

**UJI AKTIVITAS S/CaO/nGO (0,5/1 DAN 0,875/1) SEBAGAI ANTIBAKTERI
(*Bacillus subtilis* DAN *Escherichia coli*) DAN ANTIJAMUR (*Candida albicans*)
YANG DIIRADIASI SINAR TAMPAK**

(Skripsi)

Oleh

HARYATI PRISKILLA TARIGAN

2117011061



FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2025

**UJI AKTIVITAS S/CaO/nGO (0,5/1 DAN 0,875/1) SEBAGAI ANTIBAKTERI
(*Bacillus subtilis* DAN *Escherichia coli*) DAN ANTIJAMUR (*Candida albicans*)
YANG DIIRADIASI SINAR TAMPAK**

Oleh

Haryati Priskilla Tarigan

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Kimia

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Lampung



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

2025

ABSTRAK

UJI AKTIVITAS S/CaO/nGO (0,5/1 DAN 0,875/1) SEBAGAI ANTIBAKTERI (*Bacillus subtilis* DAN *Escherichia coli*) DAN ANTIJAMUR (*Candida albicans*) YANG DIIRADIASI SINAR TAMPAK

Oleh

Haryati Priskilla Tarigan

Penelitian ini berhasil mensintesis nanokomposit S/CaO/nGO 0,5/1 dan 0,875/1 serta menguji aktivitas antimikrobanya terhadap bakteri *B. subtilis*, *E. coli* dan jamur *C. albicans* dengan metode difusi sumuran di bawah sinar tampak. CaO disintesis dari cangkang telur menggunakan metode sol gel dan nGO disintesis dari bonggol jagung menggunakan metode Hummers termodifikasi. Sulfur didoping dengan CaO (1/1), kemudian diimpregnasi dengan nGO (0,5/1 dan 0,875/1). Nanokomposit dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan UV-Vis DRS untuk mengidentifikasi gugus fungsi, struktur kristal, dan nilai energi *band gap*.

Hasil analisis FTIR menunjukkan gugus fungsi khas material, XRD menunjukkan ukuran kristal sebesar 50,60 nm dan 42,21 nm, serta nilai energi *band gap* sebesar 1,17 eV dan 0,99 eV. Uji antimikroba dilakukan dengan variasi penyinaran 0, 15, 30, 45, dan 60 menit. Waktu penyinaran optimum pada uji antibakteri dan antijamur adalah 45 menit dan 60 menit. Diameter zona hambat uji antibakteri S/CaO/nGO 0,5/1 dan 0,875/1 pada waktu optimum terhadap *B. subtilis* yaitu 10 mm dan 10,5 mm, sedangkan terhadap *E. coli* yaitu 9 mm dan 9,3 mm. Pada uji antijamur terhadap *C. albicans* S/CaO/nGO menunjukkan zona hambat sebesar 7,4 mm dan 7,9 mm pada masing-masing perbandingan pada waktu penyinaran optimum.

Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar sulfur dan CaO mampu menurunkan energi celah pita pada nanokomposit, sehingga mempermudah perpindahan elektron dan menghasilkan lebih banyak *Reactive Oxygen Species* (ROS). Penyinaran sinar tampak juga mampu mengaktifkan efek fotokatalitik pada nanokomposit S/CaO/nGO yang berkontribusi terhadap peningkatan diameter zona hambat sebagai indikator efektivitas antibakteri dan antijamur.

Kata kunci : S/CaO/nGO, Antibakteri, Antijamur, Sinar Tampak

ABSTRACT

ACTIVITY TEST OF S/CaO/nGO (0,5/1 AND 0,875/1) AS ANTIBACTERIAL (*Bacillus subtilis* and *Escherichia coli*) AND ANTIFUNGAL (*Candida albicans*) IRRADIATED BY VISIBLE LIGHT

By

Haryati Priskilla Tarigan

This study successfully synthesized S/CaO/nGO 0,5/1 and 0,875/1 nanocomposites and tested their antimicrobial activity against *B. subtilis*, *E. coli* and *C. albicans* fungi by the pitting diffusion method under visible light. CaO was synthesized from eggshell using sol gel method and nGO was synthesized from corncob using modified Hummers method. Sulfur was doped with CaO (1/1), then impregnated with nGO (0,5/1 and 0,875/1). The nanocomposites were characterized using FTIR, XRD, and UV-Vis DRS to identify functional groups, crystal structure, and band gap energy values.

The results of FTIR analysis showed typical functional groups of the material, XRD showed a crystal size of 50,60 nm and 42,21 nm, and band gap energy values of 1,17 eV and 0,99 eV. Antimicrobial tests were carried out with irradiation variations of 0, 15, 30, 45, and 60 minutes. The optimum irradiation times in antibacterial and antifungal tests were 45 minutes and 60 minutes. The diameter of the inhibition zone in the antibacterial test of S/CaO/nGO 0,5/1 and 0,875/1 at the optimum time against *B. subtilis* was 10 mm and 10,5 mm, while against *E. coli* it was 9 mm and 9.3 mm. In the antifungal test against *C. albicans*, S/CaO/nGO showed inhibition zones of 7.4 mm and 7.9 mm in each comparison at the optimum irradiation time.

This study shows that increasing the levels of sulfur and CaO can reduce the band gap energy of the nanocomposites, making it easier to transfer electrons and produce more Reactive Oxygen Species (ROS). Visible light irradiation is also able to activate the photocatalytic effect on S/CaO/nGO nanocomposites which contributes to an increase in the diameter of the inhibition zone as an indicator of antibacterial and antifungal effectiveness.

Keywords : S/CaO/nGO, Antibacterial, Antifungal, Visible Light

Judul Skripsi

: **UJI AKTIVITAS S/CaO/nGO (0,5/1
DAN 0,875/1) SEBAGAI ANTIBAKTERI
(*Bacillus subtilis* DAN *Escherichia coli*)
DAN ANTIJAMUR (*Candida albicans*)
YANG DIIRADIASI SINAR TAMPAK**

Nama Mahasiswa

: **Haryati Priskilla Tarigan**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **2117011061**

Program Studi

: **Kimia**

Fakultas

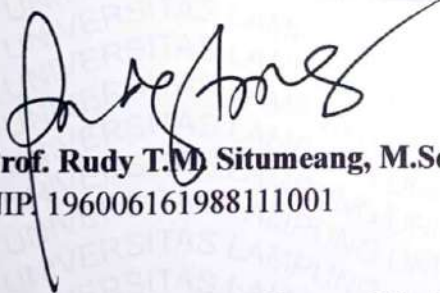
: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

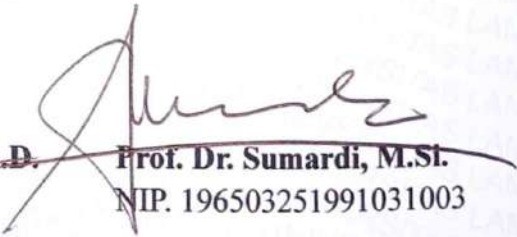
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II


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


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

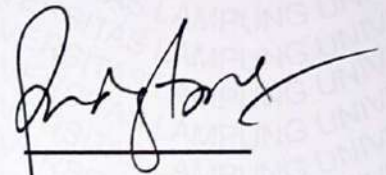
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung


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

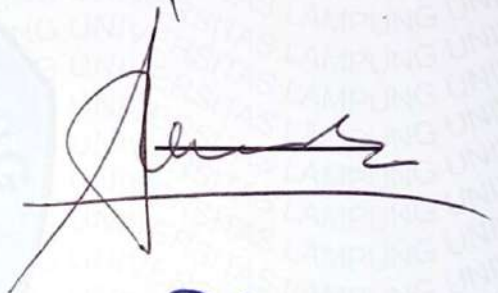
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

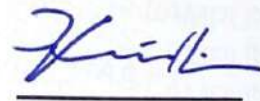
Ketua : **Prof. Rudy T.M. Situmeang, M.Sc. Ph.D.**



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



Anggota : **Dr. Rinawati, S.Si. M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

NIP 197110012005011002



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

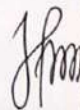
**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Haryati Priskilla Tarigan
NPM : 2117011061
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul "**Uji Aktivitas S/CaO/nGO (0,5/1 dan 0,875/1) sebagai Antibakteri (*Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli*) dan Antijamur (*Candida albicans*) yang Diiradiasi Sinar Tampak**" adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya juga tidak keberatan jika sebagian atau seluruhnya data di dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Bandar Lampung,
Menyatakan,



Haryati Priskilla Tarigan
NPM 2117011061

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Haryati Priskilla Tarigan dilahirkan di Aek Kanopan, Sumatera Utara pada tanggal 15 September 2003 sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dari Bapak Hendri Karya Tarigan dan Ibu Susiwati Sitorus. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDS Ora Et Labora Miracle Center Batam pada tahun 2015, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 11 Batam pada tahun 2018, dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 5 Batam pada tahun 2021. Penulis lalu melanjutkan pendidikannya pada tahun 2021 di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di organisasi sebagai anggota bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK) di Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) FMIPA Unila periode 2022. Pada tahun 2023, penulis mengikuti program magang Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) sebagai Praktik Kerja Lapangan (PKL) di UPST Bantar Gebang dengan judul “Uji Kualitas Produk *Refuse Derived Fuel* (RDF) pada Tempat Pembuangan Sampah Terpadu (TPST) Bantar Gebang”. Pada tahun 2024, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Sidodadi, Kecamatan Teluk Pandan, Kabupaten Pesawaran, Lampung. Selain itu, pada tahun yang sama penulis juga pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Kimia Fisik II untuk mahasiswa Jurusan Kimia Universitas Lampung. Pada tahun 2025, penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir yang dilakukan di Laboratorium Anorganik-Fisik Jurusan Kimia dan Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Universitas

Lampung dengan judul “Uji Aktivitas S/CaO/nGO (0,5/1 dan 0,875/1) sebagai Antibakteri (*Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli*) dan Antijamur (*Candida albicans*) yang Diiradiasi Sinar Tampak”

PERSEMBAHAN

Segala puji syukur dan kemuliaan hanya bagi Tuhan Yesus Kristus atas kasih setia dan penyertaan-Nya yang nyata dalam setiap langkah hidupku. Tuhanlah yang menjadi alasanku boleh ada sampai sejauh ini. Di tengah keterbatasanku, Yesus hadir sebagai penolong dan memberi kekuatan.

Dengan segala kerendahan hati, kupersembahkan karya ini sebagai ungkapan kasih, hormat, dan rasa sayangku yang mendalam kepada:

Orang Tuaku Tercinta

Mama Susiwati Sitorus yang telah berjuang membesarkanku, berkorban untukku, mendidikku, dan mendoakanku tanpa henti hingga aku bisa menyelesaikan studiku dan memperoleh gelar di ujung namaku. Terima kasih karena sudah menjadi alasan untukku bisa selalu kuat menghadapi semuanya.

Adikku Tersayang

Grace Yohana Tarigan yang selalu memberikan semangat dan motivasi hingga karya ini dapat terselesaikan dengan baik.

Rasa Hormatku Kepada:

Bapak Prof. Rudy Tahan Mangapul Situmeang, M.Sc. Ph.D. dan Bapak Prof. Sumardi, M.Si., serta seluruh dosen Jurusan Kimia Universitas Lampung yang dengan penuh ketulusan telah membimbing, mengajari, dan menuntun dalam setiap tahap perjalanan akademik penulis.

Keluarga besar dan sahabat-sahabatku yang selalu ada, terima kasih atas dukungan, semangat, dan doa yang selalu diberikan. Kehadiran kalian sangat berarti dan menjadi penguat dalam setiap langkah penulis.

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

MOTTO

“Sebab Tuhan, Dia sendiri akan berjalan di depanmu, Dia sendiri akan menyertai engkau, Dia tidak akan membiarkan engkau dan tidak akan meninggalkan engkau; janganlah takut dan janganlah patah hati.”

(Ulangan 31:8)

“Terpujilah Tuhan, karena Ia telah mendengar suara permohonanku. Tuhan adalah kekuatanku dan perisaiku; kepada-Nya hatiku percaya. Aku tertolong sebab itu beria-ria hatiku, dan dengan nyanyianku aku bersyukur kepada-Nya.”

(Mazmur 28:6-7)

“Dan segala sesuatu yang kamu lakukan dengan perkataan atau perbuatan, lakukanlah semuanya itu dalam nama Tuhan Yesus, sambil mengucap syukur oleh Dia kepada Allah, Bapa kita.”

(Kolose 3:17)

“Aku membahayakan nyawa ibuku untuk lahir ke dunia, jadi tidak mungkin aku tidak ada gunanya.”

“Loving yourself is giving yourself what you want someone else to”

Brianna Wiest, 101 Essays that Will Change The Way You Think

SANWANCANA

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala kasih anugerah dan kebaikannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Uji Aktivitas S/CaO/nGO (0,5/1 dan 0,875/1) sebagai Antibakteri (*Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli*) dan Antijamur (*Candida albicans*) yang Diiradiasi Sinar Tampak”**. Penulisan skripsi ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan terdapat banyak kesulitan, tantangan, dan kendala. Namun, terima kasih atas penyertaan Tuhan, penulis dapat melewati semuanya karena dukungan dan bantuan dari berbagai pihak di sekitar penulis. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Rudy Tahan Mangapul Situmeang, M.Sc., Ph.D. selaku pembimbing pertama dalam penelitian ini, yang telah memberikan waktu, ilmu yang bermanfaat, bimbingan, saran dan motivasi yang membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih karena selalu sabar dalam membimbing penulis, semoga Tuhan senantiasa memberkati kesehatan, rezeki yang melimpah, serta balasan terbaik untuk kebaikan yang Bapak berikan.
2. Bapak Prof. Dr. Sumardi, M.Si. selaku pembimbing kedua dalam penelitian ini, yang telah memberikan arahan, bimbingan, saran, motivasi, dan ilmu yang bermanfaat. Terima kasih atas waktu, kesabaran, dan perhatian yang Bapak berikan selama proses penulisan skripsi ini, semoga Tuhan yang selalu memberikan kesehatan, keberkahan, serta balasan terbaik atas kebaikan yang Bapak berikan.

3. Ibu Dr. Rinawati, S.Si., M.Si. selaku pembahas atas segala saran dan masukan yang membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Semoga Tuhan memberikan balasan terbaik atas kebaikan yang Ibu berikan.
4. Orang tua penulis, teristimewa kepada Mama Susiwati Sitorus, terima kasih atas setiap pengorbanan, kerja keras yang dilakukan untuk memberikan yang terbaik untuk penulis, mengusahakan segala kebutuhan penulis, mendidik, membimbing, dan selalu memberikan kasih sayang yang tulus. Terima kasih untuk doa yang selalu menyertai penulis, selalu berada di sisi penulis, serta menjadi alasan bagi penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini hingga memperoleh gelar sarjana. Besar harapan penulis semoga Tuhan selalu menjaga Mama agar bisa melihat penulis meraih mimpi yang lebih tinggi lagi
5. Adikku, Grace Yohana Tarigan, yang terus membuat penulis termotivasi untuk bisa terus belajar menjadi sosok kakak yang dapat memberikan pengaruh positif, baik dalam bidang akademik maupun non-akademik, serta berusaha menjadi panutannya di masa yang akan datang kelak.
6. Bapak Mulyono, S.Si., M.Si. Ph.D. selaku dosen Pembimbing Akademik, yang telah membimbing penulis dalam perjalanan akademik.
7. Ibu 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 Universitas Lampung.
9. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Kimia Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu, mendidik, dan memberikan motivasi selama proses perkuliahan.
10. Bapak dan Ibu staff administrasi di Jurusan Kimia dan Fakultas MIPA yang telah membantu penulis dalam proses administrasi.
11. Ibu Liza selaku laboran di Laboratorium Anorganik/Fisik dan Ibu Oni selaku laboran di Laboratorium Mikrobiologi yang telah membantu penulis dalam menyiapkan segala kebutuhan yang berkaitan dengan kegiatan penelitian di laboratorium.

12. Kakak-kakak senior di Jurusan Kimia dan Biologi yang telah memberikan arahan dan bimbingan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.
13. Teman seperjuanganku dalam penelitian “*Rudy Research '21*”, Nanda Putri Kusuma, Nella Simanjuntak, Adelia Feby Tamara, dan Rika Sapitri yang selalu bersama dalam menyelesaikan penelitian dan sampai di titik ini. Terima kasih atas kerja sama, kebaikan, canda tawa, bantuan, dukungan, dan kebersamaan kita selama perkuliahan terkhusus selama penelitian. Semoga apa yang menjadi harapan kita kedepannya dapat tercapai.
14. Sahabat dan teman seperjuanganku selama menempuh perkuliahan, Ayu Fortune Lisa Hutabarat, Difa Putri Himawan, dan Nanda Putri Kusuma, yang selalu kebersamai penulis dalam suka duka perkuliahan. Terima kasih atas kenangan singkat selama 4 tahun ini, semoga kita bisa meraih kesuksesan yang kita mimpikan.
15. Sahabatku sejak SMA, Apfia Margareta Sitorus, Novita Sari Parapat, dan Asmita Rambe yang selalu kebersamai penulis sekalipun terpisah oleh jarak karena meraih mimpi masing-masing.
16. Tim perjuangan magang UPST Bantar Gebang, Ayu Fortune Lisa Hutabarat, Niluh Indriya Kusuma Dewi, dan Rachel Elisabeth Sihombing. Terima kasih atas kerja sama, pengalaman, dan kebersamaan kita selama magang di UPST Bantar Gebang selama 4 bulan.
17. Teman perjuangan selama perkuliahan, Falencia Selva Sinaga dan Kelly Presy Christy Hutagalung atas bantuan, dukungan, dan doa hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
18. Teman-teman Kimia angkatan 2021 terutama kelas B, terima kasih atas kebersamaan selama menempuh perkuliahan hingga sampai tahap ini.
19. Alm. Ma Tua Ida Royani Sitorus, terima kasih untuk pengorbanan yang diberikan kepada penulis. Sesuai dengan cita-cita ma tua, kini penulis telah mendapatkan gelar sarjana.
20. Keluarga besar yang senantiasa memberikan doa dan dukungan agar penulis semangat dalam menjalani perkuliahan dan menyelesaikan skripsi.

21. Seseorang yang tidak bisa penulis sebut namanya, terima kasih sudah menemani bagian dari proses penulis, selalu memberikan telinga untuk mendengarkan keluh kesah, selalu memberikan semangat, dan menjadi saksi dari perjuangan penulisan skripsi ini. Dari banyaknya kesempatan yang semesta berikan, senang karena bisa menemukanmu di bumi yang luas ini.
22. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah membantu dan mendokan penulis dalam proses perkuliahan dan penyusunan skripsi.
23. Diriku sendiri, Haryati Priskilla Tarigan. Terima kasih sudah memilih untuk bertahan, mau berjuang untuk tetap ada sampai saat ini, serta tidak memenuhi kedagingan yang ditawarkan oleh dunia ini. Terima kasih karena tetap berusaha berjalan di jalan Tuhan di tengah kepahitan yang menekan untuk menyerah. Bagaimanapun kehidupanmu selanjutnya, hargai dirimu, rayakan dirimu, dan berbahagialah atas proses yang berhasil dilalui untuk masa depan yang lebih cerah.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan masukan yang membangun untuk memperbaiki penulisan di masa yang akan datang. Penulis berharap skripsi ini dapat menambah wawasan dan bermanfaat bagi para pembaca.

Bandar Lampung, 14 Juli 2025
Penulis,

Haryati Priskilla Tarigan

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	5
 II. TINJAUAN PUSTAKA	 6
2.1. Nanomaterial	6
2.2. <i>Graphene Oxide</i>	7
2.2.1. <i>Graphene</i>	7
2.2.2. <i>Graphene Oxide (GO)</i>	8
2.2.3. <i>Nano Graphene Oxide (nGO)</i>	9
2.3. Kalsium Oksida.....	9
2.4. Sulfur.....	10
2.5. Fotokatalis	10
2.6. Sinar Tampak (<i>Visible</i>)	11
2.7. Instrumentasi	11
2.7.1. <i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i>	11
2.7.2. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	13
2.7.3. <i>UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)</i>	15
2.8. Bakteri	16
2.8.1. Antibakteri.....	17
2.8.2. <i>Bacillus subtilis</i>	19
2.8.3. <i>Escherichia coli</i>	20
2.9. Jamur	21
2.9.1. Antijamur	22
2.9.2. <i>Candida albicans</i>	24
2.10. Difusi Sumuran	26

III. METODE PENELITIAN.....	28
3.1. Waktu dan Tempat.....	28
3.2. Alat dan Bahan.....	28
3.3. Sintesis S/CaO/nGO.....	29
3.3.1.Karbonisasi Bonggol Jagung	29
3.3.2.Sintesis Grafit.....	29
3.3.3.Sintesis Nano <i>Graphene Oxide</i> (nGO).....	30
3.3.4.Sintesis Kalsium Oksida (CaO)	30
3.3.5.Pencampuran S/CaO/nGO	31
3.4. Karakterisasi.....	32
3.4.1. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	32
3.4.2. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	32
3.4.3. <i>UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-Vis DRS).....	32
3.5. Uji Antibakteri dan Antijamur.....	33
3.5.1.Sterilisasi Alat	33
3.5.2.Peremajaan Bakteri dan Jamur.....	33
3.5.3.Pelakuan S/CaO/nGO terhadap Bakteri.....	34
3.5.4.Pelakuan S/CaO/nGO terhadap Jamur.....	34
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1. Sintesis Nano <i>Graphene Oxide</i> (nGO).....	36
4.1.1.Karbonisasi Bonggol Jagung	36
4.1.2.Grafit	37
4.1.3.Nano <i>Graphene Oxide</i> (nGO)	38
4.2. Kalsium Oksida (CaO).....	42
4.3. Katalis S/CaO.....	43
4.4. Nanokomposit S/CaO/nGO.....	44
4.5. Karakterisasi Grafit dan Nano <i>Graphene Oxide</i> (nGO).....	45
4.5.1.Analisis FTIR	45
4.5.2.Analisis XRD	47
4.6. Karakterisasi Kalsium Oksida (CaO).....	48
4.6.1.Analisis FTIR	48
4.6.2.Analisis XRD	49
4.6.3.Analisis Nilai <i>Band Gap</i>	50
4.7. Karakterisasi S/CaO	52
4.7.1.Analisis FTIR	52
4.7.2.Analisis XRD	53
4.7.3.Analisis Nilai <i>Band Gap</i>	54
4.8. Karakterisasi S/CaO/nGO	56
4.8.1.Analisis FTIR	56
4.8.2.Analisis XRD	57
4.8.3.Analisis Nilai <i>Band Gap</i>	59
4.9. Uji Antibakteri.....	61
4.10. Uji Antijamur	65
V. KESIMPULAN DAN SARAN	68
5.1. Kesimpulan	68

5.2. Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA.....	70
LAMPIRAN.....	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur <i>graphene</i>	7
2. Struktur <i>graphene oxide</i>	8
3. Spektrum FTIR dari <i>graphene</i> dan <i>graphene oxide</i> (GO)	12
4. Difraktogram grafit, <i>graphene oxide</i> , dan <i>graphene nano sheets</i>	14
5. Difraktogram kalsium oksida (CaO)	14
6. Grafik nilai <i>band-gap</i>	16
7. Skema mekanisme aksi antimikroba dari nanopartikel	19
8. Gambar SEM bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	20
9. Gambar SEM bakteri <i>Escherichia coli</i>	21
10. Mekanisme nanopartikel di tingkat seluler yang menyebabkan kerusakan pada sel jamur	24
11. Sel <i>C. albicans</i> yang dianalisis dengan SEM	25
12. Hasil (a) serbuk bonggol jagung setelah dikeringkan menggunakan oven dan (b) arang setelah proses karbonisasi.	36
13. Hasil sintesis grafit	38

14. Hasil sintesis nGO dengan metode Hummers termodifikasi	41
15. Hasil sintesis CaO dengan metode sol gel	43
16. Hasil sintesis S/CaO 1/1	44
17. Hasil sintesis S/CaO/nGO dengan perbandingan (a) 0,5/1 dan (b) 0,875/1	45
18. Spektrum FTIR (a) grafit dan (b) nGO	46
19. Difraktogram XRD (a) grafit dan (b) nGO	47
20. Spektrum FTIR Kalsium Oksida (CaO).....	48
21. Difraktogram XRD Kalsium Oksida (CaO).....	49
22. Spektrum Absorbansi CaO	50
23. Grafik nilai <i>band gap</i> CaO	51
24. Spektrum FTIR S/CaO 1/1	52
25. Difraktogram XRD S/CaO 1/1	53
26. Spektrum Absorbansi S/CaO 1/1	54
27. Grafik <i>band gap</i> S/CaO 1/1	55
28. Spektrum FTIR S/CaO/nGO perbandingan (a) 0,5/1 dan (b) 0,875/1	56
29. Difraktogram XRD S/CaO/nGO dengan perbandingan (a) 0,5/1 dan (b) 0,875/1	57
30. Spektrum Absorbansi (a) S/CaO/nGO 0,5/1 dan (b) S/CaO/nGO 0,875/1	59
31. Grafik <i>band gap</i> (a) S/CaO/nGO 0,5/1 dan (b) S/CaO/nGO 0,875/1	60
32. Pengamatan I uji antibakteri terhadap <i>B. subtilis</i> dengan variasi (a) tanpa penyinaran, (b) 15 menit, (c) 30 menit, (d) 45 menit, dan (e) 60 menit.	88

33. Pengamatan II uji antibakteri terhadap *B. subtilis* dengan variasi (a) tanpa penyinaran, (b) 15 menit, (c) 30 menit, (d) 45 menit, dan (e) 60 menit. 89
34. Pengamatan I uji antibakteri terhadap *E. coli* dengan variasi (a) tanpa penyinaran, (b) 15 menit, (c) 30 menit, (d) 45 menit, dan (e) 60 menit. 90
35. Pengamatan II uji antibakteri terhadap *E. coli* dengan variasi (a) tanpa penyinaran, (b) 15 menit, (c) 30 menit, (d) 45 menit, dan (e) 60 menit. 90
36. Pengamatan I uji antijamur terhadap *C. albicans* dengan variasi (a) tanpa penyinaran, (b) 15 menit, (c) 30 menit, (d) 45 menit, dan (e) 60 menit. 91
37. Pengamatan II uji antijamur terhadap *C. albicans* dengan variasi (a) tanpa penyinaran, (b) 15 menit, (c) 30 menit, (d) 45 menit, dan (e) 60 menit. 92

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi antibakteri berdasarkan mekanisme kerjanya	18
2. Klasifikasi antijamur berdasarkan mekanisme kerjanya.....	23
3. Hasil sintesis dan persen rendemen karbonisasi bonggol jagung	37
4. Hasil sintesis dan persen rendemen grafit.....	38
5. Hasil sintesis dan persen rendemen nGO.....	41
6. Hasil sintesis dan persen rendemen CaO	43
7. Hasil sintesis S/CaO dengan perbandingan 1/1	44
8. Hasil impregnasi nanokomposit S/CaO/nGO	45
9. Ukuran kristal nanokomposit S/CaO/nGO.....	59
10. Diameter zona hambat uji antibakteri terhadap <i>B. subtilis</i>	62
11. Diameter zona hambat uji antibakteri terhadap <i>E. coli</i>	62
12. Diameter zona hambat uji antijamur terhadap <i>C. albicans</i>	65

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penyakit yang disebabkan oleh masuknya sejumlah mikroorganisme yang bersifat patogen ke dalam tubuh disebut penyakit infeksi. Penyakit infeksi merupakan salah satu permasalahan kesehatan di masyarakat yang tidak pernah dapat diatasi secara menyeluruh. Berbagai mikroorganisme, seperti bakteri, virus, parasit, dan jamur dapat menyebabkan penyakit infeksi (Yulianti dkk, 2024). Penyakit yang disebabkan oleh bakteri sering terjadi di lingkungan, seperti infeksi yang disebabkan oleh bakteri *Escherichia coli* dan *Bacillus subtilis*. Bakteri *E. coli* dapat menyebabkan infeksi seperti infeksi saluran kemih, sinusitis, infeksi saluran pencernaan, infeksi selaput otak, infeksi paru-paru, dan gastroenteritis (Nabilla dan Advinda, 2022). Bakteri *B. subtilis* juga dapat menyebabkan penyakit seperti endokarditis, infeksi mata, meningitis, dan gastroenteritis akut (Zaini dkk., 2024).

Penyakit infeksi dapat juga disebabkan oleh jamur, seperti perkembangan yang tidak terkendali dari *Candida albicans* penyebab kandidiasis, yang dapat terjadi pada mulut, vagina, kulit, kuku, bronkus, dan paru-paru. Penyakit ini dapat menyerang pada semua tingkat umur dan jenis kelamin, namun lebih sering terjadi pada wanita karena *C. albicans* adalah mikroflora normal dalam saluran kelamin wanita. Infeksi jamur ini dapat terjadi di negara beriklim tropis seperti Indonesia karena suhu, kelembapan udara yang tinggi, kondisi kulit yang rentan berkeringat, kebersihan diri yang buruk, serta kurangnya pengetahuan mengenai masalah kesehatan (Sulistiyani, 2020).

Antibiotik menjadi salah satu penemuan paling penting pada abad ke-20 yang telah menyelamatkan jutaan nyawa dalam memerangi mikroorganisme penyebab penyakit infeksi. Namun, kemampuan bakteri dan jamur yang dapat beradaptasi dengan lingkungan sekitarnya mengakibatkan munculnya mikroorganisme yang resisten terhadap berbagai jenis obat. Sejak awal abad ke-21, infeksi yang tidak dapat diobati telah menjadi ancaman bagi dunia kesehatan (Uddin *et al.*, 2021). Resistensi antibiotik pada bakteri terjadi ketika bakteri bertahan terhadap efek antibiotik dengan memperoleh gen resisten melalui mutasi atau transfer gen yang menyebabkan kurangnya sensitivitas obat, yang berdampak pada peningkatan morbiditas dan mortalitas serta biaya perawatan kesehatan yang berlebihan (Sukertiasih *et al.*, 2021). Jamur juga memiliki mekanisme resistensi terhadap antibiotik, seperti perubahan target obat, perubahan jalur seluler, pengurangan konsentrasi enzim target interseluler, ekspresi berlebih dari target obat antijamur, aktivasi sinyal respon stres, pembentukan biofilm, dan perbedaan permeabilitas sel (Huang *et al.*, 2023).

Saat ini, penelitian yang menciptakan antibiotik dengan skala nano telah berkembang pesat. Nanomaterial adalah material yang direkayasa dan dimanipulasi pada skala nano, yang berukuran antara 1 hingga 100 nanometer. Nanopartikel lebih reaktif karena ukurannya yang kecil serta perbandingan luas permukaan dan volume yang lebih besar dibandingkan partikel sejenis yang berukuran lebih besar (Vishwakarma *et al.*, 2024).

Bonggol jagung adalah bagian dari jagung setelah dipipil bijinya dan menjadi salah satu limbah pertanian di Indonesia yang mengandung lignoselulosa. Bonggol jagung menyumbang 40 - 50% dari berat panen jagung yang dihasilkan (Alpandari dkk., 2022). Dalam pertanian jagung, limbah bonggol jagung seringkali hanya dibuang dan dibiarkan membusuk padahal ada banyak cara untuk memanfaatkannya. Minimnya pemanfaatan limbah ini menyebabkan jumlah limbah yang terus meningkat (Elegbede *et al.*, 2021). Bonggol jagung merupakan salah satu biomassa yang dapat menjadi sumber karbon. Kandungan senyawa karbon yang tinggi dalam bonggol jagung, termasuk selulosa (41%), hemiselulosa (36%), dan lignin (6%) yang menunjukkan kemungkinan bahwa bonggol jagung

berpotensi digunakan sebagai bahan pembuat arang aktif. Bonggol jagung yang telah dibakar dapat digunakan untuk mensintesis *graphene oxide* (GO) yang memiliki aktivitas antimikroba (Bete dkk., 2019).

Nanomaterial berbasis *graphene*, seperti *graphene oxide* (GO) telah menunjukkan potensi besar dalam penghantaran obat dan terapi fotodinamik karena struktur dan sifat fisikokimianya yang khas (Xia *et al.*, 2019). GO dihasilkan dari pengelupasan kimiawi grafit dan mengandung beberapa gugus fungsi oksidatif yang berbeda, seperti gugus hidroksil, karbonil, epoksi, dan karboksilat (Aunkor *et al.*, 2020). Menurut Kumar *et al.* (2019), GO secara signifikan menghambat pertumbuhan bakteri *E. coli*. Mekanisme antimikroba *graphene* melibatkan kontak langsung ujung tajam *graphene* dengan membran bakteri serta stres oksidatif akibat transfer muatan dan *Reactive Oxygen Species* (ROS). GO juga memiliki aktivitas antijamur yang signifikan terhadap *F. graminearum*, *F. poae*, dan *B. cinerea*. Kandungan karbon mampu menghancurkan dinding sel patogen dan nanopartikel ini melewati membran sel untuk mencapai sitoplasma mikroorganisme. GO dapat mengurangi biomassa dan percabangan miselia, serta mengubah protein, lipid, dan metabolit lain dalam sel jamur (Huang *et al.*, 2023).

Cangkang telur menjadi bagian terluar dari telur, yang menyumbang 9-12% dari bobotnya, termasuk salah satu limbah rumah tangga yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Cangkang telur ayam negeri terdiri dari 94% kalsium karbonat (CaCO_3), 1% magnesium karbonat (MgCO_3), 1% kalsium fosfat (CaPO_4), dan 4% bahan organik lainnya. Kandungan CaCO_3 yang tinggi memungkinkan sintesis sumber kalsium oksida (CaO) yang bersifat sebagai antimikroba. Penggunaan CaO sebagai antibakteri dapat diaplikasikan dalam suatu sediaan nanopartikel (Fitriyani, 2019). Rossani (2018) melaporkan nanopartikel CaO memiliki aktivitas antijamur terhadap jamur *C. albicans* dan Djayasinga *et al.* (2024) menunjukkan bahwa CaO dari serbuk cangkang telur memiliki aktivitas antibakteri terhadap bakteri *S. aureus* dan *E. coli* ketika terpapar iradiasi sinar matahari selama 5 menit untuk mencapai efek fotokatalitik. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa nanopartikel CaO memiliki aktivitas antimikroba terhadap beberapa mikroorganisme tersebut.

Nanomaterial dari logam oksida semikonduktor seperti CaO dapat ditingkatkan fungsinya sebagai antimikroba dengan cara mencampur (doping) dengan dua atau tiga nanopartikel lainnya, yang dinamakan nanokomposit. Doping yang dilakukan dapat meningkatkan kerja dari sifat antimikroba dibandingkan bila logamnya bekerja sendiri (Rompis *et al.*, 2020). Doping juga dapat memodifikasi sifat suatu bahan seperti memperkecil energi celah pita dan memperbesar penyerapan cahaya (Indriani dkk., 2018). Sulfur akan digunakan sebagai unsur doping pada CaO dan nGO untuk menurunkan nilai *band gap* semikonduktor sehingga material yang dihasilkan dapat memiliki aktivitas fotokatalitik saat terpapar sinar UV dan tampak. Menurut Hashem *et al.* (2021), sediaan nanopartikel sulfur merupakan alternatif yang efektif terhadap resistensi antibiotik pada sebagian besar bakteri *Staphylococcus* penyebab jerawat vulgaris.

Pada penelitian sebelumnya oleh Maghfira (2023), telah disintesis nanokomposit S/CaO/nGO 0,25/1 dan 0,75/1 yang diuji pada bakteri *B. subtilis* dan *E. coli* yang diiradiasi sinar *visible*. Hasil menunjukkan waktu optimum penyinaran untuk *B. subtilis* adalah 45 menit dengan diameter zona hambat yaitu 7 mm untuk kedua perbandingan. Sementara itu, waktu optimum penyinaran yang sama untuk *E. coli* dengan diameter zona hambat 4 dan 5 mm pada perbandingan 0,25/1 dan 0,75/1. Pada penelitian tersebut, dilaporkan bahwa S/CaO/nGO efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri saat terpapar sinar *visible*.

Dalam penelitian ini, disintesis nanokomposit S/CaO/nGO dengan perbandingan 0,5/1 dan 0,875/1 dan diuji aktivitasnya sebagai antimikroba. Nanomaterial CaO disintesis dari limbah cangkang telur menggunakan metode sol gel dan nano *Graphene Oxide* (nGO) disintesis dari limbah bonggol jagung menggunakan metode Hummers termodifikasi. Sulfur murni didoping ke dalam nanomaterial CaO dengan perbandingan 1/1, kemudian diimpregnasi ke dalam nGO dengan perbandingan 0,5/1 dan 0,875/1 menggunakan metode sonikasi. Nanokomposit yang berhasil disintesis akan dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan UV-Vis DRS serta diuji aktivitasnya pada bakteri *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* dan jamur *Candida albicans* di bawah penyinaran sinar tampak menggunakan metode difusi sumuran.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menghasilkan dan menganalisis karakteristik kimia nanokomposit S/CaO/nGO dengan variasi perbandingan 0,5/1 dan 0,875/1.
2. Menguji aktivitas antimikroba S/CaO/nGO terhadap bakteri *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, dan jamur *Candida albicans*.
3. Melihat pengaruh penyinaran sinar tampak terhadap S/CaO/nGO sebagai antibakteri dan antijamur.

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui aktivitas antimikroba nanokomposit S/CaO/nGO terhadap bakteri *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, dan jamur *Candida albicans*.
2. Mengetahui pengaruh penyinaran sinar tampak terhadap S/CaO/nGO sebagai antibakteri dan antijamur.
3. Mendapatkan antibiotik terbarukan untuk melawan resistensi mikroorganisme patogen penyebab penyakit infeksi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Nanomaterial

Nanomaterial adalah material yang direkayasa pada skala nano, yang berukuran antara 1 hingga 100 nanometer. Material berukuran nanometer memiliki sejumlah sifat kimia dan fisika yang lebih unggul dari material yang berukuran besar (*bulk*), dengan karakteristik fisikokimia yang unik, seperti rasio luas permukaan yang tinggi terhadap massa, reaktivitas tinggi, dan ukuran dalam kisaran nanometer (10^{-9} m) (Vishwakarma *et al.*, 2024). Nanopartikel terdiri dari berbagai bentuk dan struktur yang berbeda, seperti silinder, bola, tubular, kerucut, atau spiral (León-Buitimea *et al.*, 2021). Suatu bahan yang terbuat dari penggabungan antara dua atau lebih komponen yang berbeda yang salah satu atau semuanya berskala nanometer disebut sebagai nanokomposit.

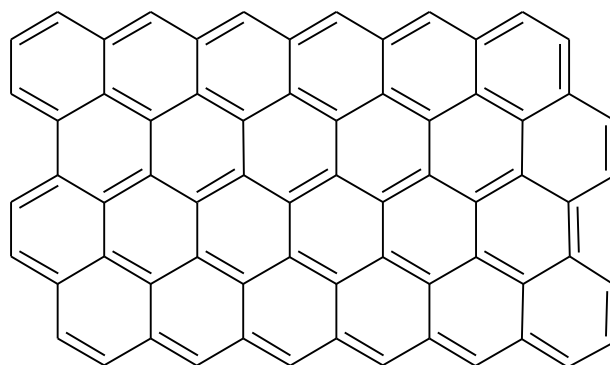
Nanomaterial diklasifikasikan berdasarkan bahan penyusunnya, yaitu bahan berbasis karbon (organik), bahan berbasis logam dan oksida logam (anorganik), atau bahan komposit. Nanomaterial dengan bahan berbasis karbon biasanya terdiri dari karbon seperti *fullerene* dan karbon *nanotube*. Nanomaterial dengan bahan berbasis logam atau oksida logam misalnya perak, emas, seng oksida, besi oksida, dan titik kuantum (*quantum dot*). Nanomaterial berbasis nanokomposit terdiri dari banyak komponen yang dapat terbentuk dari ikatan organik-organik, organik-anorganik, dan anorganik-anorganik (Tollu *et al.*, 2024). Nanopartikel juga telah menunjukkan aktivitas antimikroba serta digunakan dalam pakaian dan industri makanan untuk membatasi pertumbuhan bakteri. Nanopartikel logam oksida

diketahui memiliki sifat antimikroba yang kuat, seperti ZnO, MgO, TiO₂, dan SiO₂ memiliki toksisitas selektif terhadap sistem biologis sehingga cocok untuk dijadikan antimikroba pada kelompok mikroba yang resisten (Roy *et al.*, 2013).

2.2. *Graphene Oxide*

2.2.1. *Graphene*

Graphene merupakan lembaran bidang karbon hibridisasi sp², yang memiliki struktur heksagonal mirip dengan kisi sarang lebah (Aunkor *et al.*, 2020) yang terbentuk dari beberapa atom karbon termasuk arang, grafit, bola *bucky*, dan karbon *nanotubes*. Lembaran-lembaran *graphene* yang ditumpuk akan membentuk material berbasis karbon seperti *graphite* (Bete dkk., 2019). Struktur yang unik menjadikan *graphene* memiliki kualitas material yang baik. *Graphene* tidak memiliki *band gap*, memiliki mobilitas pembawa elektron yang tinggi, serta memiliki konduktivitas panas yang baik (Tadyszak *et al.*, 2018). Keunggulan lainnya yang dimiliki oleh *graphene* adalah keelastisan bahannya, di mana memiliki daya tahan 100 kali lebih besar daripada baja. Ikatan kovalen antar karbon yang sangat kuat menjadikan *graphene* sangat sulit diregangkan dan memiliki modulus Young sekitar 1 TPa (Lee *et al.*, 2008). Adapun struktur *graphene* dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.

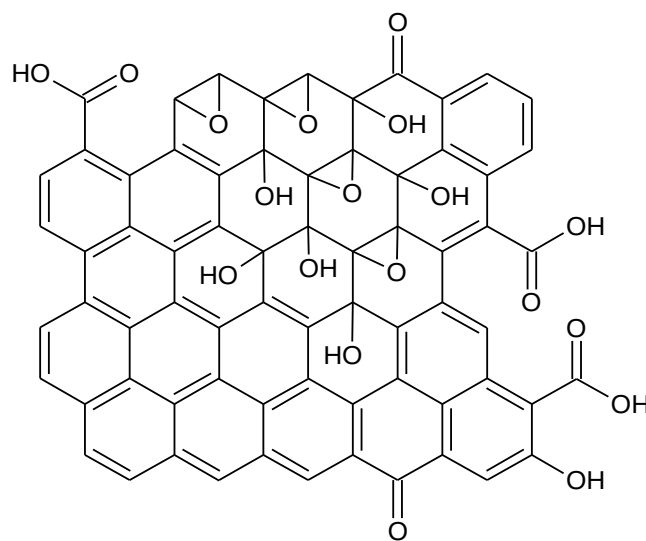


Gambar 1. Struktur *graphene* (Bai *et al.*, 2019).

2.2.2. Graphene Oxide (GO)

Graphene oxide (GO) merupakan senyawa turunan *graphene* yang memiliki struktur dan karakteristik yang mirip. GO adalah modifikasi preparasi *graphene* yang dilakukan secara kimiawi melalui oksidasi dan eksfoliasi serta modifikasi oksidatif dari bidang basal. Struktur GO digambarkan sebagai lembaran *graphene* yang terikat dengan oksigen dalam bentuk karbonil, hidroksil, atau kelompok epoksi. GO dan *graphene* memiliki perbedaan pada strukturnya, di mana *graphene* memiliki struktur planar sedangkan pada GO terdapat lengkungan karena hadirnya gugus oksigen dalam bentuk karboksil dan karbonil (Rohman, 2018). Oksidasi pada *graphene* menghasilkan peningkatan ketebalan pada lapisan GO sehingga menegaskan kembali akumulasi gugus oksigen yang terikat secara kovalen. Perpaduan oksigen ini menghilangkan karbon hibridisasi sp^2 di atas dan di bawah lembaran *graphene* asli (Aunkor *et al.*, 2020).

GO merupakan isolator, namun adanya oksidasi yang terkontrol menyebabkan GO memiliki sifat mekanis yang lebih baik digunakan pada elektronik, termasuk kemungkinan memiliki *band gap* nol dengan menghilangkan ikatan C-O (Mkhoyan *et al.*, 2009). Namun, konduktivitas listrik GO dapat ditingkatkan secara signifikan oleh reduksi kimia dengan pemulihan jaringan grafit ikatan sp^2 (Stankovich *et al.*, 2006). Adapun struktur dari GO dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur *graphene oxide* (Jiříčková *et al.*, 2022).

2.2.3. Nano Graphene Oxide (nGO)

Lembaran tipis GO baru-baru ini muncul sebagai material baru nano berbasis karbon yang juga merupakan alternatif dari *graphene* (Stankovich *et al.*, 2006). Nano *graphene oxide* (nGO) adalah kelas baru bahan berbasis karbon yang disarankan untuk aplikasi biomedis karena ukurannya yang kecil, sifat optik intrinsik, luas permukaan spesifik yang besar, dan kemudahan penggunaan. nGO, yang juga diberi label sebagai *graphene quantum dots* (GQDs) dapat disintesis dengan dua pendekatan yang berbeda, yaitu *top-down* dan *bottom-up*. Biasanya metode *top-down* terdiri dari “pemotongan” *graphene* dalam potongan-potongan yang sangat kecil, di bawah 100 nm pada dimensi lateral, yang dapat dilakukan dalam ablasi kimiawi, oksidasi elektrokimia, atau perawatan plasma oksigen. Sedangkan metode *bottom-up* melibatkan sintesis nGO melalui prekursor molekuler (Gonçalves *et al.*, 2014).

2.3. Kalsium Oksida

Kalsium oksida (CaO) merupakan katalis basa heterogen karena sifat kebiasaannya yang tinggi, tidak beracun, stabil pada suhu tinggi, tidak bersifat korosif, dan mudah disintesis dari bahan limbah alami seperti cangkang telur ayam. Cangkang telur ayam negeri terdiri dari 94% kalsium karbonat (CaCO_3), 1% magnesium karbonat (MgCO_3), 1% kalsium fosfat (CaPO_4), dan 4% bahan organik lainnya. Tingginya kandungan CaCO_3 memungkinkan untuk menghasilkan katalis heterogen kalsium oksida dari cangkang telur. (Sisca dan Rahayuningsih, 2022). Nanopartikel CaO dapat disintesis dengan metode sol-gel karena metode tersebut lebih sederhana, tidak memakan waktu lama, dan memerlukan biaya yang lebih sedikit dibandingkan metode lainnya (Habte *et al.*, 2019). Umumnya CaO berupa serbuk berwarna putih atau putih keabu-abuan yang tidak berbau. Memiliki kelarutan dalam air yaitu 1 g/840 ml pada 25 °C, 1 g/1740 ml pada 100 °C. Larut dalam gliserin, namun tidak dapat larut dalam alkohol (Fitriyani, 2019).

2.4. Sulfur

Sulfur atau belerang pada tabel periodik terletak pada periode 3 golongan VIA atau golongan 16 bersama dengan unsur oksigen (O), selenium (Se), tellurium (Te), dan polonium (Po) dan disebut sebagai golongan kalkogen. Sulfur merupakan unsur non logam multivalen, tidak berasa, dan tidak berbau. Sulfur berpartisipasi dalam berbagai proses geokimia dan biokimia karena banyaknya valensi sulfur, mulai dari S^{-2} hingga S^{+6} . Seperti kalkogen lainnya, sulfur umumnya memiliki keadaan valensi -2 (S^{-2}). Namun, ketika semua elektron di kulit terluar atom sulfur dihilangkan, S^{+6} , yang dapat berikatan dengan oksigen untuk menciptakan kompleks anion SO_4^{2-} yang disebut sulfat. Sulfur juga bisa memiliki keadaan valensi menengah +4 dan +2 dan mungkin juga dalam keadaan *native state* (S^0). Sulfur dapat ditemukan di manapun, termasuk dalam mantel bumi, sebagai mineral sulfida atau sulfat dalam kerak batuan, sebagai belerang asli di sekitar gunung berapi yang aktif maupun tidak aktif, dan di atmosfer. (Mandeville, 2010). Sulfur dapat bertindak sebagai antimikroba seperti kuman dan bakteri tertentu yang menyerang.

2.5. Fotokatalis

Fotokatalis merupakan kombinasi antara proses fotokimia dan katalis, yaitu proses sintesis kimiawi yang mempercepat reaksi kimia dengan memanfaatkan foton sebagai energi pemicunya. Katalis memiliki kemampuan mengabsorpsi foton sehingga dapat mempercepat laju reaksi hingga mencapai keadaan kesetimbangan (Ramadhani dan Muldarisnur, 2024). Reaksi fotokatalis dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya luas permukaan partikel, struktur kristal, fasa komposisi, ukuran partikel, dan energi celah pita atau energi *band gap*. Energi minimum yang diperlukan untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi disebut energi *band gap*, atau juga dikenal sebagai energi celah pita. Jika suatu semikonduktor terkena energi yang sesuai dengan energi celah pita, maka elektronnya akan berpindah dari pita valensi ke pita konduksi (Rahmayanti dkk.,

2023). Pita valensi adalah tingkat energi yang diisi oleh elektron dengan keadaan energi yang rendah. Sedangkan pita konduksi adalah tingkat energi yang tidak terisi oleh elektron atau disebut *holes*. Ketika potensial elektroda tercukupi, elektron dapat tereksitasi ke pita konduksi untuk mengisi *holes* sehingga menghasilkan arus. Besarnya nilai *band gap* dipengaruhi oleh banyaknya elektron yang membentuk sebuah kelompok pada suatu senyawa (Sucahya dkk., 2016).

2.6. Sinar Tampak (*Visible*)

Cahaya merupakan suatu bentuk energi radiasi yang memiliki sifat sebagai gelombang dan partikel. Sifat gelombangnya dapat diamati melalui pembiasan dan pemantulan cahaya oleh suatu media, sedangkan sifat partikelnya dapat diamati melalui efek fotolistrik. Cahaya tampak atau sinar *visible* merupakan bagian kecil dari seluruh radiasi elektromagnetik. Spektrum sinar tampak terdiri dari komponen-komponen merah, jingga, kuning, hijau, biru, dan ungu, di mana masing-masing warna memiliki panjang gelombang yang berbeda. Panjang gelombang diukur dalam satuan Angstrom, yang berarti $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$. Sinar tampak adalah energi elektromagnetik yang memiliki spektrum frekuensi dengan panjang gelombang antara 380 nm sampai 780 nm (Faridah, 2018).

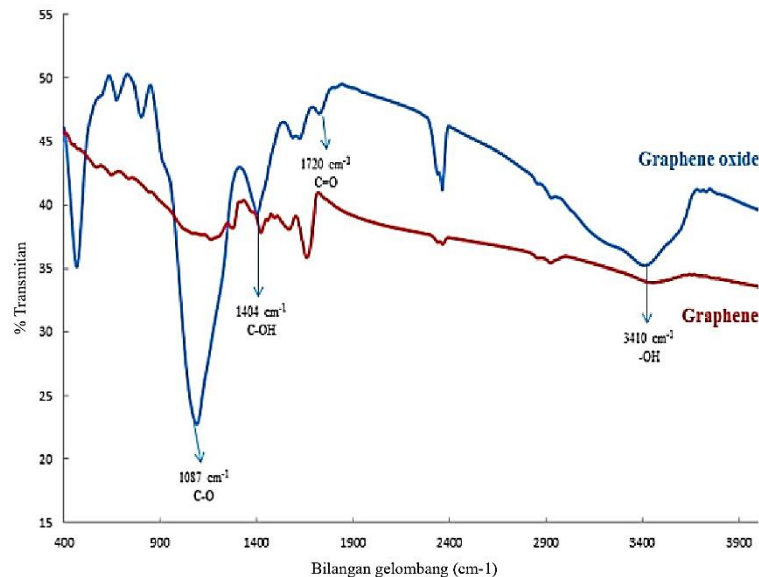
2.7. Instrumentasi

2.7.1. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectrometry adalah instrumen yang digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi, mengidentifikasi senyawa, dan menganalisis campuran dari sampel yang dianalisis tanpa merusak sampel. Daerah IR memiliki panjang gelombang 14000 cm^{-1} hingga 10 cm^{-1} . Daerah IR dibagi menjadi tiga daerah berdasarkan pada panjang gelombangnya, yaitu daerah IR dekat ($14000 - 4000 \text{ cm}^{-1}$) yang peka terhadap vibrasi *overtone*, daerah IR sedang

($4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$) berikatan dengan transisi energi vibrasi molekul yang menunjukkan informasi mengenai gugus fungsi molekul tersebut, dan daerah IR jauh ($400 - 10 \text{ cm}^{-1}$) yang memungkinkan analisis molekul yang mengandung atom berat seperti senyawa anorganik yang membutuhkan teknik khusus. Umumnya analisis senyawa dilakukan pada daerah IR sedang (Sari dkk., 2018).

Spektrum FTIR merupakan hasil interaksi antara senyawa kimia dalam matriks sampel yang kompleks, sangat kaya dengan informasi struktur molekular dengan serangkaian pita serapan yang spesifik untuk masing-masing molekul. Oleh karena itu, spektrum FTIR dapat digunakan untuk membedakan bahan baku yang memiliki karakteristik yang mirip (Nurfitriyana dkk., 2022). Adapun prinsip kerja FTIR adalah interaksi antara energi dan materi. IR melewati celah ke sampel yang mengontrol jumlah energi yang diberikan pada sampel. Kemudian beberapa IR diserap oleh sampel dan yang lainnya ditransmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar IR lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim ke komputer untuk direkam dalam bentuk puncak-puncak (Nicolet, 2021).



Gambar 3. Spektrum FTIR dari *graphene* dan *graphene oxide* (GO) (Çiplak *et al.*, 2014).

Pada Gambar 3 menunjukkan spektrum FTIR dari *graphene* dan GO. Pada spektrum tersebut, karena oksidasi yang ekstrensif, GO memiliki pita vibrasi peregangan O – H yang kuat dan luas pada 3410 cm^{-1} , pita vibrasi karboksil C=O

pada 1721 cm^{-1} , pita vibrasi deformasi O – H pada 1410 cm^{-1} , dan pita vibrasi peregangan C – O pada 1087 cm^{-1} . Hasil ini menunjukkan bahwa GO berhasil disintesis (Çiplak *et al.*, 2014).

2.7.2. X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan instrumen yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal, tingkat kristalinitas, ukuran kristal, dan fasa kristalin. XRD dapat memperoleh informasi dalam skala atomik, baik pada material kristal maupun material non kristal (amorf). XRD dapat menentukan dan mengkarakterisasi posisi atom, susunannya dalam setiap sel satuan, dan jarak antar bidang atom. XRD merupakan teknik pengujian non-destruktif, yang dapat digunakan untuk menganalisis berbagai macam bahan termasuk mineral, polimer, plastik, logam, semikonduktor, keramik, dan sel surya (Ali *et al.*, 2022). Prinsip kerja XRD adalah sinar-X yang terdifraksi dibentuk oleh atom-atom kristal dari material tersebut secara berurutan. Pola difraksi yang terbentuk menunjukkan karakteristik dari sampel dengan munculnya berbagai sudut (Lestari dan Sartika, 2018). Prinsip kerja XRD didasarkan pada hukum Bragg yang dituliskan dengan persamaan sebagai berikut.

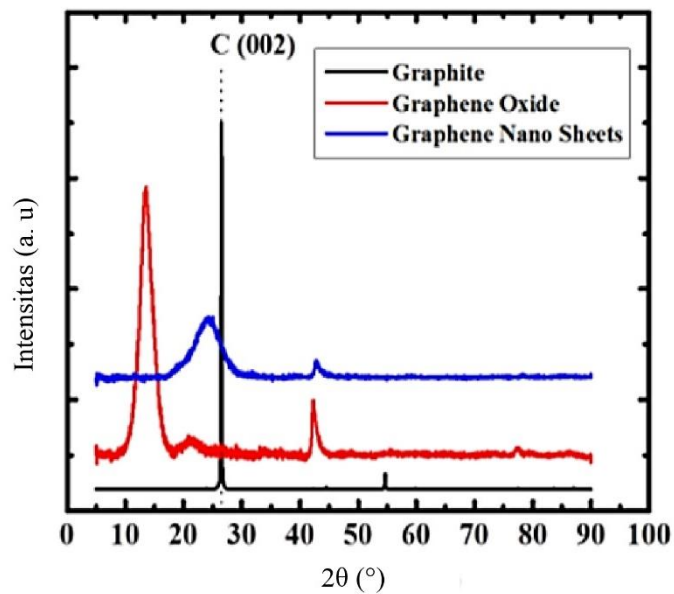
$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

Di mana n adalah orde refleksi yang berupa bilangan bulat (1, 2, 3, ..), λ adalah panjang gelombang sinar-X, d adalah jarak antar lapisan, dan θ adalah sudut antara bidang dengan sinar datang (Ali *et al.*, 2022).

Pengukuran ukuran kristal didasarkan pada persamaan Debye-Scherrer yang dituliskan dengan persamaan sebagai berikut.

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

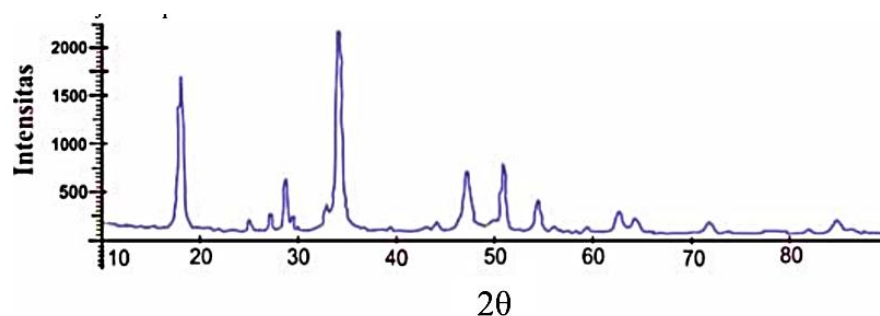
Di mana D , k , β , θ , dan λ masing-masing yaitu ukuran kristalit, konstanta Scherrer (0,94), pelebaran puncak pada nilai FWHM, sudut Bragg, dan panjang gelombang radiasi sinar-X (Nazim *et al.*, 2022). Adapun difraktogram dari grafit, *graphene oxide*, dan *graphene nano sheets* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Difraktogram grafit, *graphene oxide*, dan *graphene nano sheets* (Siburian *et al.*, 2018).

Pada Gambar 4, difraktogram grafit menunjukkan puncak yang tajam pada $2\theta = 26,5^\circ$ yang menunjukkan struktur kristal khas dari grafit. Difraktogram GO juga menunjukkan puncak difraksi yang lebar pada $2\theta = 11,6^\circ$ dengan jarak antar bidang (d) yaitu $7,5 \text{ \AA}$. Puncak-puncak kecil yang teramati pada $2\theta = 20,1^\circ$, $23,9^\circ$, dan $26,4^\circ$ mengindikasikan bahwa GO tidak sepenuhnya saling mengikat atom oksigen. Difraktogram *graphene nano sheets* menunjukkan bahwa struktur yang terbentuk yaitu kristal dan amorf (Siburian *et al.*, 2018).

Adapun difraktogram XRD kalsium oksida (CaO) dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Difraktogram kalsium oksida (CaO) (Sunardi *et al.*, 2020).

Pada Gambar 5 difraktogram CaO menunjukkan puncak utama pada $2\theta = 34,14^\circ$. Selain itu, terdapat pula puncak-puncak yang muncul pada $2\theta = 18,06^\circ$; $25,06^\circ$;

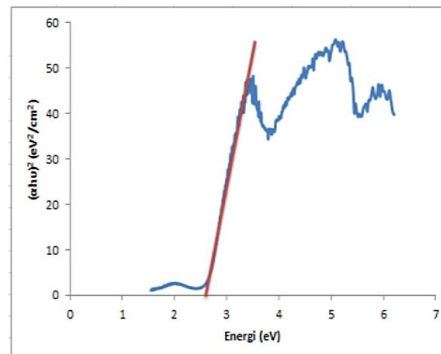
27,21°; 28,74°; 29,42°; 32,84°; 35,25°; 44,06°; 47,19°; 49,93°; 50,84°; 54,35°; 62,60°; 64,28°; 71,76°; dan 84,70°. Munculnya sebaran puncak kristal pada difraktogram CaO menunjukkan nanopartikel CaO yang dihasilkan memiliki struktur polikristalin (Sunardi *et al.*, 2020).

2.7.3. *Ultra Violet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)*

UV-Vis DRS menggunakan metode DRS yang didasarkan pada pengukuran intensitas UV-Vis yang direfleksikan oleh sampel. Jika material disinari dengan gelombang elektromagnetik maka foton akan diserap oleh elektron dalam material. Ketika cahaya mengenai suatu bahan maka cahaya tersebut akan diserap, dipantulkan, dan ditransmisikan (Aprina, 2023). Hasil karakterisasi UV-Vis DRS memberikan informasi berupa spektrum panjang gelombang terhadap reflektansi R (%). Energi celah pita diperoleh dengan mengubah besaran R (%) ke faktor Kulbeka-Munk $F(R)$, yang merupakan instrumentasi spectrometer-difusi. Ini diperoleh dengan menggunakan metode sederhana yang didasarkan pada teori Kulbeka-Munk dan metode plot Tauc. Hubungan antara energi foton sinar pengekstasi dan energi celah pita (*band gap energy*, E_g) diberikan oleh persamaan Tauc sebagai berikut.

$$(\alpha_0 h\nu)^2 = A(h\nu - E_g)$$

Di mana α_0 adalah koefisien absorpsi linier; $h\nu$ adalah energi foton yang datang; A adalah parameter lebar sisi; dan E_g adalah energi celah pita optis. Koefisien absorpsi pada sisi energi yang lebih tinggi dapat digunakan untuk memperoleh energi celah pita optis E_g dengan mengekstrapolasi $(\alpha_0 h\nu)^n$ yang telah diplot sebagai suatu garis lurus terhadap perpotongan dengan sumbu $h\nu$ axis [$(\alpha_0 h\nu)^n = 0$]. Nilai n dapat diasumsikan bergantung pada sifat alamiah transisi elektronik yang bertanggung jawab untuk absorpsi. Nilai n setara $\frac{1}{2}$ dan 2 masing-masing untuk celah pita tidak langsung (*indirect*) dan langsung (*direct*) (Jumardin dkk., 2022). Adapun contoh grafik dari nilai *band-gap* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik nilai *band-gap* $\text{LaCr}_{0.99}\text{Mo}_{0.01}\text{O}_3$ (Situmeang *et al.*, 2024)

Gambar 6 menunjukkan data yang diperoleh dari spektroskopi UV-Vis DRS menggunakan persamaan Kubelka-Munk. Dengan mengekstrapolasi kurva yang diperoleh ke arah sumbu x berdasarkan korelasi linier terbaik dengan R^2 mendekati 1 (Situmeang *et al.*, 2024)

2.8. Bakteri

Sebagian besar bakteri adalah organisme bersel tunggal (uniseluler) dengan bentuk bulat, batang, spiral, atau beberapa jenis lainnya membentuk filamen. Bakteri sebagian besar sangat kecil sehingga hanya dapat dilihat dengan mikroskop cahaya dengan perbesaran tinggi. Bakteri tidak memiliki inti sel karena materi genetiknya tidak terbungkus dalam membran inti khusus, sehingga sel bakteri disebut prokariota. Bakteri juga tidak memiliki struktur intraseluler tertutup membran yang biasa ditemukan pada sel lainnya (Luqman dkk., 2021). Banyak bakteri mengambil nutrisi dari lingkungannya, tetapi beberapa bakteri dapat menghasilkan nutrisi mereka sendiri melalui fotosintesis atau proses sintesis lainnya. Bakteri ada yang motil (dapat bergerak) dan non motil. Bakteri tersebar luas di alam, seperti dalam materi yang membusuk dan di perairan. Beberapa juga dapat menyebabkan penyakit (Black and Black, 2015).

2.8.1. Antibakteri

Antibakteri adalah senyawa yang memiliki kemampuan untuk menghancurkan bakteri, terutama bakteri patogen. Zat yang digunakan untuk membunuh mikroorganisme penyebab infeksi pada manusia, hewan, dan tumbuhan harus bersifat toksisitas selektif, yang berarti bahwa zat atau obat tersebut sangat toksik terhadap mikroorganisme penyebab penyakit tetapi relatif tidak toksik terhadap jasad inang atau hospes. Ada dua jenis antibakteri, yaitu bakteriostatika dan bakteriosida. Bakteriostatika adalah zat atau bahan yang dapat menghambat atau menghentikan pertumbuhan bakteri tetapi tidak menyebabkan kematian seluruh bakteri. Sedangkan, bakteriosida adalah zat atau bahan yang dapat membunuh mikroorganisme tetapi tidak menyebabkan lisis atau pecahnya sel bakteri (Djide dan Sartini, 2008).

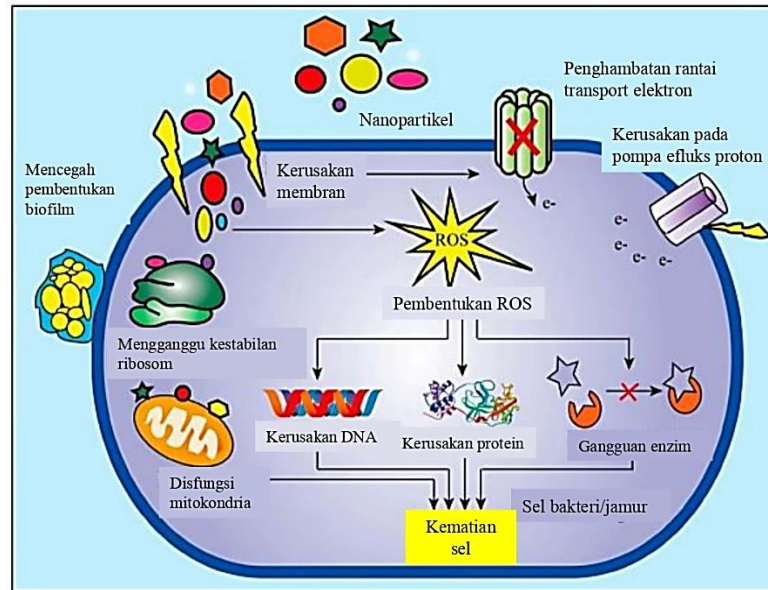
Menurut Talaro (2008), terdapat empat mekanisme kerja antibakteri, yaitu:

- a. Menghambat sintesis dinding sel, dengan cara menghambat kinerja enzim yang berperan dalam sintesis dinding sel.
- b. Mengganggu atau merusak fungsi membrane plasma, dengan cara berikatan dengan membran plasma kemudian membuka membran plasma sehingga membran plasma menjadi bocor.
- c. Mengganggu sintesis asam nukleat, dengan menghentikan sintesis nukleotida, menghambat replikasi DNA, dan menghentikan transkripsi.
- d. Menghentikan translasi, dengan cara berikatan pada sub unit 30S ribosom bakteri (beberapa terikat juga pada sub unit 50S ribosom) dan menghambat translokasi peptidil-tRNA dari situs A ke situs P, sehingga menyebabkan kesalahan pembacaan mRNA dan mengakibatkan bakteri tidak mampu mensintesis protein vital untuk pertumbuhannya.

Menurut Pancu *et al.* (2021), antibakteri diklasifikasikan berdasarkan mekanisme kerja antimikrobanya. Adapun klasifikasi beberapa jenis antibakteri dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi antibakteri berdasarkan mekanisme kerjanya

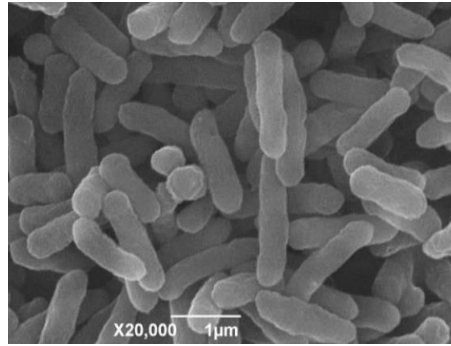
Kelas antibiotic		Target	Contoh antibiotic
β-lactams	Penicillins	Sintesis dinding sel	Penicillin G dan Penicillin V, Methicillin, Oxacillin
	Cephalo- sporins	Sintesis dinding sel	Cephalothin, Cefamandole, Cefotaxime, Cefpirome, Ceftaroline,
	Carba- penems	Sintesis dinding sel	Imipenem, Meropenem, Doripenem
	Mono- bactams	Sintesis dinding sel	Aztreonam
Macrolides		Sintesis protein – menghambat subunit 50s	Erythromycin, Azithromycin, Clarithromycin
Chloramphenicol		Sintesis protein – menghambat subunit 50s	
Tetracyclines		Sintesis protein – menghambat subunit 30s	Tetracycline, Chlortetracycline, Oxytetracycline
Aminoglycosides		Sintesis protein – menghambat subunit 30s	Streptomycin, Neomycin, Kanamycin
Sulfonamides		Sintesis asam folat	Prontosil, Sulfonamide, Sulfanilamid
Quinolones		Sintesis DNA	Nalidixic Acid, Ciprofloxacin, Norfloxacin
Isoniazid		Sintesis asam mikolat	
Ansamycin Polymycins		Sintesis RNA Struktur membran sitoplasma	Rifampin
Daptomycin		Struktur membran sitoplasma	



Gambar 7. Skema mekanisme aksi antimikroba dari nanopartikel (Das and Patra, 2023)

2.8.2. *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis adalah bakteri Gram positif berbentuk batang, bersel satu, bersifat anaerob fakultatif, katalase positif, serta motil dengan menggunakan flagella. *B. subtilis* memiliki ukuran $0,5 - 2,5 \mu\text{m} \times 1,2 - 10 \mu\text{m}$ dan tumbuh pada suhu optimum sekitar $25 - 35^\circ\text{C}$. Bakteri ini tidak dapat menghidrolisis ornitin, sitrat dan arganin, tidak mampu memfermentasi asam campuran melalui uji *Methyl Red* (MR) dan *Voges Proskauer* (VP), serta tidak mampu menghasilkan indol, H_2S , lisin dekarboksilase, dan enzim oksidase. Namun, bakteri *B. subtilis* memiliki kemampuan untuk menghasilkan enzim gelatinase serta mampu memfermentasi sukrosa dan glukosa (Maier, 2017). *B. subtilis* biasanya ditemukan di tanah, air, dan udara. Jumlah bakteri *B. subtilis* yang tinggi dalam usus dapat menyebabkan diare yang ditularkan melalui kontaminasi makanan (Zaini dkk., 2024). Bakteri *B. subtilis* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Gambar SEM bakteri *Bacillus subtilis* (Sandy, 2010)

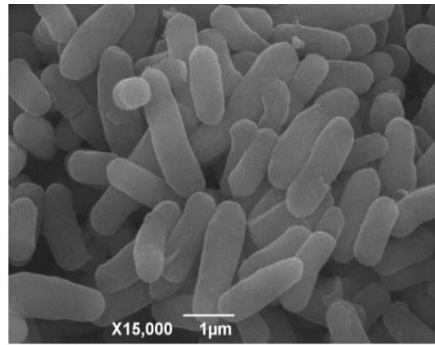
Menurut Garrity *et al.* (2004), klasifikasi *B. subtilis* adalah sebagai berikut.

Kingdom	: <i>Bacteria</i>
Filum	: <i>Firmicutes</i>
Kelas	: <i>Bacilli</i>
Ordo	: <i>Bacillales</i>
Famili	: <i>Bacillaceae</i>
Genus	: <i>Bacillus</i>
Spesies	: <i>Bacillus subtilis</i>

2.8.3. *Escherichia coli*

Escherichia coli merupakan bakteri Gram negatif berbentuk batang dengan ukuran berkisar antara $1,0-1,5 \mu\text{m} \times 2,0-6,0 \mu\text{m}$, tidak motil atau motil dengan flagella, dan dapat tumbuh dengan atau tanpa oksigen, Selain itu, bakteri ini dapat bersifat fakultatif anaerobik dan dapat bertahan hidup di lingkungan yang kekurangan nutrisi. Karakteristik biokimia bakteri *E. coli* lainnya termasuk kemampuan untuk menghasilkan indol, kemampuan untuk memfermentasi sitrat yang lebih rendah, dan bersifat negatif pada analisis urease. *E. coli* umumnya bersifat tidak berbahaya dan hidup dalam pencernaan manusia. Perpindahan gen (transformasi), perpindahan plasmid (konjugasi), atau perpindahan gen melalui bakteriofage (transduksi) dari mikroorganisme lain menyebabkan *E. coli* yang awalnya tidak patogen berubah menjadi bakteri patogen. Penyakit yang diakibatkan *E. coli* patogen berbeda tergantung virulensi dan mekanisme

patogenesisnya. Berdasarkan patogenitasnya, *E. coli* dibedakan menjadi enam jenis, yaitu enterotoksigenik *E. coli* (ETEC), enteropatogenik *E. coli* (EPEC), enterohemogarik *E. coli* (EHEC), enteroinvasif *E. coli* (EIEC), enteroagregatif *E. coli* (EAEC), dan difusi adheren *E. coli* (DAEC) (Rahayu dkk., 2018). Bakteri *E. coli* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Gambar SEM bakteri *Escherichia coli* (Sandy, 2010)

Menurut Allung (2019), klasifikasi dari bakteri *E coli* adalah sebagai berikut.

Kingdom	: <i>Bacteria</i>
Filum	: <i>Proteobacteria</i>
Kelas	: <i>Gamma proteobacteria</i>
Ordo	: <i>Enterobacteriales</i>
Famili	: <i>Enterobacteriaceae</i>
Genus	: <i>Escherichia</i>
Spesies	: <i>Escherichia coli</i>

2.9. Jamur

Jamur adalah mikroorganisme yang sangat sederhana, berinti, berspora, tidak memiliki klorofil, berupa sel atau benang bercabang-cabang dengan dinding dari selulosa atau kitin atau keduanya. Jamur dapat berkembang biak secara seksual dan asessual. Jamur dibedakan menjadi dua golongan, yaitu jamur uniseluler disebut khamir contohnya *S.cerevisiae* dan jamur multiseluler disebut kapang contohnya *A. fumigatus*. Selain itu, jamur juga diklasifikasikan menjadi dua golongan berdasarkan ukurannya, yaitu mikrofungi dan makrofungi. Mikrofungi

adalah jamur yang strukturnya hanya dapat dilihat dengan mikroskop, sedangkan makrofungi adalah jamur yang membentuk tubuh buah yang terbagi lagi menjadi jamur yang dapat dimakan dan jamur beracun (Suryani dkk., 2020).

2.9.1. Antijamur

Antijamur atau antifungi merupakan suatu zat yang dapat menghambat pertumbuhan jamur. Idealnya, agen antijamur memiliki toksisitas selektif, yang berarti bahwa bahan tersebut berbahaya bagi parasite tetapi tidak membahayakan inang. Seringkali toksisitas lebih bersifat relatif. Artinya, suatu agen antijamur dapat merusak parasit pada konsentrasi tertentu tetapi tidak memengaruhi inangnya. Berdasarkan pada sifat toksisitasnya, antijamur dibedakan menjadi dua, yaitu fungistatik dan fungisida. Fungistatik adalah antijamur yang mampu menghambat pertumbuhan jamur tanpa mematikan jamur tersebut. Sedangkan fungisida merupakan antijamur yang mampu menghambat dan membunuh jamur tersebut (Setiabudy dan Gun, 2000).

Menurut Slavin and Bach (2022), mekanisme kerusakan sel jamur adalah sebagai berikut.

- a. Paparan nanopartikel menyebabkan perubahan pada dinding sel jamur, termasuk penyusutan permukaan, agregasi sel, pembentukan lubang, dan kehilangan struktur intraseluler. Kerusakan pada membran dalam juga terjadi, dengan perubahan posisi organel, seperti peningkatan jumlah vesikel dan vakuola, serta penurunan konten sitoplasma.
- b. Nanopartikel dapat menyebabkan endositosis fase cair yang memungkinkan untuk masuk ke dalam sel tanpa merusak dinding sel, yang dapat menyebabkan kerusakan pada DNA, termasuk kondensasi dan fragmentasi pada inti jamur.
- c. Pelepasan ion dari nanopartikel dapat berinteraksi dengan biomolekul pada jamur dan meningkatkan aktivitas antimikroba.

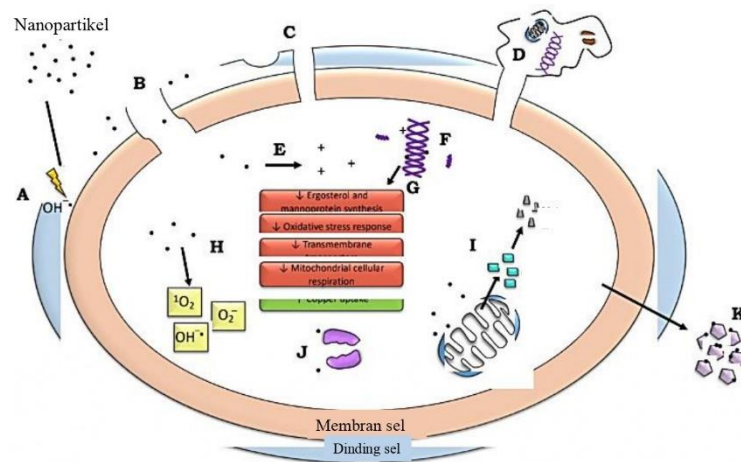
- d. Nanopartikel dapat mempengaruhi pertumbuhan hifa dan spora, seperti menghambat pertumbuhan miselium. Pembentukan biofilm yang melindungi jamur dapat terganggu pembentukannya karena hifa telah dirusak.
- e. Pembentukan *Reactive Oxygen Species* (ROS) merupakan produk samping metabolik seperti superoksida ($O_2^{\bullet-}$), hidroksil radikal ($\bullet OH$), dan hidrogen peroksida (H_2O_2) yang dapat menyebabkan kerusakan sel. Nanopartikel logam dapat menghasilkan ROS saat terpapar cahaya, yang dapat menyebabkan kerusakan lipid, meningkatkan stres oksidatif, dan menyebabkan kematian sel. ROS dapat mempengaruhi fungsi kerja mitokondria yang terkait dengan apoptosis (kematian sel terprogram).

Antijamur diklasifikasikan berdasarkan mekanisme kerja antimikrobanya. Adapun klasifikasi beberapa jenis antijamur dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Klasifikasi antijamur berdasarkan mekanisme kerjanya

Kelas	Contoh antijamur	Mekanisme kerja
Allylamines	Terbinafine, Naftifine	Menghambat epoksidase squalene, bertanggungjawab atas konversi squalene menjadi ergosterol
Azoles	Clotrimazole, Ketokonazole, Fluconazole, Itraconazole	Menghambat demetilasi C14- α lanosterol, yang menghambat sintesis ergosterol
Echinocandins	Caspofungin, Micafungin, Anidulafungin	Menghambat sintesis β -(1,3)-D-glukan, yang mengganggu sintesis dinding sel
Polyenes	Amphotericin B, Nystatin, Candicidin	Mengikat ergosterol, membentuk pori dan menyebabkan kebocoran, menghambat mekanisme transportasi yang tepat
Antimetabolites	Flucytosine	Analog pirimidin, mengganggu sintesis asam nukleat
Triterpenoids	Ibrexafungerp	Menghambat sintesis β -(1,3)-D-glukan, yang mengganggu sintesis dinding sel

Adapun mekanisme nanopartikel di tingkat seluler yang menyebabkan kerusakan pada sel jamur dapat dilihat pada Gambar 10.

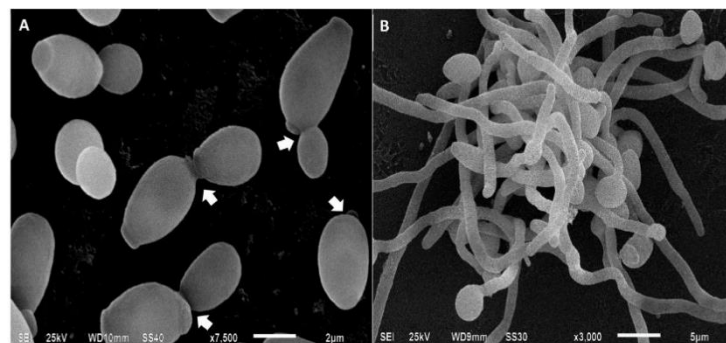


Gambar 10. Mekanisme nanopartikel di tingkat seluler yang menyebabkan kerusakan pada sel jamur, meliputi (a) peroksidasi lipid yang dipicu oleh ROS, (b) penempelan, penetrasi, dan kerusakan pada dinding dan membran sel, (c) pembentukan lubang dan pori, (d) kebocoran yang menyebabkan keluarnya DNA dan organel dari dalam sel, (e) pelepasan ion, (f) interkalasi DNA yang menyebabkan kondensasi dan fragmentasi DNA, (g) perubahan ekspresi gen, (h) produksi ROS, (i) pelepasan sitokrom C dari mitokondria ke sitoplasma yang meningkatkan kadar metakaspase dan memicu kaskade apoptosis, (j) depolimerisasi ribosom, dan (k) penempelan ke EPS (*extracellular polymeric substance*) sehingga menghambat pembentukan biofilm.

2.9.2. *Candida albicans*

Candida albicans adalah jamur yang berbentuk sel ragi lonjong dan bertunas dengan ukuran $2-3 \times 4-6 \mu\text{m}$ yang menghasilkan pseudomiselium dalam biakan, jaringan, dan eksudat (Brooks dkk., 2004). *C. albicans* memiliki bentuk bulat, lonjong, atau bulat lonjong secara makroskopis. Pada medium padat, koloninya sedikit menonjol dari permukaan medium, dengan permukaan halus, licin atau berlipat-lipat, berwarna putih kekuningan, dan berbau ragi. Umur koloni jamur ini

menentukan ukurannya. Pada tepi koloni dapat dilihat hifa semu yang tampak seperti benangbenang halus yang masuk ke dalam medium (Indrayati dan Sari, 2018). *C. albicans* merupakan flora normal dan komensal yang berperan dalam menjaga keseimbangan mikroorganisme dalam tubuh manusia yang banyak ditemukan pada saluran pencernaan, mulut, vagina, rektum (saluran lubang anus), dan bagian tubuh lainnya yang bersuhu hangat. Di tempat-tempat ini, *C. albicans* dapat mendominasi dan menyebabkan penyakit (Kristianingsih dkk., 2023). Adapun struktur dinding jamur dan bentuk mikroskopis *C. albicans* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Sel *C. albicans* yang dianalisis dengan SEM (a) yeast yang sedang bertunas (tanda panah menunjukkan tempat pembelahan sel antara sel induk dan sel anak) dan (b) miselia *C. albicans* yang terlibat dalam jaringan invasi selama proses infeksi (Macias-Paz *et al.*, 2023)

Kemampuan *C. albicans* untuk menginfeksi inangnya dipengaruhi oleh beberapa faktor dari virulensi dan kesehatan fisik. Faktor virulensi termasuk transisi morfologi antara bentuk ragi dan hifa, thigmotaksis, pembentukan biofilm, peralihan fenotip, sekresi enzim hidrolitik, serta ekspresi adhesin dan invasi pada permukaan sel. Selain itu kesehatan fisik termasuk adaptasi cepat terhadap perubahan pH lingkungan, fleksibilitas metabolisme, kemampuan respons stres yang kuat, dan sistem akuisi nutrisi yang kuat (Mayer *et al.*, 2013).

Adapun klasifikasi *C. albicans* menurut Maharani (2012) adalah sebagai berikut.

Kingdom : Fungi
 Phylum : *Ascomycota*
 Subphylum : *Saccharomycotina*

Kelas	: <i>Saccharomycetes</i>
Ordo	: <i>Saccharomycetales</i>
Famili	: <i>Saccharomycetaceae</i>
Genus	: <i>Candida</i>
Spesies	: <i>Candida albicans</i>
Sinonim	: <i>Candida stellatoidea</i> dan <i>Oidium albicans</i>

2.10. Difusi Sumuran

Metode difusi sumuran adalah teknik uji aktivitas antimikroba yang dilakukan dengan membuat lubang secara tegak lurus pada media agar padat yang telah diinokulasi dengan mikroba yang akan diuji. Jumlah dan letak lubang sumuran dapat disesuaikan dengan tujuan penelitian, kemudian lubang sumuran diisi dengan mikroba yang akan diuji. Setelah itu, dilakukan inkubasi dan diamati pertumbuhan mikroba dengan melihat adanya zona hambatan (*clear zone*) di sekitar lubang (Nurhayati dkk., 2020).

Adapun prinsip dari metode difusi sumuran yaitu permukaan lempeng agar diinokulasikan dengan menyebarkan sejumlah inokulum mikroba ke seluruh permukaan agar. Kemudian, dibuat lubang secara aseptik dengan diameter 6 hingga 8 mm dengan penggerek gabus steril atau ujungnya, dan volume (20 – 100 mL) agen antimikroba pada konsentrasi yang diinginkan dimasukkan ke dalam sumur. Kemudian, lempeng agar diinkubasi dalam kondisi yang sesuai tergantung mikroorganisme uji. Agen antimikroba berdifusi dalam media agar dan menghambat pertumbuhan strain mikroba yang diuji (Balouiri *et al.*, 2016). Pada metode ini, akan terbentuk zona hambat yang diamati sebagai daerah bening di sekeliling lubang sumuran yang telah berisi ekstrak antimikroba yang digunakan. Zona hambat yang terbentuk memiliki diameter yang dapat menentukan aktivitas antibakteri dan antijamur yang sedang diuji. Semakin besar nilai zona hambat yang terbentuk, maka semakin rendah nilai konsentrasi hambat minimum atau *minimum inhibitory concentration* (MIC) senyawa tersebut (Sundari, 2022).

Dalam uji aktivitas antibakteri dan antijamur umumnya dapat menggunakan metode difusi cakram (*disc diffusion*) Kirby-Bauer dan difusi sumuran. Dalam uji antimikroba, metode difusi cakram memiliki tingkat kesesuaian antara 82 – 100 %, tergantung pada jenis antibiotik atau antimikroba yang digunakan. Namun, metode difusi cakram memiliki kekurangan pada tingkat osmolaritas larutan uji yang rendah dan konsentrasi ekstrak yang digunakan sedikit. Menurut Nurhayati dkk. (2020), menemukan bahwa metode difusi sumuran memiliki aktivitas antimikroba yang lebih tinggi dibandingkan difusi cakram. Keunggulan metode ini meliputi lebih mudah mengukur luas zona hambat yang terbentuk karena aktivitas mikroba tidak hanya di permukaan atas media agar tetapi juga sampai ke bawah. Difusi sumuran juga dapat berlangsung pada waktu yang lebih cepat karena antimikroba langsung berdifusi pada media, tidak harus melalui kertas cakram yang harus direndam terlebih dahulu selama 24 jam dalam larutan antibiotik. Namun, metode ini memiliki kelemahan, seperti terdapatnya sisa-sisa agar pada suatu media yang digunakan untuk membuat sumuran. Selain itu, kemungkinan besar media agar dapat retak atau pecah di sekitar lubang sumuran sehingga dapat mengganggu proses penyerapan antibiotik ke dalam media, yang mempengaruhi terbentuknya diameter zona bening saat melakukan uji sensitivitas (Rahman dkk., 2022). Adapun persamaan yang digunakan untuk menentukan diameter zona hambat uji metode difusi sumuran adalah sebagai berikut.

$$D = \frac{(D_v - D_s) + (D_h - D_s)}{2}$$

Di mana D adalah diameter zona hambat, D_v adalah diameter zona vertikal, D_h adalah diameter zona horizontal, dan D_s adalah diameter sumur.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober tahun 2024 hingga April tahun 2025 yang berlokasi di Laboratorium Anorganik-Fisik Jurusan Kimia dan Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Universitas Lampung. Analisis XRD dan FTIR dilakukan di Universitas Negeri Padang (UNP), dan analisis nilai *band gap* menggunakan UV-Vis DRS dilakukan di Universitas Indonesia (UI)

3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas beaker (100 mL – 1000 mL), labu ukur (100 mL – 1000 mL), gelas ukur (10 mL – 100 mL), Erlenmeyer (250 mL), pipet volume (25 mL), spin bar, termometer, batang pengaduk, pipet tetes, mortar, alu, cawan krusibel, spatula, tabung reaksi, rak tabung reaksi, desikator, *icebath*, pH meter universal, corong gelas, *hotplate stirrer* (CB162 StuartTM), oven, *furnace* (*Nabertherm Pre-heating Furnace C550*), ayakan 100 μ m, inkubator, aluminium foil, plastik wrap, cawan petri, pinset, bunsen, jarum ose, botol vial, *stopwatch*, lampu *visible*, neraca analitik (*Optika S.r.l* TS-B214Ai), tabung sentrifugasi, *centrifuge* (*HERMLE Labortechnik GmbH – Z 2017 A*), *Laminar Air Flow* (LAF), *Ultra Violet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS), Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu bonggol jagung, cangkang telur ayam negeri, akuades, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, HCl 1 M, NaOH 1 M, NaNO_3 , H_2SO_4 (95%), KMnO_4 , H_2O_2 (30%), HCl 5%, $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, thiourea, *Nutrient Agar* (NA), *Potato Dextrose Agar* (PDA), alkohol, *tissue*, kain kasa, plastik tahan panas, dan kapas.

3.3. Sintesis S/CaO/nGO

3.3.1. Karbonisasi Bonggol Jagung

Karbonisasi dimulai dengan mempersiapkan serbuk bonggol jagung. Pertama, limbah bonggol jagung dipotong menjadi bagian kecil dan digiling hingga menjadi serbuk halus. Setelah itu, serbuk tersebut dikeringkan dalam oven pada suhu $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam hingga warnanya berubah menjadi kuning kecoklatan. Selanjutnya, serbuk kering dimasukkan ke dalam cawan krusible dan ditutup kemudian dipanaskan dalam furnace pada suhu $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam dengan laju pemanasan $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Arang yang dihasilkan dari proses pembakaran kemudian didinginkan dalam desikator selama 15 menit dan dihaluskan menggunakan mortar untuk persiapan tahap berikutnya. Arang yang diperoleh selanjutnya akan disintesis untuk menghasilkan grafit (Haryono dkk., 2021)

3.3.2. Sintesis Grafit

Sebanyak 5 gram arang hasil karbonisasi bonggol jagung dicampurkan dengan 500 mL akuades dan diaduk selama 30 menit dengan kecepatan 600 rpm. Kemudian, 4 mL $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ditambahkan ke dalam larutan dan diaduk selama 15 menit. Larutan tersebut diubah hingga pH mencapai 2 dengan penambahan perlahan HCl 1 M. Proses pengadukan dilanjutkan selama 5 jam pada suhu $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Setelah itu, disaring endapan dan dibilas dengan akuades hingga pH menjadi netral. Endapan akhir yang didapatkan kemudian dikeringkan di oven pada suhu

50 °C semalaman, dilanjutkan pada suhu 110 °C selama 5 jam. Hasil sintesis berupa grafit yang selanjutnya akan disintesis untuk menghasilkan nGO (Sujiono *et al.*, 2020).

3.3.3. Sintesis Nano *Graphene Oxide* (nGO)

Sebanyak 5 gram grafit hasil sintesis dan 2,5 gram NaNO₃ dimasukkan ke dalam gelas beaker 1000 mL. Kemudian ditambahkan 120 mL H₂SO₄ 95% dan diaduk selama 10 menit dalam *icebath* hingga suhu berada di bawah 5 °C. Kemudian, ditambahkan 15 gram KMnO₄ dengan hati-hati sedikit demi sedikit dengan menjaga suhu campuran tetap di bawah 5 °C dan diaduk selama 3 jam. Setelah itu, campuran dikeluarkan dari *icebath* dan dilakukan pengadukan selama 1 jam. Dilakukan pemanasan dengan menambahkan akuades sedikit demi sedikit hingga volume mencapai 400 mL dengan suhu yang tidak boleh lebih dari 98 °C. Kemudian, ditambahkan 15 mL H₂O₂ 30% dan dilakukan pengadukan selama 5 menit. Larutan yang diperoleh kemudian disentrifugasi dan ditambahkan HCl 5% untuk menghilangkan ion sulfat dan dites menggunakan BaCl₂·2H₂O. Endapan berwarna keemasan yang diperoleh kemudian dibilas menggunakan akuades hingga mencapai pH netral. Hasil yang diperoleh kemudian didispersikan ke dalam 450 mL akuades dan disonikasi selama 2 jam. Setelah proses sonikasi, endapan dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C. Didapatkan hasil berupa nGO yang akan didoping dengan nanomaterial CaO dan S (Sujiono *et al.*, 2020).

3.3.4. Sintesis Kalsium Oksida (CaO)

Limbah cangkang telur dicuci terlebih dahulu hingga bersih dan dipisahkan dari membrannya. Selanjutnya, cangkang telur dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 2 jam. Cangkang telur yang telah kering dihaluskan menjadi bubuk dengan mortar dan alu lalu diayak dengan ayakan 100 µm. Sebanyak 12,5 gram tepung cangkang telur dilarutkan dalam 250 mL HCl 1M dengan suhu 90 °C

selama 2 jam. Setelah terbentuk sol, larutan didiamkan dan endapan dipisahkan dengan cara dekantasi sehingga diperoleh filtrat. Kemudian filtrat dipresipitasi dengan 250 mL NaOH 1 M yang ditambahkan secara perlahan (tetes demi tetes) pada suhu ruang. Gel yang terbentuk dibilas sebanyak 2 kali menggunakan akuades panas, pertama sebanyak 1000 mL dan yang kedua sebanyak 500 mL, untuk menghilangkan zat pengotor yang teradsorpsi. Larutan yang diperoleh kemudian diuji dengan 0,1 M AgNO₃ dan jika menghasilkan warna cokelat maka menunjukkan bahwa sudah bebas zat pengotor. Proses sintesis dilanjutkan dengan pengeringan gel menggunakan oven pada suhu 80 °C hingga kering. Kemudian hasil yang diperoleh dikalsinasi pada suhu 900 °C selama 1 jam (Djayasinga dkk., 2024).

3.3.5. Pencampuran S/CaO/nGO

Dilakukan pencampuran S/CaO dengan perbandingan 1/1 terlebih dahulu. Disiapkan masing-masing 1 gram katalis CaO yang telah disintesis dan sulfur murni. CaO dipanaskan terlebih dahulu menggunakan oven pada suhu 90 °C selama 5 jam. Dilelehkan sulfur murni kemudian ditambahkan ke CaO, kemudian dilakukan pengadukan sampai homogen. Hasil yang diperoleh kemudian dikalsinasi pada suhu 450 °C selama 1 jam.

Kemudian dilakukan pencampuran S/CaO/nGO dengan variasi perbandingan 0,5/1 dan 0,875/1. Sebanyak 0,5 gram dan 0,875 gram hasil sintesis S/CaO ditambahkan masing-masing ke dalam 1 gram nGO dan 400 mL akuades. Dilakukan impregnasi menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 50 menit. Hasil yang diperoleh disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C hingga kering. Nanokomposit S/CaO/nGO yang diperoleh kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan UV-Vis DRS.

3.4. Karakterisasi

3.4.1. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

S/CaO/nGO yang telah disintesis dikarakterisasi dengan FTIR (*Fourier Transform Infrared*) untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang ada pada nanokomposit pada bilangan gelombang $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$. Kemudian hasil karakterisasi menggunakan FTIR dianalisis menggunakan *Software Origin 8.5* untuk melihat puncak serapan *Infra Red* (IR) yang ditampilkan dalam bentuk spektrum hubungan antara bilangan gelombang dengan transmitansi IR (Oktavian dkk., 2022).

3.4.2. *X-Ray Diffraction (XRD)*

S/CaO/nGO yang telah disintesis dikarakterisasi dengan instrumen XRD (*X-Ray Diffraction*). Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan untuk mengetahui fasa kristalinitas dan ukuran nanokomposit yang terbentuk. Data pola difraksi direkam dengan rentang sudut $2\theta = 5^\circ - 90^\circ$ (Bemis dkk., 2023).

3.4.3. *Ultra Violet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)*

Analisis nilai *band gap* dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis DRS yang diintegrasikan pada tabung berdiameter 15 cm untuk dapat mengukur *diffuse reflectance*. Senyawa yang digunakan sebagai referensi adalah BaSO_4 . Semua sampel yang telah mengandung BaSO_4 (1:50) digunakan untuk perhitungan. Hasil karakteristik UV-Vis DRS menghasilkan informasi berupa spektrum panjang gelombang terhadap reflektansi R (%). Energi celah pita diperoleh dengan mengubah besaran R (%) kedalam faktor Kubelka-Munk $F(R)$ yang merupakan instrumentasi spectrometer difusi dengan menggunakan metode sederhana berdasarkan terori Kubelka-Munk (Tatarchuk *et al.*, 2017).

3.5. Uji Antibakteri dan Antijamur

3.5.1. Sterilisasi Alat

Alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian ini dikeringkan dan dibungkus dengan kertas kemudian dimasukkan ke dalam plastik tahan panas. Kemudian alat-alat dimasukkan ke dalam autoklaf (*autoclave*) untuk dilakukan sterilisasi dengan uap air pada suhu 121 °C tekanan 2 atm selama 15 menit. Cara ini dapat menghilangkan kontaminan yang ada (Azizah dkk., 2020).

3.5.2. Peremajaan Bakteri dan Jamur

Bakteri uji yang telah ditumbuhkan pada stok kultur diremajakan kembali ke media pertumbuhan yang baru. Media *Nutrient Agar* (NA) yang akan digunakan disterilisasi terlebih dahulu dalam autoklaf. Kemudian bakteri uji *B. subtilis* dan *E. coli* dari stok kultur digoreskan 1 – 2 jarum ose pada media NA secara zig-zag. Kemudian tepi tabung reaksi dipijarkan pada bunsen untuk mengurangi adanya kontaminasi, lalu dilapisi menggunakan plastik wrap. Kemudian dilakukan inkubasi pada inkubator dengan suhu 37 °C selama 24 jam (Azizah dkk., 2020).

Jamur yang akan diujikan diremajakan kembali pada media pertumbuhan yang baru. Jamur *C. albicans* diinokulasikan pada media agar. Media *Potato Dextrose Agar* (PDA) yang akan digunakan disterilisasi terlebih dahulu dalam autoklaf untuk menghilangkan kontaminan yang ada. Jamur *C. albicans* dibiakkan pada media agar miring, dilakukan inkubasi pada inkubator dengan suhu 37 °C selama 24 jam. Kemudian, diambil sebanyak 1 – 2 jarum ose dan dikultur dalam media PDA (Muliawati dan Yulianti, 2018).

3.5.3. Perlakuan S/CaO/nGO terhadap Bakteri

Pengujian antibakteri dilakukan menggunakan metode difusi sumuran pada *Biological Safety Cabinet* (BSC). Langkah pertama adalah menyiapkan cawan petri dan media yang sudah disterilisasi. Kemudian dituangkan 30 mL media NA dan didiamkan beberapa menit hingga media mengeras. Diambil satu hingga dua ose bakteri dari stok kultur dan dilarutkan dalam larutan NaCl untuk membuat suspensi bakteri yang dibandingkan dengan *McFarland Standard*. Kemudian, *cotton bud* steril dicelupkan ke dalam suspensi dan digoreskan secara zig zag pada media agar. Setelah itu, dibuat lubang sumuran pada media sehingga diperoleh sumur yang berdiameter 5 mm. Kemudian, diambil nanopartikel CaO, S/CaO, nGO, dan nanokomposit S/CaO/nGO dengan perbandingan 0,5/1 dan 0,875/1 yang telah dilarutkan sebanyak 10 mL menggunakan mikropipet dan tuang di sumur sebanyak 50 μ L. Dilakukan juga perbandingan pada lubang sumuran dengan antibiotik sebagai kontrol positif dan akuades steril sebagai kontrol negatif. Kemudian permukaan media diiradiasi dengan sinar tampak dengan variasi waktu 0, 15, 30, 45, dan 60 menit. Selanjutnya diinkubasi dalam inkubator pada suhu 37 °C selama 24 jam dan diukur zona hambat yang terbentuk. Zona hambat bening di sekitar sumur menunjukkan adanya aktivitas antibakteri yang positif (Magani dkk., 2020).

3.5.4. Perlakuan S/CaO/nGO terhadap Jamur

Pengujian antijamur dilakukan menggunakan metode difusi sumuran pada *Laminar Air Flow* (LAF). Langkah pertama adalah menyiapkan cawan petri dan media PDA yang sudah steril. Kemudian dituangkan 30 mL media PDA dan didiamkan beberapa menit hingga media mengeras. Diambil satu hingga dua ose jamur dari stok kultur dan dilarutkan dalam larutan NaCl untuk membuat suspensi jamur yang dibandingkan dengan *McFarland Standard*. Kemudian, *cotton bud* steril dicelupkan ke dalam suspensi dan digoreskan secara zig zag pada media agar. Setelah itu, dibuat lubang sumuran pada media sehingga diperoleh sumur

yang berdiameter 5 mm. Kemudian, diambil nanopartikel CaO, S/CaO, nGO, dan nanokomposit S/CaO/nGO dengan perbandingan 0,5/1 dan 0,875/1 yang telah dilarutkan sebanyak 10 mL menggunakan mikropipet dan tuang di sumur sebanyak 50 μ L. Dilakukan juga perbandingan pada lubang sumuran dengan antibiotik sebagai kontrol positif dan akuades steril sebagai kontrol negatif. Kemudian permukaan media diiradiasi dengan sinar tampak dengan variasi waktu 0, 15, 30, 45, dan 60 menit. Selanjutnya diinkubasi dalam inkubator pada suhu 37 °C selama 24 jam. Zona bening akan muncul sebagai daerah hambatan yang tidak ditumbuhi oleh jamur disekeliling sumur. Zona hambat bening di sekitar sumur menunjukkan adanya aktivitas antijamur yang positif (Magani dkk., 2020).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Telah berhasil disintesis S/CaO/nGO dengan perbandingan 0,5/1 dan 0,875/1 dengan ukuran kristal yaitu 50,60 nm dan 42,21 nm, dengan nilai energi *band gap* berturut-turut sebesar 1,17 eV dan 0,99 eV.
2. Waktu penyinaran optimum untuk uji antibakteri terhadap *B. subtilis* dan *E. coli* adalah 45 menit, sedangkan pada uji antijamur *C. albicans* adalah 60 menit. Penyinaran sinar tampak mampu mengaktifkan efek fotokatalitik dari nanokomposit S/CaO/nGO yang berkontribusi terhadap peningkatan diameter zona hambat.
3. Diameter zona hambat uji antibakteri S/CaO/nGO 0,5/1 dan 0,875/1 pada waktu optimum terhadap *B. subtilis* yaitu 10 mm dan 10,5 mm, sedangkan terhadap *E. coli* yaitu 9 mm dan 9,3 mm. Pada uji antijamur S/CaO/nGO menunjukkan zona hambat sebesar 7,4 mm dan 7,9 mm pada masing-masing perbandingan pada waktu penyinaran optimum.

5.2. Saran

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

1. Saat sintesis nGO, suhu *icebath* dijaga agar tidak terlalu jauh di bawah 5 °C, agar mengurangi risiko ketidaksempurnaan oksidasi grafit.
2. Saat memasukkan nanokomposit ke dalam sumur uji, usahakan lebih hati-hati agar tidak tumpah dan hasilnya lebih rapi.
3. Mencoba melakukan penyinaran dengan variasi waktu yang lebih banyak untuk melihat pengaruhnya secara lebih jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abid, Sehrawat, P., Islam, S. S., Mishra, P., and Ahmad, S. 2018. Reduced Graphene Oxide (rGO) Based Wideband Optical Sensor and the Role of Temperature, Defect States and Quantum Efficiency. *Scientific Reports*. 8. 3537.
- Aga, K. W., Efa, M. T., and Beyene, T. T. 2022. Effects of Sulfur Doping and Temperature on the Energy Bandgap of ZnO Nanoparticles and Their Antibacterial Activities. *ACS Omega*. 7(12). 10796–10803.
- Ahmad, W., Sethupathi, S., Munusamy, Y., and Kanthasamy, R. 2021. Valorization of Raw and Calcined Chicken Eggshell for Sulfur Dioxide and Hydrogen Sulfide Removal at Low Temperature. *Catalysts*. 11(2). 1 – 20.
- Ali, A., Chiang, Y. W., and Santos, R. M. 2022. X-Ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization: A Review for Engineers of the Fundamentals, Applications, and Research Directions. *Minerals*. 12(2). 1 – 25.
- Allung, C. M. 2019. *Identifikasi Bakteri Escherichia coli Penghasil Extended Spectrum Beta – Lactamase (ESBL) di Ruang NICU Rumah Sakit Umum Naibonat Tahun 2019*. Karya Tulis Ilmiah. Politeknik Kesehatan Kemenkes Kupang. Kupang.
- Alpandari, H., Prakoso, T., Astuti, A., dan Mulyono. 2022. Pemanfaatan Isolat Bakteri Tongkol Jagung sebagai Bioaktivator Alami dalam Pengomposan Tongkol Jagung (*Zea mays*). *Media Jurnal Agroteknologi*. 1(1). 1 – 7.
- Amalia, A. R. 2024. Uji Konsentrasi Hambat Minimum (KHM) Minyak Atsiri Adas (*Foeniculum vulgare* Mill) terhadap Pertumbuhan Bakteri *Propionibacterium acnes* dengan Metode Sumuran. *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran*. 7(3). 10929 – 10932.
- Amoloye, M. A., Abdulkareem, S. A., and Adeniyi, A. G. 2022. Comparative Study of Biochars from the Retort Co-Carbonization of Corn Cob and Polyethylene Wastes. *Malaysian Journal of Catalysis*. 7. 6 – 12.

- Aprina, R. 2023. *Sintesis Komposit Fe_3O_4 /Kitosan-Glutaraldehyd/ TiO_2 sebagai Fotokatalis untuk Degradasi Zat Warna Congo Red*. Skripsi. Universitas Sriwijaya. Indralaya.
- Attari, A., Abbaszadeh-Mayvan, A., and Taghizadeh-Alisaraei, A. 2022. Process Optimization of Ultrasonic-assisted Biodiesel Production from Waste Cooking Oil Using Waste Chicken Eggshell-derived CaO as a Green Heterogeneous Catalyst. *Biomass and Bioenergy*. 158. 106357.
- Aunkor, M. T. H., Raihan, T., Prodhan, S. H., Metselaar, H. S. C., Malik, S. U. F., and Azad, A. K. 2020. Antibacterial Activity of Graphene Oxide Nanosheet Against Multidrug Resistant Superbugs Isolated from Infected Patients. *Royal Society Open Science*. 7(7). 1 – 15.
- Azizah, M., Lingga, L. S., dan Rikmasari, Y. 2020. Uji Aktivitas Antibakteri Kombinasi Ekstrak Etanol Daun Seledri (*Apium graveolens L.*) dan Madu Hutan terhadap Beberapa Bakteri Penyebab Penyakit Kulit. *Jurnal Penelitian Sains*. 22(1). 37 – 44.
- Bai, R. G., Muthoosamy, K., Manickam, S., and Hilal-Alnaqbi, A. 2019. Graphene-based 3D Scaffolds in Tissue Engineering: Fabrication, Applications, and Future Scope in Liver Tissue Engineering. *International Journal of Nanomedicine*. 14. 5753 – 5783.
- Balouiri, M., Sadiki, M., and Ibnsouda, S. K. 2016. Methods for *In Vitro* Evaluating Antimicrobial Activity: A Review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*. 6(2). 71 – 79.
- Bemis, R., Heriyanti, Rahmi, Puspitasari, R. D., dan Imawati, D. 2023. Pengaruh Variasi Konsentrasi Alumina Pada Sintesis Nanokomposit Hidroksiapatit/ Alumina dari Udang Papai Menggunakan Metode Hidrotermal. *Journal of The Indonesian Society of Integrated Chemistry*. 15(1). 56 – 66.
- Bete, Y. I., Bukit, M., Johannes, A. Z., dan Pingak, R. K. 2019. Kajian Awal Sifat Optik *Graphene Oxide* Berbahan Dasar Arang Tongkol Jagung yang Disintesis dengan Metode *Liquid Phase Exfoliation* (LPE). *Jurnal Fisika*. 4(2). 114 – 120.
- Brooks, G. F., Butel, J. S., dan Morse, S. A. 2004. *Mikrobiologi Kedokteran Jawetz, Melnick, dan Adelberg, Edisi 23*. Penerbit Buku Kedokteran. Jakarta.
- Chavez-Esquivel, G., Cervantes-Guevas, H., Ybieta-Olvera, L. F., Briones, M. T. C., Acosta, D., and Cabello, J. 2021. Antimicrobial Activity of Graphite Oxide Doped with Silver Against *Bacillus subtilis*, *Candida albicans*, *Escherichia coli*, and *Staphylococcus aureus* by Agar Well Diffusion Test: Synthesis and Characterization. *Materials Science & Engineering C*. 123(111934). 1 – 11.

- Chen, X., Qu, Z., Liu, Z., and Ren, G. 2022. Mechanism of Oxidization of Graphite to Graphene Oxide by the Hummers Method. *ACS Omega*. 7(27). 23503–23510.
- Çiplak, Z., Yildiz, N., and Çalimli, A. 2014. Investigation of Graphene/Ag Nanocomposites Synthesis Parameters for Two Different Synthesis Methods. *Fullerenes Nanotubes and Carbon Nanostructures*. 23(4). 361–370.
- Das, G. and Patra, J. K. 2023. Evaluation of Antibacterial Mechanism of Action, Trypsinase Inhibition, and Photocatalytic Degradation Potential of Sericin-Based Gold Nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*. 24(9477). 1 – 16.
- Djayasinga, R., Situmeang, R. T. M., Unob, F., Hadi, S., Manurung, P., and Sumardi, S. 2024. Chicken Eggshell Powder as Antibacterial Against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* Through *In Vitro* Studies. *Journal of Multidisciplinary Applied Natural Science*. 4(1). 194–209.
- Djayasinga, R., Sumardi, S., Simanjuntak, W., Hadi, S., Sugiarti, M., dan Situmeang, R. T. M. 2024. Synthesis of Calcium Oxide Utilizing Chicken Eggshell Waste Via a Foam-Free Approach. *Seminar Nasional Humaniora dan Aplikasi Teknologi Informasi*. 10(1). 1–7.
- Djayasinga, R., Hadi, S., Sumardi, S., Simanjuntak, W., and Situmeang, R. T. M. 2025. Synthesis of Semiconductor S/CaCO₃ Nanocomposite Derived from Chicken Eggshell Powder. *International Conference on Applied Sciences, Mathematics, and Informatics*. 4(1). 194–209.
- Djide dan Sartini. 2008. *Dasar-Dasar Mikrobiologi Farmasi*. Lephas. Makassar.
- Dubey, A., Bhavsar, N., Pachchigar, V., Saini, M., Ranjan, M., and Dube, C. L. 2022. Microwave Assisted Ultrafast Synthesis of Graphene Oxide Based Magnetic Nano Composite for Environmental Remediation. *Ceramics International*. 48(7–8). 4821–4828.
- Elegbede, J. A., Ajayi, V. A., and Lateef, A. 2021. Microbial Valorization of Corncob: Novel Route for Biotechnological Products for Sustainable Bioeconomy. *Environmental Technology & Innovation*. 24(102073). 1 – 24.
- Faridah, N. 2018. *Mengenal Lebih Dekat dengan Cahaya dan Warna*. PT Leutika Nouvalitera. Yogyakarta.
- Fitriyani, D. 2019. *Pembuatan Nanosuspensi Kalsium Oksida (CaO) dari Cangkang Telur Ayam (Gallus gallus domestic) sebagai Antibakteri Menggunakan Penstabil Polyvinyl Alcohol (PVA) dengan Metode Sonikasi*. Skripsi. Universitas Bhakti Kencana. Bandung.

- Gandhi, N., Shruthi, Y., Sirisha, G., and Anusha, C. R. 2021. Facile and Eco-Friendly Method for Synthesis of Calcium Oxide (CaO) Nanoparticles and its Potential Application in Agriculture. *The Saudi Journal of Life Sciences*. 6(5). 89 – 103.
- Garrity, G. M., Bell, J. A., and Lilburn, T. G. 2004. *Taxonomic Outline of the Prokaryotes Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology, 2nd Edition*. Springer-Verlag. New York.
- Gonçalves, G., Vila, M., Bdikin, I., De Andrés, A., Emami, N., Ferreira, R. A. S., Carlos, L. D., Grácio, J., & Marques, P. A. A. P. 2014. Breakdown Into Nanoscale of Graphene Oxide: Confined Hot Spot Atomic Reduction and Fragmentation. *Scientific Reports*. 4(6735). 1 – 8.
- Habte, L., Shiferaw, N., Mulatu, D., Thenepalli, T., Chilakala, R., and Ahn, J. W. 2019. Synthesis of Nano-Calcium Oxide Fromwaste Eggshell by Sol-Gel Method. *Sustainability*. 11(11). 1 – 10.
- Harmawanda, S., Wahyuni, D., Nurhanisa, M., Hassanuddin, dan Zulfian. 2023. Efektivitas Karbon Aktif dari Limbah Tongkol Jagung dengan Variasi Aktivator Asam Klorida dalam Penyerapan Logam Besi pada Air Gambut. *Jurnal Fisika*. 13(1). 10 – 19.
- Haryono, H., Rahayu, I., dan Deawati, Y. 2021. Pengaruh Suhu Karbonisasi terhadap Kualitas Briket dari Bonggol Jagung dengan Limbah Plastik Polietilen Terephthalat sebagai Bahan Pengikat. *Jurnal Teknotan*. 14(2), 49 – 53.
- Hashem, N. M., Hosny, A. E.-D. M. S., Abdelrahman, A. A., and Zakeer, S. 2021. Antimicrobial Activities Encountered by Sulfur Nanoparticles Combating *Staphylococcal* Species Harboring *scc mec A* Recovered from Acne Vulgaris. *AIMS Microbiology*. 7(4). 481 – 498.
- Hemmami, H., Zeghoud, S., Ben Amor, I., Alhamad, A. A., Tliba, A., Alsalmé, A., Cornu, D., Bechelhany, M., and Barhoum, A. 2024. Green Synthesis of CaO Nanoparticles from Chicken Eggshells: Antibacterial, Antifungal, and Heavy Metal (Pb²⁺, Cr²⁺, Cd²⁺, and Hg²⁺) Adsorption Properties. *Frontiers in Environmental Science*. 12(1450485). 1 – 17.
- Huang, T., Li, X., Maier, M., O'Brien-Simpson, N. M., Heath, D. E., and O'Connor, A. J. 2023. Using Inorganic Nanoparticles to Fight Fungal Infections in the Antimicrobial Resistant Era. *Acta Biomaterialia*. 158. 56 – 79.
- Ikram, R., Jan, B. M., and Ahmad, W. 2020. An Overview of Industrial Scalable Production of Graphene Oxide and Analytical Approaches for Synthesis and Characterization. *Journal of Materials Research and Technology*. 9(5), 11587–11610.

- Indrayati, S. dan Sari, R. I. 2018. Gambaran *Candida albicans* pada Bak Penampung Air di Toilet SDN 17 Batu Banyak Kabupaten Solok. *Jurnal Kesehatan Perintis*. 5(2). 133 – 138.
- Indriani, D., Fahyuan, H. D., dan Ngatijo, N. 2018. Uji UV-Vis Lapisan TiO₂/N₂ untuk Menentukan *Band Gap Energy*. *Journal Online of Physics*. 3(2). 6–10.
- Iordache, M., Oubraham, A., Sorlei, I.-S., Lungu, F. A., Capris, C., Popescu, T., and Marinoiu, A. 2023. Noble metals functionalized on graphene oxide obtained by different methods—New catalytic materials. *Nanomaterials*. 13(4). 1 – 20.
- Jadhav, V., Bhagare, A. M., Wahab, S., Lokhande, D. D., Vaidya, C., Dhayagude, A., Mohammad, K., Aher, J. S., Mezni, A., and Dutta, M. 2022. Green Synthesized Calcium Oxide Nanoparticles (CaO NPs) Using Leaves Aqueous Extract of *Moringa oleifera* and Evaluation of Their Antibacterial Activities. *Journal of Nanomaterials*. 2022. 1–7.
- Jiříčková, A., Jankovský, O., Sofer, Z., and Sedmidubský, D. 2022. Synthesis and Applications of Graphene Oxide. *Materials*. 15(3). 1 – 21.
- Jumardin, Maddu, A., Santoso, K., dan Isnaeni. 2022. Karakteristik Sifat Optik Nanopartikel Karbon (*Carbon Dots*) dengan Metode UV-Vis DRS (*Ultra Violet – Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy*). *Jurnal Fisika dan Terapannya*. 9(1). 1 – 15.
- Kigozi, M., Koech, R. K., Tebandeke, E., Kasozi, G. N., and Onwualu, A. P. 2020. Synthesis and Characterization of Graphene Oxide from Locally Mined Graphite Flakes and its Supercapacitor Applications. *Results in Materials*. 7. 100113.
- Kluska, J., Ochnio, M., and Kardaś, D. 2020. Carbonization of corncobs for the preparation of barbecue charcoal and combustion characteristics of corncob char. *Waste Management*. 105. 560–565.
- Komis, Legasari, L., Miarti, A., Oktari, T., dan Melwani, Y. 2024. Analisis Kadar Kalsium Oksida (CaO) Pada Batu Karang Di Pulau Kelagian Kecil Lampung. *Jurnal Analitik Kimia dan Teknologi*. 9(2). 99 – 104.
- Kristianingsih, Y., Rahayu, C., Kurniawati, Y., Nurdiani, C. U. 2023. Analisis *Candida albicans* pada Air Dalam Bak Toilet SMA Negeri 48 Jakarta Timur. *Jurnal Ilmiah Analis Kesehatan*. 9(1). 102 – 112.
- Kumar, P., Huo, P., Zhang, R., and Liu, B. 2019. Antibacterial Properties of Graphene-Based Nanomaterials. *Nanomaterials*. 9(5). 102 – 112.

- Lee, C., Wei, X., Kyasar, J. W., and Hone, J. 2008. Measurement of the Elastic Properties and Intrinsic Strength of Monolayer Graphene. *Science*. 321. 385 – 288.
- León-Buitimea, A., Garza-Cervantes, J. A., Gallegos-Alvarado, D. Y., Osorio-Concepción, M., and Morones-Ramírez, J. R. 2021. Nanomaterial-Based Antifungal Therapies to Combat Fungal Diseases Aspergillosis, Coccidioidomycosis, Mucormycosis, and Candidiasis. *Pathogens*. 10(1303). 1 – 22.
- Lestari, A. S. dan Sartika, D. 2018. Preparasi dan Karakterisasi Nanopartikel Fe₃O₄ Menggunakan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Teknologi Technoscientia*. 11(1). 7 – 10.
- Luqman, A., Alami, N. H., Dama, B. F., Ashari, B. A. Z., dan Danilyan, E. 2021. *Bakteriologi Spesies Kosmopolit*. Departemen Biologi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Ma'ruf, A., and Prananda, A. N. 2024. Synthesis and Characterization of Nano-CaO from Clamshell (*Geloina sp.*) Using Sol-Gel Method. *American Journal of Chemical Engineering*. 12(1). 1 – 5.
- Macias-Paz, I. U., Pérez-Hernández, S., Tavera-Tapia, A., Luna-Arias, J. P., Guerra-Cárdenas, J. E., and Reyna-Beltrán, E. 2023. *Candida albicans* the Main Opportunistic Pathogenic Fungus in Humans. *Revista Argentina de Microbiología*. 55(2). 189–198.
- Magani, A. K., Tallei, T. E., dan Kolondam, B. J. 2020. Uji Antibakteri Nanopartikel Kitosan terhadap Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *Jurnal Bios Logos*. 10(1). 7 – 12.
- Maghfira, A. 2023. *Sintesis dan Karakterisasi S/CaO/nGO dengan Bantuan Sinar Visible sebagai Antibakteri*. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Maharani, S. 2012. *Pengaruh Pemberian Larutan Ekstrak Siwak (Salvadora persica) pada Berbagai Konsentrasi terhadap Pertumbuhan Candida albicans*. Skripsi. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Maier, B. 2017. *Competence and Transformation. Bacillus : Cellular and Molecular Biology (Third edition)* . Caister Academic Press. Germany.
- Mandeville, C. W. 2010. Sulfur: A Ubiquitous and Useful Tracer in Earth and Planetary Sciences. *Elements*. 6(2). 75–80.
- Mayer, F. L., Wilson, D., and Hube, B. 2013. *Candida albicans* Pathogenicity Mechanisms. *Virulence*. 4(2). 119 – 128.

- Mkhoyan, K. A., Contryman, A. W., Silcox, J., Stewart, D. A., Eda, G., Mattevi, C., Miller, S., and Chhowalla, M. 2009. Atomic and Electronic Structure of Graphene-Oxide. *Nano Letters*. 9(3). 1058–1063.
- Muliawati, D. N. dan Yulianti, E. 2018. Uji Aktivitas Antimikroba Nanopartikel Perak dari Limbah Perak Hasil Penyepuhan terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus* dan Fungi *Candida albicans*. *Jurnal Prodi Biologi*. 7(2). 90 – 93.
- Munawaroh, F., Masdya, Y., Baqiya, M. A., and Triwikantoro 2024. Synthesis and Characterization of CaO Prepared from Limestone Using Sol-Gel Method. *Indonesian Physical Review*. 7(2). 249–258 Orabi, A., Ismail, A. H., Abou El-Nour, K. M., Atia, B. M., & El-Bassyouni, G. T. (2024). The employing of pure calcium sulfate extracted from phosphogypsum for composing highly pure ammonium sulfate and calcium carbonate. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 63(6), 1554–1571.
- Nabilla, A. dan Advinda, L. 2022. Antimicrobial Activities of Solid Soap Against *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* Human Pathogen Bacteria. *Serambi Biologi*. 7(4). 306–310.
- Nazim, M., Khan, A. A. P., Khan, F., Cho, S. K., and Ahmad, R. 2022. Insertion of Metal Cations Into Hybrid Organometallic Halide Perovskite Nanocrystals for Enhanced Stability: Eco-friendly Synthesis, Lattice Strain Engineering, and Defect Chemistry Studies. *Nanoscale Advances*. 4(12). 2729–2743.
- Nicolet, T. 2001. *Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry*. Thermo Nicolet Corporation. USA.
- Nisa, A. K., Supriyanto, G., and Ibrahim, W. A. W. 2023. Preparation and Characterization of Graphene Oxide-Fe₃O₄ from Rice Husk. *Alchemy: Journal of Chemistry*. 11(1). 29 – 34.
- Nuraeni, N., Kartikasari, D., Yani, S., Hiswara, E., Haryanto, F., Iskandar, F., and Waris, A. 2019. Thermoluminescence Characteristic of CaSO₄:Dy on β and γ Radiation. *Journal of Physics: Conference Series*. 1248(1). 012081.
- Nurfitriyana, Fithri, N. A., Fitria, dan Yanuarti, R. 2022. Analisis Interaksi Kimia *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Tablet Gastroenterik Ekstrak Daun Petai (*Parkia speciosa* Hassk) dengan Polimer HPMC-K4M dan Kitosan. *IONTech*. 3(2). 27 – 33.
- Nurhayati, L. S., Yahdiyani, N., dan Hidayatulloh, A. 2020. Perbandingan Pengujian Aktivitas Antibakteri Starter Yogurt dengan Metode Difusi Sumuran dan Metode Difusi Cakram. *Jurnal Teknologi Hasil Peternakan*. 1(2). 41 – 46.

- Oktavian, P., Anas, M., dan Erniwati. 2022. Analisis Gugus Fungsi Silika yang Diekstrak dari Limbah Dedaunan Menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*). *Indonesian Journal of Physics and its Applications*. 2(2). 34 – 38.
- Orabi, A., Ismail, A. H., Abou El-Nour, K. M., Atia, B. M., and El-Bassyouni, G. T. 2024. The Employing of Pure Calcium Sulfate Extracted from Phosphogypsum for Composing Highly Pure Ammonium Sulfate and Calcium Carbonate. *Canadian Metallurgical Quarterly*. 63(6). 1554–1571.
- Öztekin, D., Arbağ, H., and Yaşyerli, S. 2025. Preparation of RGO with Enhanced Electrical Conductivity: Effects of Sequential Reductions of L-Ascorbic Acid and Thermal. *Arabian Journal for Science and Engineering*.
- Pancu, D. F., Scurtu, A., Macasoi, I. G., Marti, D., Mioc, M., Soica, C., Coricovac, D., Horhat, D., Poenaru, M., and Dahelean, C. 2021. Antibiotics: Conventional Therapy and Natural Compounds with Antibacterial Activity – A Pharmacotoxicological Screening. *Antibiotics*. 10(401). 1 - 35.
- Pratama, A., Destiarti, L. dan Adhitiyawarman. 2021. Sintesis Titanium Oksida/Reduced Graphene Oxide (TiO₂/rGO) untuk Fotokatalisis Bahan Pewarna Metilen Biru. *Positron*. 11(1). 31 – 37.
- Putri, N. A. dan Supardi, Z. A. I. 2023. Sintesis dan Karakterisasi Graphene Oxide (GO) dari Bahan Alam Tempurung Kelapa. *Inovasi Fisika Indonesia*. 12(2). 47 – 55.
- Rahayu, W. P., Nurjanah, S., dan Komalasari, E. 2018. *Escherichia coli: Patogenitas, Analisis, dan Kajian Resiko*. IPB Press. Bogor.
- Rahmayanti, D., Manurung, P., dan Marjunus, R. 2023. Perbandingan Aktivitas Fotokatalis Nanotitania Tanpa dan Dengan Penambahan Etanolamina di Bawah Sinar Matahari. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. 11(1). 99 – 104.
- Ramadhani, A. dan Muldarisnur, M. 2024. Peningkatan Aktivitas Fotokatalis Nanopartikel Seng Oksida Didoping Aluminium Untuk Mereduksi Merkuri. *Jurnal Fisika Unand*. 13(2). 197–203.
- Rao, S. V. D. S., Ryntathiang, I., Behera, A., Saravanan, S., Prasad, M., and Jothinathan, M. K. D. 2024. Comparative In Vitro and In Silico Analyses of Phytochemicals From *Butea monosperma* for Wound-Healing Potential in Human Cells. *Cureus*. 16(6). 1 – 10.
- Ratsameetammajak, N., Autthawong, T., Chairuangsi, T., Kurata, H., Yu, A., and Sarakonsri, T. 2022. Rice Husk-derived nano-SiO₂ Assembled on Reduced Graphene Oxide Distributed on Conductive Flexible Polyaniline Frameworks Towards High-performance Lithium-ion Batteries. *RSC Advances*. 12. 14621 – 14630.

- Rohman, M. N. 2018. *Pengaruh Variasi Lama Pengeringan dan Volume Larutan Graphene Oxide Berbahan Dasar Abu Sekam Padi terhadap Kuat Tekan dan Porositas Bata Ringan Jenis Cellular Lightweight Concrete*. Skripsi. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Rompis, J. T., Aritonang, H. F., dan Pontoh, J. 2020. Sintesis Nanokomposit ZnO-MgO dan Analisis Efektivitas sebagai Antibakteri. *Chemistry Progress*. 13(1). 56 – 62.
- Rossani, R. B. 2018. *Biosintesis Nanopartikel Kalsium Oksida (CaO) Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Naga (Hylocereus polyrhizus) dan Uji Aktivitasnya sebagai Antifungi Anorganik terhadap Candida albicans*. Thesis. Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh.
- Roy, A., Gauri, S. S., Bhattacharya, M., and Bhattacharya, J. 2013. Antimicrobial Activity of CaO Nanoparticles. *Journal of Biomedical Nanotechnology*. 9(9). 1570–1578.
- Sandy, E. H. 2010. *A Comparative Cytotoxicity Study of Isomeric Alkylphthalates to Metabolically Variant Bacteria*. Thesis. China University of Geosciences. Wuhan.
- Sanjiwani, N. M. S. dan Sudiarsa, I. W. 2021. Analisis Gugus Fungsi Obat Sirup Batuk dengan *Fourier Transform Infrared*. *Jurnal Edukasi Matematika dan Sains*. 11(2). 339–345.
- Sari, N. W., Fajri, M. Y., dan Anjas, W. 2018. Analisis Fitokimia dan Gugus Fungsi dari Ekstrak Etanol Pisang Goroho Merah (*Musa Acuminata* (L)). *Indonesian Journal of Biotechnology and Biodiversity*. 2(1). 30 – 34.
- Sembiring, D. D. 2024. *Konversi Nanoselulosa menjadi Gula Alkohol dari Limbah Kulit Pisang Kepok (Musa paradisiaca L.) menggunakan Nanokomposit $LaCr_{0,96}Ti_{0,04}O_3/nGO$ dengan Rasio (0,3/1) Diiradiasi di Bawah Sinar Ultraviolet (UV)*. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Septianto, R. D., Iskandar, F., Abdullah, M., Khairurrijal, and Lee, M.-H. 2018. Effect of Polystyrene Latex Addition on Size and Pore Volume of Porous Calcium Oxide Particles Prepared by Spray-Pyrolysis Method and its Ability for SO₂ Retention. *Journal of Engineering and Technological Sciences*. 50(2). 240–254.
- Setiabudy, R. dan Gun, S. 2000. *Pengantar Anti Mikroba Farmakologi dan Terapi Edisi IV*. Bagian Farmakologi FK UI. Jakarta.
- Siburian, R., Sihotang, H., Raja, S. L., Supeno, M., and Simanjuntak, C. 2018. New Route to Synthesize of Graphene Nano Sheets. *Oriental Journal of Chemistry*. 34(1). 182–187.

- Sisca, V. dan Rahayuningsih, J. 2022. Pembuatan Limbah Cangkang Telur sebagai Katalis Heterogen untuk Produksi Biodisel. *Journal of Research and Education Chemistry*. 4(2). 134 – 143.
- Situmeang, R., Nabitaliah, Putri, R. M., Yuliarni, T., and Erianti, M. 2024. $\text{LaCr}_{0.99}\text{M}_{0.01}\text{O}_3$ (where M = Ti, Fe, and Mo) Nano Perovskites: Band Gap Energy Determination and Cellulose Conversion Preliminary Test. *AIP Publishing*. 2970(1). 1 – 6.
- Slavin, Y. N. and Bach, H. 2022. Mechanism of Antifungal Properties of Metal Nanoparticles. *Nanomaterials*. 12(4470). 1 – 35.
- Stankovich, S., Dikin, D. A., Dommett, G. H. B., Kohlhaas, K. M., Zimney, E. J., Stach, E. A., Piner, R. D., Nguyen, S. B. T., and Ruoff, R. S. 2006. Graphene-Based Composite Materials. *Nature*. 442(7100). 282–286.
- Sucahya, T. N., Permatasari, N., dan Nandiyanto, A. B. D. 2016. Review: Fotokatalis untuk Pengolahan Limbah Cair. *Jurnal Integrasi Proses*. 6(1). 1 – 15.
- Sujiono, E. H., Zurnansyah, Zabrian, D., Dahlan, M. Y., Amin, B. D., Samnur, and Agus, J. 2020. Graphene Oxide Based Coconut Shell Waste: Synthesis by Modified Hummers Method and Characterization. *Heliyon*. 6(8). 1 – 8.
- Sukandar, D., Abbah, J., Habibah, N., Rudiana, T., dan Rohman, S. 2024. Isolasi dan Identifikasi Metabolit Sekunder dari Kulit Batang Bintangur (*Calophyllum bicolor*). *Alchemy: Journal of Chemistry*. 12(2). 53 – 59.
- Sukertiasih, N. K., Megawati, F., Meriyani, H., dan Sanjaya, D. A. 2021. Studi Retrospektif Gambaran Resistensi Bakteri terhadap Antibiotik. *Jurnal Ilmiah Medicamento*. 7(2). 108 – 111.
- Sulistiyani, E. 2020. *Monograf Pengenalan Dinding Sel C. albicans oleh Sistem Imunitas Innate*. Digital Repository Universitas Jember. Jember.
- Sunardi, S., Krismawati, E. D., dan Mahayana, A. 2020. Sintesis dan Karakterisasi Nanokalsium Oksida dari Cangkang Telur. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*. 16(2). 250 – 259.
- Sundaram, G. A., Ravikumar, P., Ramesh, L., Kesavan, H., Sadhavisam, S. P. D., Alagarsamy, S. K. K., and Wang, J. 2023. Photocatalytic and Antibacterial Activities of a Nickel(II)-Bipyridine Complex-Modified Graphene Oxide Nanocomposite: Synthesis and Characterization. *Catalysts*. 13(1200). 1 – 12.
- Sundari, E. R. 2022. Alternatif Penggunaan Kertas Saring sebagai Pengganti Kertas Cakram pada Uji Resistensi Bakteri *Aeromonas sp.* terhadap Ampisilin dan Kloramfenikol. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Sains dan Teknologi*. 2(1). 23 – 27.

- Suryani, Y., Taupiquurrahman, O., dan Kulsum, Y. 2020. *Mikologi*. PT. Freeline Cipta Granesia. Padang.
- Tadyszak, K., Wychowaniec, J. K., and Litowczenko, J. 2018. Biomedical Applications of Graphene-Based Structures. *Nanomaterials*. 8(11). 1 – 20.
- Talaro, K. P. 2008. *Foundation in Mikrobiology Sixth Edition*. McGraw-Hill. New York.
- Tatarchuk, T., Bououdina, M., Macyk, W., Shyichuk, O., Paliychuk, N., Yaremiy, I., Al-Najar, B., and Pacia, M. 2017. Structural, Optical, and Magnetic Properties of Zn-Doped CoFe₂O₄ Nanoparticles. *Nanoscale Research Letters*. 12(1). 1 – 11.
- Tollu, G., Yabalak, E., Özdemir, S., Işık, Z., and Dizge, N. 2024. Synthesis of CaO-Fe and CaO-Ag Nanocomposites Using Raw and Hydrolyzed Waste Chicken Eggshell and Investigation of Their Antimicrobial, Biofilm Inhibition Activity, DNA Cleavage Ability, and Antioxidant Activity Properties. *Biomass Conversion and Biorefinery*.
- Uddin, T. M., Chakraborty, A. J., Khusro, A., Zidan, B. R. M., Mitra, S., Emran, T. Bin, Dhama, K., Ripon, M. K. H., Gajdács, M., Sahibzada, M. U. K., Hossain, M. J., and Koirala, N. 2021. Antibiotic Resistance in Microbes: History, Mechanisms, Therapeutic Strategies and Future Prospects. *Journal of Infection and Public Health*. 14(12). 1750 – 1766.
- Vishwakarma, K., Kaur, S., and Vishwakarma, O. P. 2024. Recent Advances and Perspectives of Nanomaterials. *International Research Journal on Advanced Engineering Hub (IRJAEH)*. 2(2). 9 – 13.
- Wahyuni, E. T., Roto, R., Novarita, D., Suwondo, K. P., Kuswandi, B. 2019. Preparation of TiO₂/AgNPs by Photodeposition Method Using Ag(I) Present in Radiophotography Wastewater and Their Antibacterial Activity in Visible Light Illumination. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 7(103178). 1 – 9.
- Wang, G., Ma, Z., Zhou, Z., Zheng, Y., and Cheng, L. 2024. Experimental Study on Combined Microwave–Magnetic Separation–Flotation Coal Desulfurization. *Molecules*. 29(16). 3729.
- Xia, M.Y., Xie, Y., Yu, C.H., Chen, G.Y., Li, Y.H., Zhang, T., and Peng, Q. 2019. Graphene-Based Nanomaterials: the Promising Active Agents for Antibiotics-Independent Antibacterial Applications. *Journal of Controlled Release*. 307. 16–31.
- Yulianti, N. M. A., Indraningrat, A. A. G., dan Widhidewi, N. W. 2024. Skrining Aktivitas Antibakteri *Bacillus sp.* PCAR1 dari Rumput Laut *Eucaema*

spinosum terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus*. *Aesculapius Medical Journal*. 4(2). 165 – 171.

Zaini, N., Mayasari, U., dan Nasution, R. A. 2024. Uji Aktivitas Minyak Atsiri Daun Ekor Kucing (*Acalypha hispida*) sebagai Disinfektan terhadap Bakteri *Bacillus subtilis* dan *Klebsiella pneumoniae* secara *In Vitro*. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*. 9(1). 87 – 96.

Zennaki, M. E., Tennouga, L., Bouras, B., and Medjahed, K. 2023. Methods of Recycling Expanded Polystyrene Waste: Synthesis and Characterization. *Physical Chemistry Research*. 11(4). 943–951.

Zhang, G., Yang, H., Lin, X., Miao, Y., Li, F., Pang, Z., and Xin, X. 2024. Preparation and Characterization of a Novel Ca-Fe-Si-S Composite for the Simultaneous Stabilization of Heavy Metals in Arsenic Slag. *Water, Air, and Soil Pollution*. 235(12). 1 – 12.