalam tabung dan dilarutkan kedalam larutan NaCL 0,9%, kemudian dibandingkan dengan larutan Mc Farland 0,5%. Setelah itu, media NA yang telah mengeras diberi suspensi bakteri dengan cara digores secara zig-zag menggunakan *cotton bud*. Media tersebut kemudian dibiarkan di dalam *Biology Safety Cabinet* (BSC) selama 15 menit untuk memungkinkan bakteri berdifusi. Kemudian dibuat lubang dengan menggunakan pipet tetes yang telah dipotong ujung lancipnya sehingga menghasilkan lubang berdiameter 5 mm. Selanjutnya, larutan antibakteri nanopartikel CuO, TiO₂ dan nanokomposit S/CuO/TiO₂ dituangkan ke dalam lubang sebanyak 50 µL per sumur beserta kontrol positif dan kontrol negatif sebagai pembanding. (Magani *et al.*, 2020). Pada uji antibakteri ini digunakan akuades sebagai kontrol negatif dan antibiotik kloramfenikol sebagai kontrol

positif. Cawan petri tersebut kemudian diberi penyinaran menggunakan cahaya tampak dengan variasi waktu penyinaran tanpa penyinaran, 15 menit penyinaran, 30 menit penyinaran, 15 menit penyinaran dan 30 menit penyinaran. Kemudian cawan petri diinkubasi pada suhu 37°C selama 72 jam, dengan pengamatan zona hambat atau zona bening dilakukan setiap 24 jam.

b) Uji Antijamur

Pengujian antijamur dilakukan dengan menggunakan metode difusi agar sumuran. Cawan petri yang telah disiapkan diisi media PDA sebanyak 30 mL, kemudian dibiarkan hingga mengeras atau menjendal. Disiapkan suspensi jamur yang akan diujikan dengan cara diambil satu ose jamur dari dalam tabung dan dilarutkan kedalam larutan NaCL (0,9%) kemudian dibandingkan dengan larutan Mc Farland 0,5%. Setelah itu, media yang telah mengeras diberi suspensi jamur dengan cara digores secara zig-zag menggunakan *cutton bud*. Media tersebut kemudian dibiarkan di dalam *Laminar Air Flow* (LAF) selama 15 menit untuk memungkinkan jamur berdifusi. Setelah mengeras, dibuat lubang dengan menggunakan alat *corckbor* atau dengan menggunakan pipet tetes yang telah dipotong ujungnya lancipnya sehingga menghasilkan lubang berdiameter 5 mm. Selanjutnya, larutan antijamur nanopartikel CuO, TiO₂ dan nanokomposit S/CuO/TiO₂ dituangkan ke dalam lubang sebanyak 50 µL per sumur beserta kontrol positif dan kontrol negatif sebagai pembanding (Magani *et al.*, 2020).

Pada uji antijamur ini digunakan akuades sebagai kontrol negatif dan antibiotik nystatin sebagai kontrol positif. Cawan petri tersebut kemudian diberi penyinaran menggunakan cahaya tampak dengan variasi waktu penyinaran tanpa penyinaran, 15 menit penyinaran, 30 menit penyinaran, 15 menit penyinaran dan 30 menit penyinaran. Kemudian cawan petri diinkubasi pada suhu 37°C selama 72 jam, dengan pengamatan zona hambat atau zona bening dilakukan setiap 24 jam.

3.4.5 Pengamatan Hasil Uji Antimikroba

Uji efek antibakteri menggunakan metode sumuran, diamati dengan cara melihat terbentuknya daerah bening (zona hambat) di sekitar sumur uji yang telah diberikan zat antimikroba. Perhitungan luas zona hambat dilakukan dengan metode berikut.

$$\text{Diameter zona hambat: } \frac{(D_v - D_s) + (D_h - D_s)}{2}$$

Keterangan :

D_v = diameter vertical

D_h = diameter horizontal

D_s = diameter sumur (Kipimbob dkk., 2019).

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Sintesis nanopartikel TiO₂ anatase dengan metode sol-gel berhasil dilakukan dibuktikan dengan hasil karakterisasi menggunakan XRD.
2. Karakterisasi nanokomposit S/CuO/TiO₂ menunjukkan bahwa struktur kristalnya terdiri dari fase anatase (TiO₂), CuO, dan sulfur, dengan ukuran kristal yang meningkat seiring rasio S/CuO, yaitu 40,83 nm (0,5:1) dan 51,92 nm (1:1). Analisis DRS UV-*Vis* menunjukkan rentang serapan 200- 800 nm dengan penurunan *band gap* pada rasio 1:1 (2,62 eV), menandakan peningkatan aktivitas terhadap cahaya tampak. Spektrum FTIR mengonfirmasi adanya ikatan Ti-O, Cu-O, dan S, serta pergeseran puncak yang mengindikasikan keberhasilan penggabungan ketiga komponen dalam satu nanokomposit.
3. Pengujian aktivitas antibakteri terhadap bakteri nanokomposit S/CuO/TiO₂ terhadap bakteri *Escherichia coli* dan *Bacillus subtilis* menggunakan metode difusi sumuran menunjukkan bahwa senyawa hasil sintesis memiliki daya hambat yang lebih kuat terhadap *Bacillus subtilis* dibandingkan dengan *Escherichia coli* dengan zona hambat maksimum yang dihasilkan sebesar 7 mm untuk *Escherichia coli* dan 7,5 mm untuk *Bacillus subtilis*.
4. Uji aktivitas antijamur S/CuO/TiO₂ terhadap *Candida albicans* membuktikan bahwa senyawa hasil sintesis memiliki kemampuan sebagai antijamur dengan menghasilkan zona hambat maksimums sebesar 5,5 mm.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh, maka penelitian selanjutnya disarankan untuk:

1. Pada saat melakukan uji difusi sumuran digunakan alat *corkborer* untuk melubangi media supaya lubang yang dihasilkan menjadi lebih rapi.
2. Pada sintesis katalis S/CuO proses kalsinasi dilakukan pada suhu dibawah 500°C agar tidak terdapat Sulfur yang terbang.
3. Perlu dilakukan analisis SEM-EDX untuk mengetahui persebaran Sulfur terhadap CuO/TiO₂.
4. Mencoba menggunakan variasi waktu lebih lama untuk mengetahui waktu paling optimum serta waktu saturasi fotokatalitik dari senyawa yang digunakan.
5. Menggunakan metode difusi agar yang lain dengan harapan zona hambat yang dihasilkan dapat terlihat lebih jelas.
6. Mencoba menggunakan doping material lain selain TiO₂ untuk mendapatkan informasi agen antimikroba terbaru.

DAFTAR PUSTAKA

- Alebachew, N., Demissie, T.B., Murthy, H.C.A., Gonva, B.A., Eschege, K.G von., Coetse, E., Langner, E.H.G., Javadey and Dhoresmany, B.H. 2025. Shynthesis, Characteritization and Application of Ternary CuO/ZrO₂@S-doped G-C₃N₄ Hybrid Nanocomposite. *RSC Advances*. 15,6441.
- Allouw, G.E.C., Fatimawali, Lebang, J.S. 2022. Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Etanol Daun Kersen (*Muntingia calabura L.*) Terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa* dengan Metode Difusi Sumuran. *Pharmacy Medical Journal*. 5(1), 35-44.
- Alfarisa, S., dan Toruan P. L. 2018. Studi Difraksi Sinar-X Struktur Nano Seng Oksida (ZnO). *Jurnal Risalah Fisika*. 2(2), 53-57.
- Amalia, A. R., 2024. Uji Konsentrasi Hambat Minimum (KHM) Minyak Atsiri Adas (*Foeniculum vulgare L.*) terhadap Pertumbuhan Bakteri *Propionibacterium acnes* dengan Metode Sumuran. *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran*. 7(3), 10929.
- Ambarwati, D., & Ibrahim, M. (2021). Aktivitas Antibakteri Metabolit Ekstraseluler *Bacillus subtilis* Terhadap *Shigella dysenteriae* Secara In Vitro. *Lentera Bio*.10(1), 25–32.
- Anuar, N.A.S.K., and Sheng, C.K. 2021. Structural and Morphological Charahterization of CuO Nanostructure Precipitated by Water-soluble Copper (II) Nitrate Hemi(pentahydrate) and NaOH as Rectants. *Journal of Nano and Electronic Physic*. 13(5), 1-4.
- Aprilia, A. 2020. *Uji Efektivitas Material Komposit Graphite Oxide (Go) dan Titanium Dioxide (TiO₂) Sebagai Antimikroba Dengan Metode Difusi*. Skripsi. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Aritonang, H.F., Tarigan, A.K., and Wuntu, A.D. 2020. Synthesis and Characterization of Ag-doped ZnO Nanoparticles and Their Photocatalytic Degradation Activity. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 29(8), 1072-1079.

- Ariyanti, R. 2012. *Pengaruh Garam Prekursor Terhadap Aktivitas Katalis CuO/Al₂O₃ yang Digunakan Dalam Reaksi Penempelan Logam Tembaga (Cu) Secara Elektrodeposisi*. Skripsi. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Asyifa, A.N., dan Abadi, A.L. 2025. Uji Efektivitas Bahan Aktif Fluxapyroxad 50% + Pyraclostrobin 50% dengan Penambahan Agens Hayati *Bacillus subtilis* Terhadap Penyakit Antraknosa (*Colletotrichum gloeosporioides*) Pada Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.). *Jurnal HPT*. 13(1), 32-46.
- Balouri, 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.
- Balqis, F.N., dan Susilawati 2024. Bakteri Penyebab Infeksi Nasokomial di Ruang Rawat Inap yang Membahayakan Keselamatan Pekerja Rumah Sakit. *Alahyan Jurnal Pengabdian Masyarakat Multidisiplin (ECOS-PRENEURS)*. 2(2), 157-164.
- Basthoh, E. 2013. Karakterisasi ZnO Didoping TiO₂ Untuk Detektor LPG. *Jurnal Ilmu Fisika*. 5(1), 11-15.
- Beyth, N., Haddad, Y. H., Domb, A., Khan, W., and Hazan, R. 2015. Alternative Microbial Approach : Nano-Antimicrobial Materials. *Hindawi Publishing Corporation Journal*. 2014, 1-6.
- Bokov, D., Turki Jalil, A., Chupradit, S., Suksatan, W., Javed Ansari, M., Shewael, I. H., Valiev, G. H., and Kianfar, E. 2021. Nanomaterial by Sol-Gel Method: Synthesis and Application. *Advances in Materials Science and Engineering*. 5(2), 15-19.
- Brooks, G. F., Butel, J. S. and Morse, S. A. (2001). *Mikrobiologi Kedokteran Jawetz, Melnick, and Adelberg's: Edisi 25*. EGC, Jakarta.
- Buana, D. L., dan Fajriati, I. 2019. Karakterisasi Lemak Sapi dan Lemak Babi Dalam Bakso Menggunakan FTIR Spektrofotometer. *Indonesian Journal of Halal*. 2(1), 15-22.
- CDC (2019). Antibiotic Resistance threats in the United States, 2019 . Atlanta, GA: U.S Departement of Health and Human Services, *Canter for Disease control and Prevention* .103-104.
- Charles, R. W., Buden, R. J. V., and Goff, F. 1986. An Intrepetation of The Alteration Assemblages at Sulphur, Springs, Valles Caldera, New Mexico. *Journal of Geophysical Research*. 91, 1-22.

- Das, G., dan Patra, J.K.2023. Evaluation of Antibacterial Mechanism of Action, Tyrosinase Inhibition, and Photocatalytic Degradation Potential of Sericin-Based Gold Nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciencies*. 24, 1-16.
- Dwiputri, Y., Sanjaya, H., dan Patriela, M. 2025. Pengaruh Penambahan Doping Cerium Terhadap Nilai *Band gap* CuO dengan Metode Sol-Gel. *Jurnal Pendidikan dan Sains*. 5(2),523-530.
- Ermini, M. L., and Voliani, V. 2021. Antimicrobial Nano-Agents : The Copper Age. *ACS Nano*. 15(4), 6008-6029.
- Fadrian. 2023.*Antibiotik Infeksi dan Resistensi*. Andalas University Press. Padang.
- Fartiwi, R., Warsidah, Aritonang, A.B., 2019. Sintesis TiO₂/Ti dengan Teknik Anodisasi dan Uji Aktivitas Fotokatalis sebagai *Antibakteri Escherichia coli*. *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*. 2(3), 140-148.
- Fatimah, S., Ragadhita, R., Al-Husaeni, D.F., and Nandiyanto, A. B. D. 2022. Hom to Calculate Crystallite Size from X-Ray Diffraction (XRD) using Scherrer Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*. 2(1), 65-76.
- Febriliani, A., Deny, Y.R., Antarnusa, G. 2025. Analisis XRD Nanopartikel Fe₃O₄ Dengan Variasi Suhu Sintesis. *Jurnal FisTa: Fisika dan Terapannya*. 6(1), 14-18.
- Fitria, L., Shahib, M. N., dan Sastramihardja, H. S. 2020. Perbedaan Penurunan Jumlah Koloni *Candida Albicans* Antara Pemberian Cebokan Rebusan Biji Manjakani dan Daun Sirih Merah pada Wanita Usia Subur yang Mengalami Keputihan. *Jurnal Medikes*. 7(1), 185-196.
- Furqonita, A., Aritonang, A.B., Wibowo, M.A., 2021. Sintesis TiO₂ Terdoping Bi³⁺ dan Uji Aktivitas Fotokatalisis Antibakteri *E.coli* dengan Bantuan Sinar Tampak. *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*. 4(2), 69-80.
- Fusfita, R., Iqbal, M., Afriyani, Ulandari, A.S., Triyandi, R. 2025. Sintesis Nanopartikel Perak dari Daun Tanaman Terna: Studi Potensi Antibakteri. *Jurnal Kesehatan dan Teknologi Medis (JKTM)*. 7(2),33-39.
- Habibi, N.A., Fathia, S., dan Utami, C. T. 2019. Perubahan Karakteristik Bahan Pangan Pada Keripik Buah dengan Metode *Freez Drying* (review) . *Jurnal Sains Terapan*. 5(2): 1-10.
- Hajipour, M. J., Khatarina, M. Askharran, A. A., de Abaresturi, D. J., Larramendi, I. R., Rojo, T., Serphoosan, V., Parak, W. J., and Mahmoudi, M. 2012.

Antibacterial Properties of Nanoparticles. *Trends in Biotechnology Journal*. 2012(31), 1-13.

Harahap, R.W., Lubis, M.S., Rani, Z., Nasution, H.M. 2025. Formulasi, Evaluasi, dan Aktivitas Antibakteri Sabun Padat Nanoekstrak Bonggol Nanas (*Ananas comusus (L.) Merr*) Terhadap *Staphylococcus aureus*. *Jurnal FARMASAINKES*. 4(2), 237-248.

Hassanjani-Roshan, A., Kazemzadeh, S. M. Vaezi, M. R., and Shoukfar, A. 2011. The Effect of Sonication Power on The Sonochemical Synthesis of Titania Nanoparticles. *Journal of Ceramic Processing Research*. 12(3), 299-303.

Herkamela dan Yenny, S. W. 2022. Berbagai Bahan Alam Sebagai Antijamur *Malassezia sp.* *Jurnal Kedokteran Syah Kuala*. 2022, 121-127.

Hidayatullah, M., 2012. Uji Daya Antifungi Minyak Atsiri Bawang Merah (*Allium ascalonicum. L*) Terhadap *Candida albicans* Secara In Vitro. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.

Hikmah, M., Aritonang, A.B., Wahyuni, N. 2023. Sintesis Fotokatalis TiO₂ untuk Degradasi Zat Warna Sintesis Metilen Biru dengan Bantuan Sinar Tampak. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*. 11(3), 878-887.

Juliantina, F. R., Ayu, D.C.M dan Nirwani, B. 2008. Manfaat Sirih Merah (*Piper crocatum*) Sebagai Antibakterial Terhadap Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif. *Jurnal kesehatan dan kedokteran indonesia*. 1(1), 12-20.

Kandi, V., dan Kandi, S. Antimicrobial Properties of Nanomolecules: Potential Candidates as Antibiotics in the Era of Multi-Drug Resistance. *Journal Epidemiology and Health*. 37(e2015020.).

Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2015. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2015 Tentang Program Pengendalian Resistensi Antimikroba di Rumah Sakit*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia . Jakarta.

Kipimbob, E., Bara, R., Wowor, P.M dan Posangi, J. 2019. Uji Efek Antibakteri *Crhomodoris diana* terhadap Bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. *Jurnal e-Biomedik*. 7(1), 61-65.

Komala, P. S., dan Yanarosanti, A. 2014. Inaktivasi Bakteri *Escherichia coli* Air Sumur Menggunakan Desinfektan dan Kaporit. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 11(1), 34-47.

Kulla, P.D.K., dan Herrani, R. 2022. Uji Aktivitas Antibakteri dari Ekstrak Bawang Lanang (*Allium sativum L.*) Terhadap Pertumbuhan Bakteri

Staphylococcus aureus dan *Escherichia coli*. *Journal of Healthcare Technology and Medicine*. 8(2), 1408-1420.

Kusumaningtyas, E. 2009. *Mekanisme Infeksi Candida albicans Pada Permukaan Sel :Lokakarya Nasional Penyakit Zoonosis*. Balai Penelitian Veteriner. Bogor.

Labanni, A., Nasir, M., and Arief, S. 2021. Research Progress and Prospect of Copper Oxide Nanoparticles with Controllable Nanostructure, Morphology, and Function via Green Synthesis. *Journal Materials Science in Semiconductor*. 133(81), 1-12.

Larone, D. H. 1986. *Medical Important Fungi A Guide to Identification*. 2nd ed. New York.

Legia, A., 2023. *Sintesis dan Karakterisasi S/CuO/TiO₂ dari Limbah Bonggol Jagung yang Diiradiasi Sinar Tampak Sebagai Antibakteri*. Skripsi. Universitas Lampung. Lampung

López de Dicastillo, C. et al. 2021. 'Antimicrobial Effect of Titanium Dioxide Nanoparticles', in *Antimicrobial Resistance - A One Health Perspective*. IntechOpen.

Lourenco, R. E. R. S., Linhares, A. A. N., Oliveira, A. E., da Silva, M. G., de Oliveira, D. G., and Canela M. C. 2017. Photodegradation of Ethylene by use of TiO₂ Sol-gel on Polypropylene and on Glass for Application in the Postharvest of Papaya Fruit. *Environmental science and pollution research international*. 24(7), 6047-6054.

Luhurningtyas, F.P., Vifta, R.L., Pradana, A., dan Tatengkeng, Y. 2021. Uji Aktivitas Nanopartikel Biji Timun Suri Sebagai Antimikroba Terhadap *Candida Albicans* dan *Streptococcus Mutans*. *Jurnal Ilmiah Farmako Bahari*. 12(2), 107-116.

Mahshid, S., Askari, M., dan Ghamsari, M.S. (2007). Synthesis of TiO₂ Nanoparticles by Hydrolysis and Peptization of Titanium Isopropoxide Solution. *Journal of Materials Processing Technology*. 189. 293-300.

Munnik, P., Petra, E., and Krijn, P. 2015. Recent Developments in The Synthesis of Supported Catalyst. *American Chemical Society*. 155, 6687-6718.

Mustaqim, G, A., dan Kusumastuti, E. 2020. Sintesis Komposit Geopolimer Berbasis Abu Layang-CuO Serta Aplikasinya Sebagai Mortar Antibakteri. *Indonesian Journal Of Chemical Science*. (9)1, 1-9.

- Mustofa, S., dan Adilla, P. 2024. Metode Molekuler untuk Mendeteksi Mikroba Penyebab Penyakit Patogen. *Medical Profession Journal of Lampung*. 14(2), 351-354.
- Muthuvel, A., Manoharan, C., and Jothibas, M. 2020. Synthesis of Copper Oxide Nanoparticles by Chemical and Biogenic Methods: Photocatalytic Degradation and In Vitro Antioxidant Activity. *Nanotechnology for Enviromental Engineering*. 5(2), 13-19.
- Ningsih, S.K.W. 2016. Sintesis Anorganik. In *Sintesis Anorganik*
- Nireesha GR, Divya L, Sowmya C, N.Venkateshan, Babu MN, V.Lavakumar. Lyophilization/Freeze Drying-An Review. *International Journal of Novel Trends in Pharmaceutical Sciencies*. 3(4), 87-98.
- Novitasari, D., Lusiana, L.A., Sembiring, S., dan Junaidi. 2022. Studi Pendahuluan Penentuan Nilai Energi *Band gap* Komposit Perak Silika Ag-SiO₂ Berbasis Sekam Padi. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. 1(1), 36-40.
- Nuhaeroh, I., Anwar, D.I., dan Khumaisah, L.L., 2022. Aktivitas Antibakteri Nanokomposit TiO₂/Cu dan TiO₂/CuO Terhadap Bakteri *Bacillus aureus*. *Jurnal Sains Dasar*. 11(2), 95-100.
- Nurasiah, E. S. 2010. *Pengoptimuman Ekstraksi Andrografolida Dari Sambiloto dengan Rancangan Fraksional Faktorial*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Nurhayati, E., Salim, M., Syari, J.P., dan Irene, R. 2022. Cemaran Mikroba Pada Suhu Dingin Dalam Kulkas Rumah Tangga. *Jurnal Vokasi Kesehatan*. 1(5), 1-6.
- Nurjanah, S.G., Cahyadi, I.A., dan Windria, S. 2020. Kajian Pustaka: Resistensi *Escherichia coli* Terhadap Berbagai Macam Antibiotik pada Manusia dan Hewan. *Indonesian Medicus Veterinus*. 9(6): 970-983.
- Nurul, M., Fatimatuzzahra, C., Mardina, V., dan Hakim, R. F. 2020. Pemanfaatan Bahan Alami Sebagai Upaya Penghambat *Candida Albicans* Pada Rongga Mulut. *Jurnal Jeumpa*. 7(2), 400-4013.
- Pratama, N. Y. I., Suprpti, B., Ardiansyah, A. O., dan Shinta, D. W. 2019. Analisis Penggunaan Antibiotik pada Pasien Rawat Inap Bedah dengan Menggunakan *Defield Daily Dose* dan *Drug Utilization* 90% di Rumah Sakit Universitas Airlangga. *Jurnal Farmasi Klinik Indonesia*. 8(4), 256-263.

- Pratiwi, R. 2008. Perbedaan Daya Hambat Terhadap *Streptococcus mutans* dari Beberapa Pasta Gigi yang Mengandung Herbal. *Dental Journal (Majalah) Kedokteran Gigi*. 38(2), 64 - 67.
- Purnamasari, R., Marcellia, S., dan Purnama, R. C. 2021. Uji Aktivitas Antifungi Ekstrak Etanol Daun Jambu Bol (*Syzygium malaccense* L.) Dalam Sediaan Sabun Cair Kewanitaan Terhadap *Candida albicans*. *JOURNAL OF Pharmacy and Tropical Issues*. 1(04), 96–101.
- Puspitasari, L., Mareta, S. dan Thalib, A. 2021. Karakterisai Senyawa Kimia Daun Mint (*Mentha sop.*) dengan Metode FTIR dan Kemometri. *Jurnal Ilmu Kefarmasian*. 14(1), 5-11.
- Putri, R.N., Wahidah, S.N., Hosiyah, Al-Hafidz, I.T., dan Faisal. 2023. Uji Daya Hambat Antimikroba Secara Difusi Sumuran dan Difusi Paper Disk. *Journal of Science Engineering and Information System Research*. 1(4), 28-33.
- Qamar, H., Rehman, S., Chauhan, D. K., Tiwari, T. K., and Upmanyu, V. 2020. Green Synthesis , Characterization and Antimicrobial Activity of Copper Oxide Nanomaterial Derived from Momordica charantia. *International of Journal Nanomedicine*. 15, 2541–2553,
- Rahayu, W. P., Nurjanah, S. dan Komalasari ,E. 2018. *Escherichia coli* : Patogenitas, Analisis dan Kajian Resiko. IPB press. Bogor.
- Rahmat, N., Wahyuni, E.T., and Suratman, A. 2021. Antifungal Activity of TiO₂/Ag Nanoparticles Under Visible Light Irradiation. *Indonesian Journal Chem*. 21(1), 14-23.
- Rahmat, S., dan Suwarno. 2020. Analisa Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier dan Gas Terlarut Terhadap Perubahan Gugus Fungsi Komposisi Minyak Ester. *Jurnal Info Teknik Mesin*. 11(1), 14-23.
- Rahmayanti, H.D., Aji, M.P, dan Sulhadi. 2015. Sintesis Carbon Nanodots Sulfur (C-Dots Sulfur) dengan Microwave. *Unnes Physics Journal*. 4(1), 1-8.
- Rai, M., Avinash, P. I. and Paralikar, P. 2016. Sulfur and Sulfur Nanoparticles as Potential Antimicrobials: from Traditional Medicine to Nanomedicine. *Journal: Expert Review of Anti-infective Therapy*. 14(10), 969-978.
- Reena, R. S., Freeda, P. J., Deepapriya, S., Rodney, J. D., Aslinjensipriya, A., Jose, & Das, S. J. 2020. Synthesis of CuO nanoparticles: Structural and optical properties by sol-gel method. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2244, No. 1, p. 070035).
- Riyanto, and Nas, S. W. 2016. Validation of Analytical Methods for Determination of Methamphetamine Using Fourier Transform Infrared (FTIR)

- Spectroscopy. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 11(05), 51–59.
- Sanjaya, H. 2023. *Analisis Daya Dukung Tanah Gambut Ambarawa Distabilitasi dengan Belerang*. Skripsi. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Sari, J. P., Martoprawiro M.A., dan Mahendra P. 2022. Pengaruh Penambahan Agen Antibakteri TiO Dan ZnO Pada Film Komposit Selulosa/Poli(Vinil Alkoholistry). *Indonesian E-Journal of Applied Chem.* 10(1), 1-9
- Sari, N.W., Fajri, M., dan W, A. 2018. Analisis Fitokimia dan Gugus Fungsi dari Ekstrak Etanol Pisang Goroho Merah (*Musa acuminata L.*). *Ijobb.* 2(1),31.
- Septiyanto, J.N., Azis, A., Syafiqri, N., Firdaus, F.F., dan Parapat, R.Y. 2025. Potensi Nanokomposit dalam Mengoptimalkan Desain Bodi Kendaraan Modern. *Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi.* 3(3), 169-188.
- Setiawan, F., Fadillah, C. A., Wafa, F. N., Hindari, M.R., Putri, S.G., Nurhayati, T dan Febriyanti, Y. 2023. Penyuluhan Penggunaan Antibiotik yang Tepat dan Benar Dalam Upaya Pencegahan Resistensi Antibiotik. *Jurnal Masyarakat Mandiri.* 7(4), 3681-3689.
- Shafiey, M., and Mustofa, Z.M. 2019. Experimental Study of Water-based CuO Nanofluid Flow in heat Pipe Solar Collector. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry.* 132,1-2.
- Sofyan, A. F., Homenta, H., Rares, F. E. S. Pola Bakteri Aerob yang Berpotensi Menyebabkan Infeksi Nosokomial di Kamar Operasi CITO BLU. RSUP. Prof. Dr. R. D. Kandou Manado. *Jurnal e-Biomedik (eBm).* 3(1),382-387.
- Stel'makh, S.A., Scherban, E.M., Beskopylny, A.N., Mailyan, L.R., Meskhi, B., Shilov, A.A., Evtushenko, A., Chernil'nik, A., El'shaeva, D., Karalar, M., Ozkiliz, Y.O., dan Aksoylu, C. 2023. Physical, Mechanical and Structural Characteristics of Sulfur Concrete with Bitumen Modified Sulfur and Fly Ash. *Journal of Composites Science.* 7(9), 356.
- Sudarwati, T.P.J. 2018. Aktivitas Antibakteri Daun Pepaya (*Carica papaya*) Menggunakan Pelarut Etanol Terhadap Bakteri *Bacillus subtilis*. *Journal of Pharmacy and Science.* 3(2), 13-16.
- Sulastri, Makkadafi, S.P., dan Azzahra, S. 2024. Pengaruh Air Rebusan Sirih Merah (*Piper crocatum*) dalam Menghambat Pertumbuhan Jamur *Candida albicans*. *Borneo Jurnal of Science and Matemathics Education.* 4(1), 39-53.

- Suryaningsih, A., Chumaeroh, S., dan Benyamin, B. 2015. Uji Efektivitas Ekstrak Anggur Merah (*Vitis vinivera*) terhadap Pertumbuhan *Candida albicans* Secara inVitro. *Jurnal Ilmiah Farmasi* 6.45-48.
- Syauqi, A. 2017. *Mikrobiologi Lingkungan : Peranan Mikroorganisme dalam Kehidupan*. ANDI. Yogyakarta.
- Tama, A.P., Hasna, V.L., Hermawan, K.A., Utami, M.R., dan Nurfadhilah, L., 2023. Metode Analisis Cemarkan Mikroba pada Makanan: Review Artikel. *Journal Pharmaceutical and Science*. 6(2), 586-591.
- Tanzil, A. I., Sari, V. K. dan Basuki, B., 2022. Sosialisasi Teknologi Pestisida Nabati di Kelompok Tani Harapan, Desa Slateng, Kecamatan Ledokombo, Kabupaten Jember. *SELAPARANG: Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 6(4), 1644-1649.
- Tatarchuk, T., Bouoadina, M., and Macyk, W. 2017. Structural, Optical, and Magnetic Properties of Zn-doped Cole O. *Nanoparticles*. *Nanoscale Research Letters*. 12(1), 141-151.
- Tinentang H., Aritonang H.F., dan Koleangan H.S.J., 2021. Sintesis Nanokomposit Nata De Coco/Tio/Ag dan Efektivitasnya Sebagai Antibakteri Terhadap Bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aus*. *Jurnal Chemistry Progress*.14(1), 48-53.
- Utami, R.A., Kamil., dan Datu, M.D. 2024. Gambaran Perbandingan Pemeriksaan Jamur *Candida Albicans* Menggunakan KOH 10% dan KOH 20%. *Jurnal Teknologi Laboratorium Medik Borneo*. 4(1), 15-22.
- Vandy, A. 2020. Gambaran Daya Hambat Ekstrak Etil Asetat Bawang Putih (*Allium sativum L.*) Terhadap Pertumbuhan Jamur *Candida albicans*. *Jurnal Insan Cendekia Medika*. 9(1), 62-69.
- Verma, S.K., Rangappa, S., Verma, R., Xue, F., Verma, S., Kumar, K.S.S. Rangappa, K.S. 2024. Sulfur (S^{VI})-containing Heterocyclic Hybrid as Antibacterial Agents Againsts Methicilin-Resistance *Staphylococcus aureus* (MRSA) and its (SAR). *Journal Bioorganic Chemistry*. 145, 107241.
- Welia, D.V., Edelwita, S., dan Putri, Y.E., 2022. Sintesis Nanopartikel Titanium Dioksida (TiO₂) dengan Menggunakan Ekstrak Kulit Jeruk Gunung Omeh dan Karakteristiknya. *Jurnal Kimia Unand*. 11(2), 22-30.
- Wendersteyt, N.V., Wawengkang, D.S., dan Abdullah, S.S. 2021. Uji Aktivitas Antimikroba dari Ekstrak dan Fraksi *Ascidian Herdmania momus* dari Perairan Pulau Bangka Likupang Terhadap Pertumbuhan Mikroba *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium* dan *Candida albicans*. *Jurnal Pharmacon*. 10(1), 706-712.

- Widi, R. K. (2018). *Pemanfaatan Material Anorganik: Pengenalan dan Beberapa Inovasi di Bidang Penelitian*. Deepublish
- Wilapangga, A. dan Syaputra, S. 2018. Analisis Antibakteri Metode Agar Cakram dan Uji Toksisitas Menggunakan BSLT (*Brine Shrimp Lethality Test*) dari Ekstrak Metanol Daun Salam. (*Eugenia Pholantya*). *Indonesian Journal of Biology and Biotechnology*. 2(2), 50-56.
- Yayuk, A., Darul, A., Didik, S. W., Hendri, W., Rata, B., and Takashi, O. 2020. Effect of fuels on the physicochemical properties and photocatalytic activity of bismuth oxide, synthesized using solution combustion method. *International Journal of Technology*. 11(1), 26-30.
- Yang, H., Yang, B., Chen, W., and Yang, J. 2022. Preparation and Photocatalytic Activities of TiO₂- Based Composites Catalysts. *Catalyst*. 12(10), 10-22.
- Yulisa, W.A., Jayanti, P.D., Irawan, I.G.M.K., 2025. Penanganan Scabiosis dan Cutaneous Sporotrikosis pada Kucing Domestik menggunakan Ivermectin dan Sulfur. *Indonesia Medicus Veterinus*. 9(1), 89-98.
- Yulvianti, M., Ernayati, W., dan Alfian, M. 2015. Pemanfaatan Ampas Kelapa Sebagai Bahan Baku Tepung Kelapa Tinggi Serat Dengan Metode *Freeze Drying*. *Jurnal Integrasi Proses*. 5(2), 101-107.
- Yunita, S. L., Atmadi, R. N., dan Titani, M. 2021. Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Pengetahuan dan Perilaku Penggunaan Antibiotika Pada Mahasiswa Farmasi Universitas Muhammadiyah Malang. *Pharmaceutical Journal of Indonesia*. 63(2), 119-123.
- Zahra, M.A., Hiyahara, I.A., dan Syaima, A. 2024. Mini Review: Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel CaO dari Cangkang Telur Menggunakan Metode Kalsinasi. *Prosiding Seminar Nasional Kimia (SNKT III 2023)*. 2(2), 74-78.