

**POTENSI NANOMATERIAL S/CaO/nGO (0,625/1 dan 1/1) SEBAGAI
AGEN ANTIBAKTERI (*Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli*) DAN
ANTIJAMUR (*Candida albicans*) DI BAWAH IRADIASI SINAR TAMPAK**

(Skripsi)

Oleh

RIKA SAPITRI

2117011048



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

ABSTRAK

POTENSI NANOMATERIAL S/CaO/nGO (0,625/1 dan 1/1) SEBAGAI AGEN ANTIBAKTERI (*Bacillus subtilis* DAN *Escherichia coli*) DAN ANTIJAMUR (*Candida albicans*) DI BAWAH IRADIASI SINAR TAMPAK

Oleh

RIKA SAPITRI

Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis dan uji aktivitas nanomaterial S/CaO/nGO sebagai agen antibakteri dan antijamur di bawah iradiasi sinar tampak. Nano *Graphene Oxide* (nGO) disintesis dari bonggol jagung menggunakan metode Hummers termodifikasi, sementara CaO diperoleh dari cangkang telur melalui metode sol-gel dan didoping dengan sulfur. Impregnasi S/CaO pada nGO dilakukan dengan perbandingan massa 0,625/1 dan 1/1.

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan ukuran kristal S/CaO/nGO 0,625/1 dan 1/1 masing-masing sebesar 50,37 nm dan 50,22 nm. Spektrum FTIR menunjukkan keberadaan gugus fungsional nGO serta vibrasi S=O dan Ca-S yang mengindikasikan keberhasilan doping sulfur. Nilai energi *band gap* S/CaO/nGO 0,625/1 dan 1/1 berdasarkan analisis DRS sebesar 0,96 eV dan 1,07 eV.

Uji aktivitas antibakteri dan antijamur dilakukan menggunakan metode difusi sumuran. Zona hambat optimum terhadap *Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli* dicapai pada waktu penyinaran 45 menit, dengan diameter masing-masing sebesar 11 mm dan 10 mm untuk *B. subtilis*, serta 10 mm dan 8,5 mm untuk *E. coli*. Sementara itu, terhadap *Candida albicans*, zona hambat optimum diperoleh pada penyinaran 60 menit, dengan diameter masing-masing sebesar 9 mm dan 7,5 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa S/CaO/nGO memiliki potensi sebagai agen antimikroba berbasis fotokatalitik yang efektif di bawah sinar tampak.

Kata kunci: S/CaO/nGO, sinar tampak, antibakteri, antijamur.

ABSTRACT

THE POTENTIAL OF S/CaO/nGO NANOMATERIALS (0.625/1 AND 1/1) AS ANTIBACTERIAL (*Bacillus subtilis* AND *Escherichia coli*) AND ANTIFUNGAL (*Candida albicans*) AGENTS UNDER VISIBLE LIGHT IRRADIATION

By

RIKA SAPITRI

In this study, the synthesis and testing of the activity of S/CaO/nGO nanomaterials as antibacterial and antifungal agents under visible light irradiation were conducted. Nano *Graphene Oxide* (nGO) was synthesized from corn cobs using a modified Hummers method, while CaO was obtained from eggshells via the sol-gel method and doped with sulfur. Impregnation of S/CaO into nGO was performed at mass ratios of 0.625/1 and 1/1. XRD characterization results showed crystal sizes of 50.37 nm and 50.22 nm. FTIR spectra indicated the presence of nGO functional groups as well as S=O and Ca-S vibrations, confirming successful sulfur doping. Bandgap energy values based on DRS analysis were 0.96 eV and 1.07 eV, respectively. Antibacterial and antifungal activity tests were conducted using the well diffusion method. Optimal inhibition zones against *Bacillus subtilis* and *Escherichia coli* were achieved at an irradiation time of 45 minutes, with diameters of 11 mm and 10 mm for *B. subtilis*, and 10 mm and 8.5 mm for *E. coli*, respectively. Meanwhile, against *Candida albicans*, the optimal inhibition zones were obtained at an irradiation time of 60 minutes, with diameters of 9 mm and 7.5 mm, respectively. These results indicate that S/CaO/nGO has potential as an effective photocatalytic-based antimicrobial agent under visible light.

Key words: S/CaO/nGO, visible light, antibacterial, antifungal.

**POTENSI NANOMATERIAL S/CaO/nGO (0,625/1 dan 1/1) SEBAGAI
AGEN ANTIBAKTERI (*Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli*) DAN
ANTIJAMUR (*Candida albicans*) DI BAWAH IRADIASI SINAR TAMPAK**

Oleh

Rika Sapitri

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**

Judul Skripsi

: **POTENSI NANOMATERIAL S/CaO/nGO
(0,625/1 DAN 1/1) SEBAGAI AGEN
ANTIBAKTERI (*Bacillus subtilis* DAN
Escherichia coli) DAN ANTIJAMUR (*Candida
albicans*) DI BAWAH IRADIASI SINAR
TAMPAK**

Nama Mahasiswa

: **Rika Sapitri**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **2117011048**

Jurusan

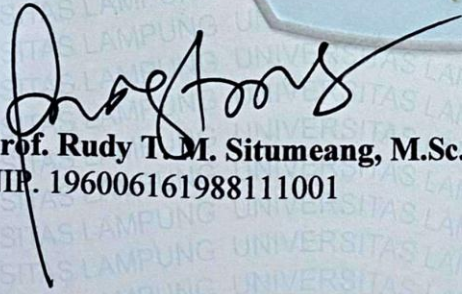
: **Kimia**

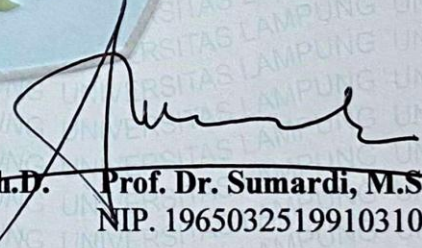
Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

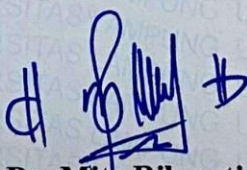


I. Komisi Pembimbing


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


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

II. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung


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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

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

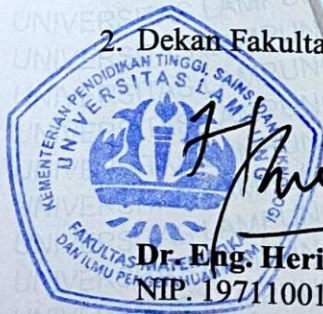
Sekretaris

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

Anggota

: **Prof. Dr. Noviany, 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: 17 Juli 2025

**LEMBAR PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rika Sapitri
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117011048
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul **“Potensi Nanomaterial S/CaO/nGO (0,625/1 dan 1/1) Sebagai Agen Antibakteri (*Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli*) dan Antijamur (*Candida albicans*) di Bawah Iradiasi Sinar Tampak”** adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Saya tidak keberatan apabila sebagian atau seluruhnya data didalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Bandar Lampung, 17 Juli 2025
Yang menyatakan,



Rika Sapitri
NPM. 2117011048

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Rika Sapitri, lahir di Biha pada tanggal 24 Agustus 2002. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Indra Juanda dan Ibu Destina. Saat ini, penulis bertempat tinggal di Desa Gunung Sari, Kecamatan Pesisir Selatan, Kabupaten Pesisir Barat, Provinsi Lampung. Jenjang pendidikan diawali dari Taman Kanak-Kanak di TK

Dharma Wanita Pesisir Selatan yang diselesaikan pada tahun 2009. Pendidikan dasar ditempuh di SDN 1 Biha dan diselesaikan pada tahun 2015. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 2 Pesisir Selatan dan lulus pada tahun 2018, kemudian menyelesaikan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Pesisir Selatan pada tahun 2021. Pada tahun yang sama, penulis diterima sebagai mahasiswi Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menempuh pendidikan di perguruan tinggi, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) FMIPA Universitas Lampung sebagai pengurus muda pada tahun 2021 dan sebagai pengurus inti pada periode 2022-2023 menjabat sebagai anggota Bidang Kaderisasi dan Pengembangan Organisasi (KPO). Selain berorganisasi, penulis juga mengikuti kegiatan Magang Industri dalam Program Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) yang dikonversi sebagai kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL), dengan laporan berjudul “Analisis Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan Klorida pada Sampel Air Sungai di UPTD Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Provinsi

Lampung”. Kegiatan tersebut dilaksanakan di Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Lampung pada tahun 2023.

Penulis juga telah mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Hurun, Kecamatan Teluk Pandan, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung pada tahun 2024. Selain itu, penulis pernah menjadi asisten Praktikum Kimia Fisik I pada Semester Ganjil Tahun Akademik 2024/2025 dan Kimia Fisik II pada Semester Genap Tahun Akademik 2024/2025.

MOTTO

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

“Hatiku tenang mengetahui apa yang melewatkan ku tidak akan pernah menjadi takdir ku, dan apa yang ditakdirkan untuk ku tidak akan pernah melewatkan ku”
(Umar bin Khattab)

“Maka bersabarlah, sesungguhnya janji Allah itu benar dan janganlah orang-orang yang tidak yakin meremehkan (janji-Nya)”
(Q.S Ar-Rum:60)

"Di balik setiap tetes keringat orang tuaku, tersimpan ribuan harapan yang menguatkan ku untuk terus melangkah ke depan."

PERSEMBAHAN



**Puji syukur kepada Allah SWT atas limpahan karunia-Nya.
Kupersembahkan karya ini sebagai wujud bakti dan tanggung jawabku
kepada:**

Kedua orang tuaku tercinta

Bapak Indra Juanda dan Ibu Destina, yang telah berjuang membesarkanku dengan penuh kesabaran, berkorban tanpa pamrih, mendidikku, memberikan cinta yang tak terhingga, mengajariku, serta tak henti-hentinya mendoakanku dalam setiap langkahku sehingga aku dapat menyelesaikan studi ini dan meraih gelar yang aku impikan. Semoga pencapaian ini dapat menjadi sumber kebahagiaan dan kebanggaan bagi Bapak dan Ibu.

Adik-adikku tersayang

Ulfa Aulia, Bintang Bahtra Alam, Sandra Aulia, dan Chika Yolanda. Terima kasih telah menjadi pelipur lelah dalam diam, penguat di saat semangatku mulai meredup, dan pendengar setia di tengah segala keluh kesahku. Kehadiran kalian menjadi semangat tersendiri yang menyertaiku hingga karya ini terselesaikan dengan baik.

Dosen-dosen pembimbing dan pembahas

yang selalu sabar mengoreksi, memberikan semangat, memotivasiku, mengajari dan membimbingku dalam menyelesaikan karya ini.

***Almamater Tercinta
Universitas Lampung***

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul "**Potensi Nanomaterial S/CaO/nGO (0,625/1 dan 1/1) Sebagai Agen Antibakteri (*Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli*) dan Antijamur (*Candida albicans*) di Bawah Iradiasi Sinar Tampak**" dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa dalam proses pengerjaan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari kesulitan dan rintangan yang penulis hadapi. Namun itu semua dapat terlewati berkat rahmat dan ridho Allah SWT serta bantuan, pengarahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini sebagai wujud rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Rudy T.M. Situmeang, Ph.D., selaku pembimbing utama, yang dengan penuh kesabaran, membimbing, memberikan ilmu, arahan, bantuan, serta motivasi dan dukungan selama proses penelitian dan penyusunan skripsi ini, sehingga penulis dapat menyelesaikannya dengan baik.
2. Bapak Prof. Dr. Sumardi, M.Si., selaku pembimbing kedua, yang juga telah memberikan bimbingan, ilmu, arahan, motivasi, dan dukungan berharga dalam setiap tahap penelitian hingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Ibu Prof. Dr. Noviany, S.Si., M.Si., selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu, memberikan koreksi, arahan, saran, serta kritik membangun kepada penulis dalam proses penyusunan dan penyempurnaan skripsi ini.

4. Bapak Prof. Dr. Drs. Hardoko Insan Qudus, SU., selaku Dosen Pembimbing Akademik, yang telah memberikan bimbingan, perhatian, dan dukungan selama masa perkuliahan, serta senantiasa membantu penulis dalam hal-hal yang berkaitan dengan akademik.
5. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Ibu Prof. Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung dan Ibu Dr. Dian Herasari, M.Si., selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung atas seluruh dedikasi dan ilmu yang diberikan kepada penulis selama perkuliahan.
8. Kepada Mbak Liza sebagai laboran di Laboratorium Anorganik/Fisik dan Mbak Oni sebagai laboran di Laboratorium Mikrobiologi atas bantuannya dalam mempersiapkan berbagai keperluan yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian di laboratorium.
9. Kepada cinta pertama dan pintu surgaku. Bapak Indra Juanda dan Ibu Destina. Terima kasih atas segala kasih sayang, doa, dan dukungan berupa moril maupun materil yang tidak terhingga sehingga penulis mampu menyelesaikan studi sarjana hingga selesai di Universitas Lampung.
10. Kepada adik-adikku tercinta Ulfa Aulia, Bintang Bahtra Alam, Sandra Aulia, dan Chika Yolanda. Terima kasih atas kehadiran kalian yang senantiasa membawa kebahagiaan serta menjadi sumber semangat yang berarti bagi kakak. Doa, dukungan, dan canda tawa kalian telah mewarnai setiap langkah dalam perjalanan ini.
11. Teman-teman seperjuangan penelitianku Haryati, Nanda, Nela, dan Adel terima kasih atas kerja sama, dukungan, serta kebersamaan dalam suka maupun duka selama proses penelitian. Semoga segala harapan dan cita-cita kita ke depannya dapat tercapai.
12. Sahabat RHA “nugget sister” Aviana Hanifah Lutfi, S.Si dan Hanna Luthfia Maghfiroh, S.Si. Terima kasih untuk segalanya.
13. Teman-teman Asrama putri ayu: Hanna, Aviana, Vanessa, Ulma, Tyas, Erwanda, Nadira, Hasma, Ayu, dan Caca terima kasih telah menjadi tempat

penulis berbagi cerita, berkeluh kesah, dan menciptakan kenangan berharga selama masa perkuliahan. Kebersamaan kita akan selalu menjadi bagian tak terlupakan dalam perjalanan ini.

14. Sahabatku Puspita Dwi Rani, terima kasih atas segala bentuk dukungan, doa, dan harapan yang telah diberikan kepada penulis.
15. Teman-teman penghuni pasca Lt.4 Aviana, Aziza, Hanna, dan Rima terima kasih telah menemani penulis sejak awal perkuliahan dan mengukir kenangan bersama di pasca Lt.4.
16. Teman-teman seperjuangan Kimia angkatan 2021 terima kasih atas segala dukungan dan motivasi yang diberikan selama perkuliahan hingga sampai akhir ini.
17. Semua pihak yang sudah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Terima kasih atas dukungan dan doa terhadap penulis.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna dan tentu masih terdapat berbagai kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai bahan perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi para pembaca.

Bandar Lampung, 17 Juli 2025

Penulis

Rika Sapitri

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
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 Bonggol Jagung.....	6
2.3 Grafit	7
2.4 Nano <i>Graphene Oxide</i> (nGO)	8
2.5 Cangkang Telur	9
2.6 Kalsium Oksida (CaO)	10
2.7 Sulfur (S)	10
2.8 Karakterisasi	11
2.8.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	11
2.8.2 <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	12
2.8.3 <i>UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-Vis DRS)	14
2.9 Fotokatalitik.....	14
2.10 Antimikroba.....	15
2.10.1 Antibakteri.....	15
2.10.2 Antijamur	16
2.10.3 Peran Nanopartikel Terhadap Antimikroba	17
2.11 Uji Aktivitas Antimikroba.....	18
2.12 Bakteri	19
2.12.1 Pewarnaan Gram Bakteri.....	19
2.12.2 <i>Bacillus subtilis</i>	19
2.12.3 <i>Escherichia coli</i>	20
2.13 Jamur	21
2.13.1 <i>Candida albicans</i>	21

III. METODE PENELITIAN	22
3.1 Waktu dan Tempat	22
3.2 Alat dan Bahan	22
3.3 Sintesis Nanomaterial S/CaO/nGO	23
3.3.1 Karbonisasi Serbuk Bonggol Jagung	23
3.3.2 Sintesis Grafit	23
3.3.3 Sintesis Nano <i>Graphene Oxide</i> (nGO)	23
3.3.4 Sintesis Kalsium Oksida (CaO)	24
3.3.5 Pencampuran S/CaO/nGO	25
3.4 Karakterisasi Nanomaterial	25
3.5 Uji Antimikroba	26
3.5.1 Sterilisasi Alat	26
3.5.2 Inokulasi Bakteri dan Jamur	26
3.5.3 Uji aktivitas Antibakteri Nanomaterial S/CaO/nGO	26
3.5.4 Uji aktivitas Antijamur Nanomaterial S/CaO/nGO	27
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Karbonisasi Bonggol Jagung	29
4.2 Grafit	30
4.3 Nano <i>Graphene Oxide</i> (nGO)	31
4.4 Karakterisasi Grafit dan Nano <i>Graphene Oxide</i> (nGO)	34
4.4.1 Analisis XRD Grafit dan Nano <i>Graphene Oxide</i> (nGO)	34
4.4.2 Analisis FTIR Grafit dan Nano <i>Graphene Oxide</i> (nGO)	35
4.5 Kalsium Oksida (CaO)	37
4.6 Karakterisasi Kalsium Oksida (CaO)	38
4.6.1 Analisis XRD Kalsium Oksida (CaO)	38
4.6.2 Analisis FTIR Kalsium Oksida (CaO)	39
4.6.3 Analisis DRS CaO	40
4.7 S/CaO	42
4.8 Karakterisasi S/CaO	43
4.8.1 Analisis XRD S/CaO	43
4.8.2 Analisis FTIR S/CaO	44
4.8.3 Analisis DRS S/CaO	45
4.9 S/CaO/nGO	46
4.10 Karakterisasi S/CaO/nGO	47
4.10.1 Analisis XRD S/CaO/nGO	47
4.10.2 Analisis FTIR S/CaO/nGO	48
4.10.3 Analisis DRS S/CaO/nGO	50
4.11 Uji Antibakteri dengan Metode Difusi Sumuran	52
4.12 Uji Antijamur dengan Metode Difusi Sumuran	55
V. SIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Simpulan	57
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	69

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Hasil uji antibakteri dengan metode difusi sumuran terhadap <i>B. subtilis</i>	52
2. Hasil uji antibakteri dengan metode difusi sumuran terhadap <i>E. coli</i>	53
3. Hasil uji antijamur dengan metode difusi sumuran terhadap <i>C. albicans</i>	55
4. Hasil perhitungan rendemen arang.....	70
5. Hasil perhitungan rendemen sintesis grafit.....	70
6. Hasil perhitungan rendemen sintesis nano <i>graphene oxide</i> (nGO).....	70
7. Hasil perhitungan rendemen sintesis kalsium oksida (CaO).....	71
8. Massa S/CaO setelah kalsinasi.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bonggol jagung.....	7
2. Struktur grafit.....	7
3. Struktur <i>graphene</i> dan GO.....	8
4. Cangkang telur	9
5. Hasil XRD GO.....	12
6. Skema Analisis FTIR	13
7. Spektrum FTIR sampel GO	13
8. Energi <i>band gap</i> (a) $\text{LaCr}_{0.99}\text{Fe}_{0.01}\text{O}_3$ (b) $\text{LaCr}_{0.99}\text{Mo}_{0.01}\text{O}_3$ (c) $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$	14
9. Skema fotokatalitik nanomaterial semikonduktor.....	15
10. Mekanisme kerja nanopartikel terhadap sel bakteri.....	18
11. <i>Bacillus subtilis</i>	20
12. <i>Escherichia coli</i>	20
13. <i>Candida albicans</i>	21
14. Diagram alir penelitian	28
15. (a) Serbuk bonggol jagung; (b) Arang bonggol jagung	29
16. Serbuk grafit	31
17. Skema pembentukan nGO.....	33
18. Serbuk nano <i>graphene oxide</i> (nGO)	33
19. Difraktogram XRD (a) grafit; (b) nGO.....	34
20. Spektrum FTIR (a) grafit; (b) nGO.....	36
21. Serbuk CaO.....	38
22. Difraktogram XRD CaO.....	39
23. Spektrum FTIR CaO.....	40

24. Spektrum absorbansi CaO.....	41
25. Grafik energi <i>band gap</i> CaO.....	41
26. Serbuk S/CaO.....	42
27. Difraktogram XRD S/CaO.....	43
28. Spektrum FTIR S/CaO.....	44
29. Spektrum absorbansi S/CaO.....	45
30. Grafik energi <i>band gap</i> S/CaO.....	46
31. Serbuk S/CaO/nGO (a) 0,625/1; (b) 1/1.....	47
32. Difraktogram XRD S/CaO/nGO (a) 0,625/1; (b) 1/1.....	47
33. Spektrum FTIR S/CaO/nGO (a) 0,625/1; (b) 1/1.....	49
34. Spektrum absorbansi S/CaO/nGO (a) 0,625/1; (b) 1/1.....	50
35. Grafik energi <i>band gap</i> S/CaO/nGO 0,625/1.....	51
36. Grafik energi <i>band gap</i> S/CaO/nGO 1/1.....	51
37. Hasil uji antibakteri terhadap <i>B. subtilis</i> (a) Tanpa penyinaran; (b) 15 menit penyinaran; (c) 30 menit penyinaran; (d) 45 menit penyinaran; (e) 60 menit penyinaran.....	75
38. Hasil uji antibakteri terhadap <i>E. coli</i> (a) Tanpa penyinaran; (b) 15 menit penyinaran; (c) 30 menit penyinaran; (d) 45 menit penyinaran; (e) 60 menit penyinaran.....	76
39. Hasil uji antijamur terhadap <i>C. albicans</i> (a) Tanpa penyinaran; (b) 15 menit penyinaran; (c) 30 menit penyinaran; (d) 45 menit penyinaran; (e) 60 menit penyinaran.....	77

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagian besar penyakit infeksi pada manusia disebabkan oleh masuknya mikroorganisme patogen yang masuk ke dalam tubuh, berkembang biak, dan menimbulkan penyakit. Infeksi dapat disebabkan oleh berbagai mikroorganisme seperti bakteri dan jamur. Adapun jenis bakteri dalam kelompok patogen diantaranya adalah *Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli*, bakteri tersebut dapat menyebabkan penyakit pada sistem pencernaan manusia. *B. subtilis* merupakan bakteri Gram positif yang dapat menyebabkan kerusakan pada makanan, sehingga makanan menjadi lebih cepat busuk dan beracun serta infeksi *gastroenteritis* (Faristin dkk., 2023). Sementara itu, *E. coli* merupakan bakteri Gram negatif yang dapat menyebabkan infeksi pada sistem pencernaan, seperti diare, serta infeksi saluran kemih (Rahayu dkk., 2018). Pengobatan yang umum digunakan untuk menangani infeksi bakteri adalah antibakteri atau antibiotik. Senyawa antibakteri bekerja dengan cara menghambat sintesis dinding sel bakteri, merusak membran plasma, menghambat sintesis protein dan asam nukleat, serta menghambat metabolisme esensial bakteri (Wilapangga dan Syaputra, 2018). Infeksi pada manusia yang merugikan juga dapat disebabkan oleh jamur salah satunya yaitu *Candida albicans*.

Candida albicans (*C. albicans*) merupakan mikroba flora normal yang dapat ditemukan pada saluran cerna, urogenital, dan kulit manusia (Mutiawati, 2016). *C. albicans* dikenal sebagai penyebab utama kandidiasis, infeksi jamur dengan insiden tertinggi yang bersifat oportunistik. Infeksi ini dapat menyerang kulit, mukosa, serta menyebabkan infeksi pada vagina yang dikenal sebagai

kandidiasis vaginitis dengan gejala seperti keputihan, gatal, dan pembengkakan (Rokhana dan Nadia, 2024). Senyawa yang digunakan untuk mengobati infeksi akibat jamur disebut antijamur. Senyawa antijamur memiliki berbagai mekanisme penghambatan terhadap sel jamur seperti menetralkan enzim yang terkait dalam invasi dan konisasi jamur, merusak membran sel, serta menghambat sistem enzim jamur sehingga mengganggu terbentuknya ujung hifa dan mempengaruhi sintesis asam nukleat dan protein (Djunaedy, 2008).

Antibakteri dan antijamur berperan penting dalam pengendalian infeksi akibat mikroorganisme patogen. Namun, sebagian besar antibakteri dan antijamur bersifat hidrofobik dengan kelarutan rendah serta rentan menimbulkan resistensi dan efek samping jangka panjang. Resistensi mikroba menjadi tantangan serius karena dapat menghambat efektivitas pengobatan dan meningkatkan angka kematian (Shariati *et al.*, 2022). Oleh karena itu, dibutuhkan pengembangan agen antimikroba baru yang efektif, aman, dan memiliki tingkat resistensi rendah. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah melalui penerapan nanoteknologi, yakni rekayasa material dalam skala 1-100 nm yang memiliki sifat fisikokimia yang unik seperti rasio luas permukaan yang tinggi dan kemampuan modifikasi permukaan. Nanomaterial terbukti dapat meningkatkan efektivitas antimikroba, memperbaiki sistem pengiriman obat, serta menurunkan efek toksik dan resistensi (Seong and Lee, 2018).

Graphene Oxide (GO) merupakan bentuk teroksidasi dari *graphene* dengan permukaan yang mengandung gugus fungsional oksigen seperti karboksil (COOH), karbonil (-C=O), hidroksil (-OH), dan epoksi (C-O-C), yang membuat sisi GO menjadi lebih aktif sehingga memiliki dispersibilitas air yang baik dan modifikasi permukaan yang serbaguna dalam banyak aplikasi (Cheong *et al.*, 2020). Struktur lembaran tipis GO dengan tepi tajam mampu merusak membran sel mikroba, menyebabkan kebocoran matriks intraseluler dan mengakibatkan kematian mikroorganisme (Kumar *et al.*, 2019). Berbagai studi telah membuktikan bahwa GO memiliki aktivitas antibakteri terhadap bakteri Gram positif maupun Gram negatif serta menunjukkan aktivitas antijamur (Bousiakou *et al.*, 2022). Penelitian yang dilakukan oleh Esquivel *et al.* (2021) juga

menunjukkan bahwa GO aktif menghambat pertumbuhan *B. subtilis*, *E. coli* dan *C. albicans*. Sehingga memperkuat potensi GO dalam pengembangan agen antimikroba berbasis nanomaterial.

GO umumnya disintesis dari grafit murni yang tersedia secara komersial, namun grafit dengan kemurnian tinggi cukup mahal dan sulit diperoleh. Oleh karena itu, diperlukan alternatif bahan baku yang lebih terjangkau dan mudah diperoleh, salah satunya adalah limbah pertanian seperti bonggol jagung (Achee *et al.*, 2018). Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2024, luas panen jagung nasional tahun 2023 mencapai 2,48 juta hektar, yang menghasilkan limbah jagung dalam jumlah besar. Komposisi kimia bonggol jagung terdiri dari hemiselulosa (30,91%), alfa-selulosa (26,81%), lignin (15,52%), nitrogen (2,12%), kadar air (8,38%), dan karbon (39,80%) yang merupakan komponen utama penyusun GO (Mas'udah *et al.*, 2020). Ketersediaan yang melimpah namun belum dimanfaatkan secara optimal, menjadikan bonggol jagung sebagai bahan baku alternatif pembuatan nano GO.

Dalam penelitian ini, nano *graphene oxide* (nGO) dikombinasikan dengan kalsium oksida (CaO), yang dikenal sebagai logam oksida dengan aktivitas fotokatalitik dan potensi sebagai katalis heterogen (Alsohaimi *et al.*, 2020). Nanopartikel CaO dapat dengan mudah masuk ke dalam sel bakteri dan jamur, serta menyebabkan distorsi dan menghancurkan membran sel yang menyebabkan kematian sel bakteri (Ramola *et al.*, 2019). Penelitian oleh Hemmami *et al.* (2024), melaporkan bahwa CaO aktif terhadap *S. aureus*, *E. coli* dan *C. albicans*. Selain itu, Djayasinga *et al.* (2024), melaporkan CaO dari bubuk cangkang telur menunjukkan aktivitas antibakteri *in vitro* terhadap *S. aureus* dan *E. coli* melalui mekanisme fotokatalitik saat terpapar sinar matahari. Aktivitas ini terjadi karena CaO melepaskan ion Ca^{2+} yang mengganggu struktur dinding sel bakteri melalui interaksi dengan senyawa organik dan kondensasi DNA.

CaO dapat disintesis dari limbah cangkang telur yang mudah diperoleh dan berlimpah, seiring meningkatnya konsumsi telur ayam setiap hari. Cangkang telur tersusun atas 94% kalsium karbonat (CaCO_3), 1% magnesium karbonat (MgCO_3),

1% kalsium fosfat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), dan zat organik lainnya (Gurav *et al.*, 2020).

Nanopartikel CaO dapat diperoleh melalui metode sol-gel diikuti dengan dekomposisi termal CaCO_3 pada suhu tinggi (Zahra dkk., 2024). Penelitian oleh Habte *et al.* (2019) menunjukkan bahwa sintesis CaO dari cangkang telur dengan metode sol-gel berhasil menghasilkan nanopartikel berukuran sekitar 50 nm.

Selain CaO, unsur non logam seperti sulfur juga memiliki sifat antimikroba dan telah lama digunakan dalam bidang dermatologi karena memiliki kemampuan sebagai agen antibakteri, antijamur, dan antivirus (Hashem *et al.*, 2021). Doping sulfur pada CaO/ nGO dapat menurunkan energi *band gap*, sehingga meningkatkan aktivitas fotokatalitik di bawah iradiasi sinar tampak. Saat terpapar cahaya, fotokatalis ini menghasilkan eksitasi elektron (e^-) dari pita valensi ke pita konduksi dan meninggalkan *hole* (h^+) yang bersifat sangat reaktif. *Hole* ini mampu mengoksidasi molekul H_2O menjadi radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$), yang kemudian merusak dinding sel mikroba dan menyebabkan kerusakan hingga membran sitoplasma (Furqonita dkk., 2021). Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan material S/CaO/nGO sebagai agen antibakteri dan antijamur yang diharapkan mampu menunjukkan aktivitas optimal melalui mekanisme fotokatalitik di bawah sinar tampak.

Penelitian terbaru mengenai penggunaan nanokomposit S/CaO/nGO sebagai antibakteri di bawah iradiasi sinar tampak telah dilakukan oleh Utama (2023). Dalam penelitian tersebut, nGO disintesis menggunakan metode Hummers termodifikasi. CaO diperoleh melalui kalsinasi yang kemudian didoping dengan sulfur dari asam sulfat. Uji antibakteri dilakukan dengan metode difusi cakram terhadap *B. subtilis*. dan *E. coli* menggunakan variasi perbandingan S/CaO/nGO sebesar 0,5/1 dan 1/1. Hasil menunjukkan bahwa S/CaO/nGO 0,5/1 dengan konsentrasi 0,32 mg/mL mampu menghasilkan zona hambat 4 mm terhadap kedua bakteri uji, sedangkan S/CaO/nGO 1/1 dengan konsentrasi 0,16 mg/mL menunjukkan zona hambat masing-masing 3 mm dan 2 mm, dengan waktu optimum penyinaran 30 menit. Namun, aktivitas antijamur dari nanokomposit ini belum pernah diteliti, sehingga menjadi dasar penting bagi penelitian ini untuk mengeksplorasi potensi antijamur S/CaO/nGO di bawah iradiasi sinar tampak.

Dalam penelitian ini, *nanosheets* GO disintesis menggunakan metode Hummers termodifikasi dengan memanfaatkan karbon dari limbah bonggol jagung. CaO diperoleh dari serbuk limbah cangkang telur melalui metode sol-gel, kemudian dikalsinasi pada suhu tinggi dan didoping dengan sulfur. Nanokomposit S/CaO diimpregnasikan dengan nGO dengan variasi perbandingan massa sebesar 0,625/1 dan 1/1. Karakterisasi material dilakukan menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dan *Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS). Nanokomposit yang diperoleh di uji aktivitasnya sebagai antibakteri terhadap *Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli*, serta uji antijamur terhadap *Candida albicans* menggunakan metode difusi agar.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memperoleh hasil nanomaterial S/CaO/nGO berukuran nano melalui sintesis.
2. Menganalisis potensi nanomaterial S/CaO/nGO sebagai antibakteri terhadap bakteri *Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli* serta antijamur terhadap jamur *Candida albicans*.
3. Melihat pengaruh penyinaran sinar tampak terhadap S/CaO/nGO sebagai antibakteri dan antijamur.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai pemanfaatan bonggol jagung dan cangkang telur dalam menghasilkan nanomaterial nGO/CaO. Serta kemampuan nanomaterial S/CaO/nGO sebagai antibakteri dan antijamur.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nanomaterial

Nanomaterial merupakan komponen penting dalam nanoteknologi, yang mencakup perancangan, karakterisasi, dan penerapan struktur atau sistem pada skala 1-100 nm (Sigh *et al.*, 2022). Nanopartikel memiliki sifat unik yang dapat dimodifikasi melalui pengontrolan ukuran, komposisi kimia, dan modifikasi permukaan. Berbagai jenis nanomaterial, seperti nanopartikel logam (emas, perak, besi, seng) dan logam oksida, telah dimanfaatkan bidang katalis, kedokteran, elektronika, dan energi karena sifatnya yang berbeda dibandingkan material berukuran besar (Fabiani *et al.*, 2018). Sintesis nanopartikel dapat dilakukan melalui pendekatan *top-down*, yaitu memecah partikel besar menjadi kecil dan pendekatan *bottom-up*, yaitu membentuk nanopartikel dari unit-unit kecil melalui proses kimia (Harish *et al.*, 2022). Karakterisasi nanopartikel penting untuk mengetahui sifat fisik dan kimianya, seperti ukuran, bentuk, dan kemampuan menyerap cahaya dengan karakteristik tertentu (Kumar and Yadav, 2011).

2.2 Bonggol Jagung

Bonggol jagung mengandung karbon (39,80%), hemiselulosa (30,91%), alfa-selulosa (26,81%), lignin (15,52%), nitrogen (2,12%), dan air (8,38%) (Mas'udah, 2020). Kandungan karbon yang tinggi menunjukkan bahwa bonggol jagung berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk sintesis karbon aktif. Proses sintesis karbon disintesis dari bonggol jagung dilakukan melalui pemanasan pada suhu tinggi atau karbonisasi menggunakan *furnace* (Harmawanda dkk., 2023).

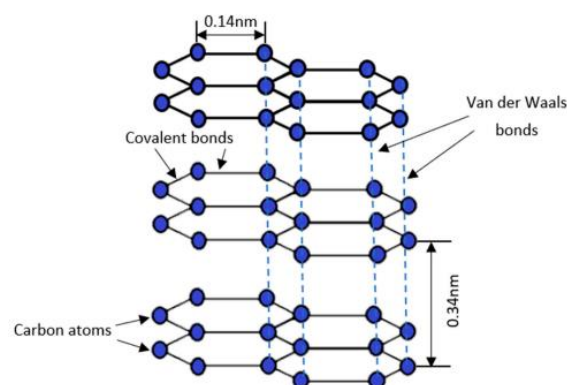
Karbon hasil karbonisasi kemudian dapat disintesis menjadi grafit, yang selanjutnya digunakan sebagai prekursor dalam sintesis nanomaterial, khususnya *graphene oxide* (Bete dkk., 2019).



Gambar 1. Bonggol jagung (Nurdjanah dkk., 2018).

2.3 Grafit

Grafit merupakan salah satu alotrop karbon yang tersusun dalam bentuk kristal dengan struktur heksagonal. Dalam strukturnya, atom-atom karbon saling terikat melalui ikatan kovalen dengan panjang rata-rata 0,14 nm dan membentuk kisi seperti sarang lebah. Grafit tersusun atas banyak lapisan *graphene* yang bertumpuk dan diikat oleh gaya Van der Waals yang lemah, dengan jarak antar bidang (002) sekitar 0,34 nm. Karena ikatan antar lapisan yang lemah, grafit bersifat lembut dan licin sehingga lapisannya mudah bergeser saat dikenai gaya eksternal (Yap *et al.*, 2023). Selain memiliki kekuatan dan kekakuan tinggi, grafit juga merupakan penghantar panas dan listrik yang baik (Ko *et al.*, 2020). Struktur grafit ditunjukkan pada Gambar 2.

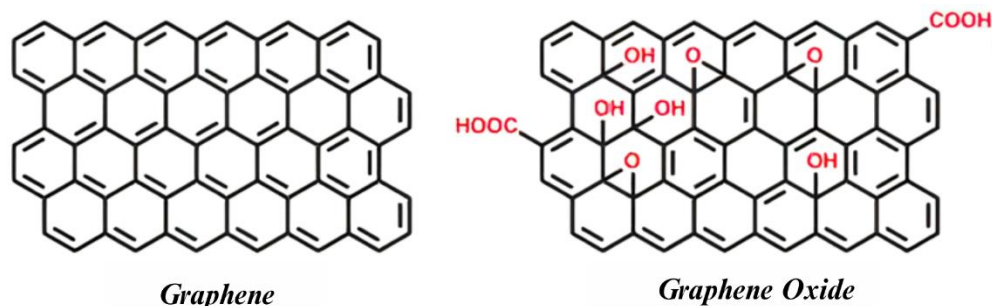


Gambar 2. Struktur grafit (Yap *et al.*, 2023).

Grafit alam biasanya diperoleh melalui proses penambangan, namun grafit juga dapat disintesis dari senyawa yang mengandung karbon melalui metode *catalytic graphitization*, yakni teknik sintesis grafit yang melibatkan reaksi antara karbon dan logam transisi sebagai katalis. Metode ini bertujuan meningkatkan kristalinitas karbon dan memungkinkan pembentukan grafit berkualitas tinggi pada suhu di bawah 1000°C dengan proses sederhana dan biaya rendah (Thambiliyagodage *et al.*, 2018). Dalam penelitian ini, logam transisi yang digunakan adalah Fe yang berasal dari $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang berfungsi sebagai katalis dalam proses grafitisasi untuk meningkatkan kristalinitas grafit (Xu *et al.*, 2020).

2.4 Nano *Graphene Oxide* (nGO)

Graphene merupakan lapisan atom tunggal karbon dengan hibridisasi sp^2 yang tersusun dalam pola kisi heksagonal. Secara struktural, *graphene* adalah senyawa hidrokarbon polisiklik aromatik berbentuk datar dan merupakan lapisan tunggal dari grafit (Sonia *et al.*, 2020). Salah satu turunan *graphene* yang paling dikenal adalah *Graphene oxide* (GO), yang terbentuk melalui proses oksidasi *graphene*. Proses ini menyebabkan masuknya berbagai gugus oksigen, seperti karboksil ($-\text{COOH}$), dan karbonil ($-\text{C}=\text{O}$) di tepi lembaran, serta hidroksil ($-\text{OH}$), dan epoksi ($\text{C}-\text{O}-\text{C}$) pada permukaan bidang datar *graphene* (Bete dkk., 2019). Berbeda dengan *graphene* yang bersifat hidrofobik, GO bersifat hidrofilik dan mudah terdispersi dalam air karena keberadaan gugus fungsi oksigen yang dapat berinteraksi dengan air (Zhao *et al.*, 2021). Selain itu, interaksi permukaan GO jauh lebih tinggi karena struktur GO memiliki domain aromatik (sp^2) dan alifatik (sp^3) (Singh *et al.*, 2023). Struktur *graphene* dan GO ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur *graphene* dan GO (Cahyana *et al.*, 2019).

GO dikenal sebagai adsorben yang efektif serta memiliki aktivitas antimikroba. GO telah menunjukkan efek bakterisida terhadap berbagai jenis bakteri Gram positif dan Gram negatif, serta memiliki sifat antijamur (Tohamy *et al.*, 2020). GO memiliki kelebihan antara lain kemudahan proses sintesis, kelarutan yang baik, serta konduktivitas yang dapat disesuaikan pada permukaan yang luas. GO dapat disintesis dengan berbagai metode, salah satu metode yang umum digunakan adalah metode Hummers termodifikasi, yang menggunakan H_2SO_4 untuk proses pengelupasan grafit, serta NaNO_3 dan KMnO_4 sebagai agen pengoksidasi. Metode ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode Brodie dan Staudenmaier. Pertama, KMnO_4 sebagai oksidator kuat mempercepat reaksi sehingga sintesis selesai dalam beberapa jam. Kedua, tidak menggunakan klorat sehingga risiko ledakan akibat ClO_2 dapat diminimalkan. Ketiga, penggunaan NaNO_3 sebagai pengganti HNO_3 dapat mengurangi kabut asam. Oleh karena itu, metode ini dianggap lebih efektif untuk produksi GO dalam skala besar.

2.5 Cangkang Telur

Cangkang telur adalah lapisan terluar dari telur yang berfungsi untuk melindungi semua bagian dalam telur dari kerusakan (Taha dkk., 2022). Cangkang telur merupakan limbah yang mudah diperoleh yang dihasilkan dari rumah tangga dan industri makanan. Kenaikan penggunaan dan konsumsi telur ayam setiap tahun menyebabkan peningkatan limbah cangkang telur. Namun, pengolahan limbah cangkang telur yang belum optimal dapat berdampak negatif pada lingkungan (Yani dkk., 2023). Komposisi cangkang telur terdiri dari 94% CaCO_3 , 1% MgCO_3 , dan 4% zat organik lainnya. Senyawa CaCO_3 yang dominan dalam cangkang telur membuatnya potensial untuk sintesis nanopartikel CaO (Habte *et al.*, 2019). Gambar cangkang telur dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Cangkang telur (Habte *et al.*, 2019).

2.6 Kalsium Oksida (CaO)

Kalsium oksida (CaO) merupakan senyawa kimia yang tersusun atas unsur kalsium (Ca) dan oksigen (O), termasuk ke dalam logam oksida alkali tanah. CaO berbentuk padat, berwarna putih, dan tidak berbau. Nanopartikel CaO dapat disintesis melalui beberapa metode, antara lain metode sol-gel dan dekomposisi kalsium karbonat (CaCO_3) pada suhu tinggi. Proses dekomposisi CaCO_3 menjadi CaO sangat dipengaruhi oleh suhu dan waktu pemanasan (Zahra dkk., 2024).

Nanopartikel CaO telah banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi seperti katalis heterogen, adsorben, pemurnian air, dan agen antibakteri (Yani dkk., 2023). Sebagai katalis heterogen, CaO memiliki kebasaan yang tinggi, bersifat padat sehingga mudah dipisahkan setelah reaksi, serta stabil pada suhu tinggi. CaO adalah senyawa logam oksida dengan luas permukaan besar dalam skala nano (Ramola *et al.*, 2019). Aktivitas antimikroba CaO dikaitkan dengan spesies oksigen aktif dan sifat alkalinitasnya. Aktivitas ini terjadi karena peningkatan pH akibat hidrasi CaO dengan air serta superoksida di permukaannya, yang sinergis menyebabkan kerusakan membran sel mikroorganisme (Alobaidi *et al.*, 2022).

2.7 Sulfur (S)

Sulfur atau belerang adalah unsur kimia dalam tabel periodik dengan lambang S dan nomor atom 16. Sulfur merupakan unsur non logam yang multivalen, melimpah, tidak berbau, dan tidak memiliki rasa. Dalam bentuk alaminya, sulfur hadir sebagai kristal padat berwarna kuning. Unsur ini ditemukan di alam dalam bentuk elemen murni maupun sebagai bagian dari mineral sulfida atau sulfat (Pogoa dan Tahril, 2021). Nanopartikel sulfur telah lama digunakan dalam berbagai bidang biomedis untuk mengobati infeksi kulit yang disebabkan oleh bakteri, jamur, dan parasit, serta merupakan bahan antimikroba aktif dalam berbagai kosmetik seperti sabun, krim, salep, dan *lotion* (Chantongsri *et al.*, 2021).

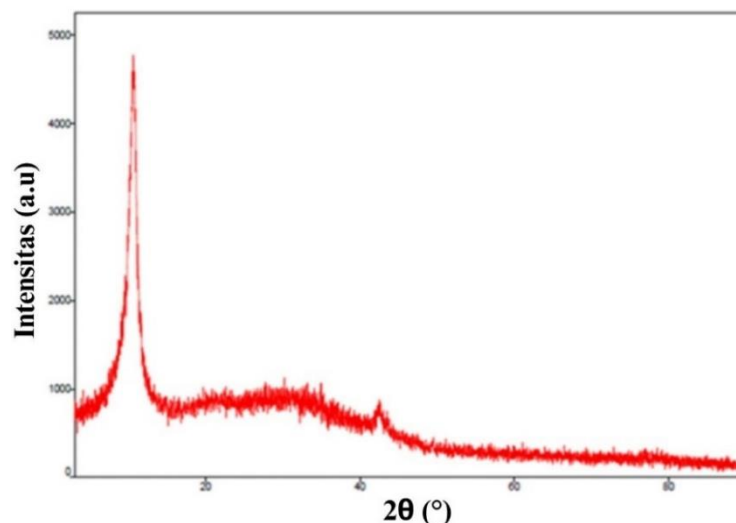
2.8 Karakterisasi

2.8.1 X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan teknik analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal suatu material dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X. Teknik ini dapat memberikan informasi kualitatif, seperti jenis fasa kristalin yang ada dan kuantitatif, seperti persentase masing-masing fasa dalam campuran. Prinsip dasar XRD adalah mendifraksi cahaya yang melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi atau kristal ini dapat terjadi apabila difraksi tersebut berasal dari jari-jari yang memiliki panjang gelombang yang setara dengan jarak antar atom, yaitu sekitar 1 angstrom. Radiasi yang digunakan berupa radiasi sinar-X, elektron, dan neutron. Sinar-X merupakan foton dengan energi tinggi yang memiliki panjang gelombang berkisar antara 0.5 sampai 2,5 angstrom (Hakim dkk., 2019).

Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, maka sebagian berkas akan diabsorpsi, ditransmisikan, dan sebagian lagi dihamburkan terdifraksi. Dari hamburan ini, hanya sebagian yang mengalami interferensi konstruktif dan membentuk pola difraksi, sedangkan sisanya mengalami interferensi destruktif dan saling meniadakan. Berkas sinar X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Difraksi yang tersebar inilah yang dideteksi oleh XRD sesuai Hukum Bragg. Pola difraksi yang terbentuk diplotkan dalam grafik intensitas terhadap sudut 2θ . Semakin banyak bidang kristal yang sama terdapat dalam sampel, semakin tinggi intensitas puncak yang dihasilkan. Setiap puncak mempresentasikan orientasi bidang kristal tertentu, untuk mengetahui fase dan orientasi bidang kristal, puncak-puncak tersebut dicocokkan dengan referensi data standar (Fatimah *et al.*, 2022).

Contoh hasil karakterisasi XRD dapat dilihat Pada Gambar 5, yang menunjukkan difraktogram GO dengan puncak difraksi teramati pada sudut $2\theta = 9,9^\circ$ serta jarak antar lapisan sebesar 8,9 Å. Hal ini mengindikasikan bahwa proses GO telah berhasil (Handayani *et al.*, 2019).

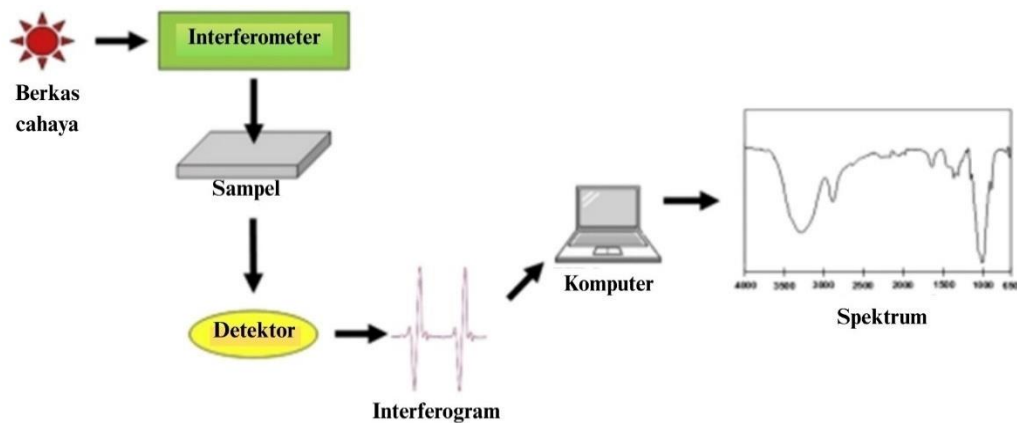


Gambar 5. Hasil XRD GO (Handayani *et al.*, 2019).

2.8.2 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

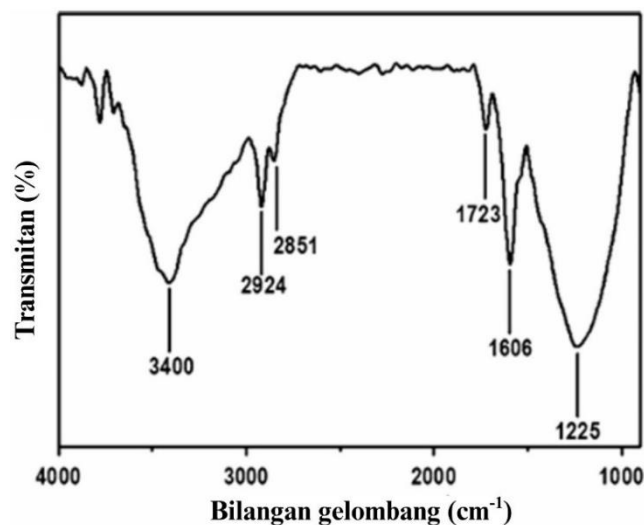
Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) merupakan teknik spektroskopi inframerah yang digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi suatu senyawa kimia berdasarkan interaksi molekul dengan radiasi inframerah. Spektrum inframerah memiliki rentang bilangan gelombang antara 14.000 cm^{-1} hingga 10^{-1} yang dibagi menjadi tiga daerah utama, yaitu IR dekat ($14000\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$) yang peka terhadap vibrasi *overtone*, IR sedang ($4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$) yang memberikan informasi mengenai gugus fungsi melalui transisi energi vibrasi, dan IR jauh ($400\text{--}10\text{ cm}^{-1}$) yang digunakan untuk analisis molekul anorganik tertentu dengan teknik khusus (Sari dkk., 2018).

Prinsip kerja FTIR ditunjukkan pada Gambar 6, di mana sinar inframerah dipancarkan dari sumber cahaya, masuk ke interferometer mengubah cahaya IR polikromatik menjadi sinyal interferogram, yang kemudian diteruskan melalui sampel. Detektor akan menangkap sinyal tersebut dan meneruskannya ke komputer untuk menghasilkan spektrum serapan yang menunjukkan hubungan antara intensitas dan bilangan gelombang (Suseno dan Firdausi, 2008).



Gambar 6. Skema analisis FTIR (Mohamed *et al.*, 2017).

Selama penyerapan inframerah, perubahan momen dipol molekul terjadi seiring dengan terjadinya vibrasi, seperti regangan (*stretching*) dan tekuk (*bending*). Vibrasi regangan merupakan perubahan panjang ikatan yang dapat terjadi secara simetris atau asimetris, sedangkan vibrasi tekuk terjadi karena perubahan sudut antar atom dalam molekul (Kombongkila *et al.*, 2024). Contoh dari analisis FTIR GO ditunjukkan pada Gambar 7.



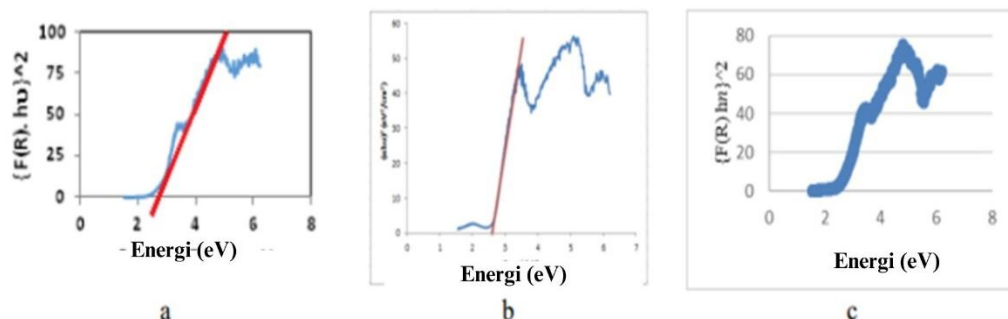
Gambar 7. Spektrum FTIR sampel GO (Roy *et al.*, 2013).

Pada Gambar 7, menunjukkan berbagai puncak yang menandakan adanya gugus-gugus fungsi oksigen pada GO. Puncak yang luas pada 3400 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi ulur dari gugus hidroksil (O-H). Puncak pada 2924 cm^{-1} dan 2851 cm^{-1} disebabkan oleh vibrasi CH_2 . Puncak pada 1723 cm^{-1} , 1606 cm^{-1} , dan 1225 cm^{-1} masing-masing menunjukkan gugus C=O dari karboksilat, C=C aromatik dan gugus epoksi (C-O) (Roy *et al.*, 2013).

2.8.3 UV-Vis *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS)

UV-Vis *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS) merupakan teknik karakterisasi spektroskopi yang digunakan untuk menentukan hubungan antara panjang gelombang dan absorbansi sampel, serta menghitung nilai energi celah pita (*band gap*) suatu material semikonduktor (Jumardin dkk., 2022). Energi *band gap* adalah selisih energi antara pita valensi yang terisi elektron dan pita konduksi yang kosong. Besarnya celah ini sangat berpengaruh terhadap kemampuan semikonduktor dalam mengalirkan elektron dan *hole*, sehingga menentukan performa material dalam berbagai aplikasi seperti fotokatalisis, sensor, dan perangkat elektronik (Hidayat dan Ariswan, 2022).

Penentuan nilai *band gap* menggunakan UV-Vis DRS dilakukan dengan memplotkan grafik hubungan antara $(F(R)hv)^2$ terhadap hv (eV), kemudian dilakukan ekstrapolasi pada daerah linear untuk memperoleh nilai *band gap*. (Rahmayanti dkk., 2023). Contoh energi *band gap* yang diperoleh dari spektroskopi UV-Vis DRS ditunjukkan pada Gambar 8.

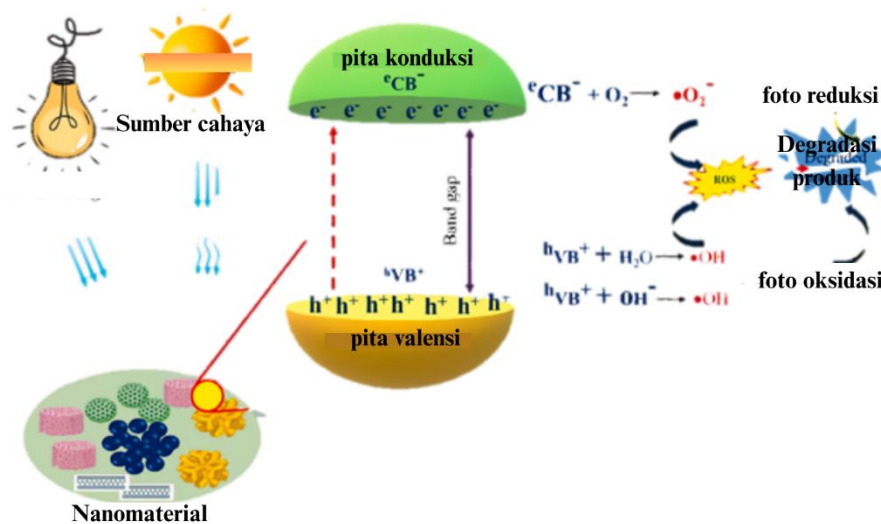


Gambar 8. Energi *band gap* (a). $\text{LaCr}_{0.99}\text{Fe}_{0.01}\text{O}_3$, (b). $\text{LaCr}_{0.99}\text{Mo}_{0.01}\text{O}_3$, dan (c). $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ (Situmeang *et al.*, 2024).

2.9 Fotokatalitik

Aktivitas fotokatalitik adalah kemampuan suatu material untuk mempercepat reaksi kimia ketika terpapar cahaya, baik sinar UV maupun sinar tampak. Proses ini dikenal sebagai fotokatalisis, yakni reaksi kimia yang berlangsung dengan bantuan katalis yang diaktifkan oleh energi cahaya (*foton*) (Hassaan *et al.*, 2023).

Salah satu contoh material fotokatalis yang sering digunakan adalah semikonduktor oksida seperti CaO, TiO₂, ZnO, CdS. Ketika foton dengan energi yang sesuai mengenai permukaan semikonduktor, elektron dalam pita valensi (VB) akan tereksitasi ke pita konduksi (CB) membentuk pasangan elektron (e^-) dan *hole* (h^+). *Hole* akan bereaksi dengan air atau ion hidroksil (OH^-) menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet OH$), sedangkan elektron (e^-) di pita konduksi dapat bereaksi dengan oksigen (O_2) menghasilkan radikal superoksida ($\bullet O_2^-$). Kedua spesies ini dikenal sebagai *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang sangat reaktif dan toksik terhadap mikroorganisme (Aswini *et al.*, 2024). Skema fotokatalitik nanomaterial semikonduktor dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Skema fotokatalitik nanomaterial semikonduktor (Aswini *et al.*, 2024).

2.10 Antimikroba

2.10.1 Antibakteri

Antibakteri merupakan senyawa yang berfungsi menghambat atau membunuh pertumbuhan bakteri dan umumnya digunakan dalam pengobatan infeksi yang disebabkan oleh bakteri. Berdasarkan mekanismenya, antibakteri dibagi menjadi dua jenis, yaitu bakterisida yang bersifat membunuh bakteri, dan bakteriostatik yang hanya menghambat pertumbuhan bakteri (Purnamaningsih dkk., 2017).

Secara umum, mekanisme kerja antibakteri dibagi menjadi lima kelompok utama,

diantaranya yaitu:

1) Menghambat sintesis dinding sel

Antibakteri golongan β -laktam (seperti penisilin, sefalosporin, karbapenem, monobaktam) dan glikopeptida (seperti vankomisin dan teikoplanin) bekerja dengan merusak struktur pembentukan peptidoglikan, yang merupakan komponen utama pada dinding sel bakteri, sehingga menyebabkan lisis sel.

2) Menghambat sintesis protein

Antibakteri golongan tetrasiklin, aminoglikosida dan kloramfenikol bekerja dengan mengikat ribosom bakteri dan mengganggu proses translasi, sehingga sintesis protein terhenti.

3) Merusak fungsi membran sel

Polimiksin sebagai antibakteri bekerja dengan meningkatkan permeabilitas membran luar bakteri, menyebabkan kebocoran ion dan isi sel lainnya.

4) Menghambat sintesis asam nukleat

Golongan kuinolon dan rifampisin menghambat enzim penting dalam replikasi DNA dan transkripsi RNA, sehingga mengganggu fungsi genetik sel bakteri.

5) Menghambat jalur metabolik

Antibakteri sulfonamid bekerja dengan cara menghambat sintesis asam folat melalui kompetisi terhadap PABA (para-aminobenzoic acid), yang penting untuk pertumbuhan bakteri.

2.10.2 Antijamur

Antijamur adalah senyawa yang digunakan untuk menghambat atau membunuh pertumbuhan jamur. Berdasarkan mekanismenya, antijamur dibedakan menjadi fungisida (membunuh jamur) dan fungistatik (menghambat pertumbuhan jamur). Tujuan utama pengobatan infeksi jamur adalah mengeliminasi patogen serta memulihkan flora normal kulit dan membran mukosa (Herkamela dan Yenny, 2022). Golongan antijamur berdasarkan mekanisme kerjanya antara lain:

1) Menghambat sintesis ergosterol

Antijamur dari golongan azol (seperti flukonazol dan ketokonazol) menghambat enzim lanosterol 14- α -demethylase (ERG11) yang berperan dalam biosintesis ergosterol, yaitu komponen utama membran sel jamur.

2) Mengganggu kestabilan membran sel

Antijamur golongan poliena (seperti amphotericin B dan nystatin) berikatan langsung dengan ergosterol dan membentuk pori-pori pada membran sel jamur, menyebabkan kebocoran ion dan molekul penting yang mengakibatkan ketidakseimbangan osmotik dan kematian sel.

3) Menghambat sintesis dinding sel jamur

Antijamur dari golongan echinocandins (seperti caspofungin) bekerja dengan menghambat enzim 1,3- β -D-glucan synthase yang berfungsi dalam pembentukan dinding sel jamur.

4) Mengganggu sintesis DNA dan RNA

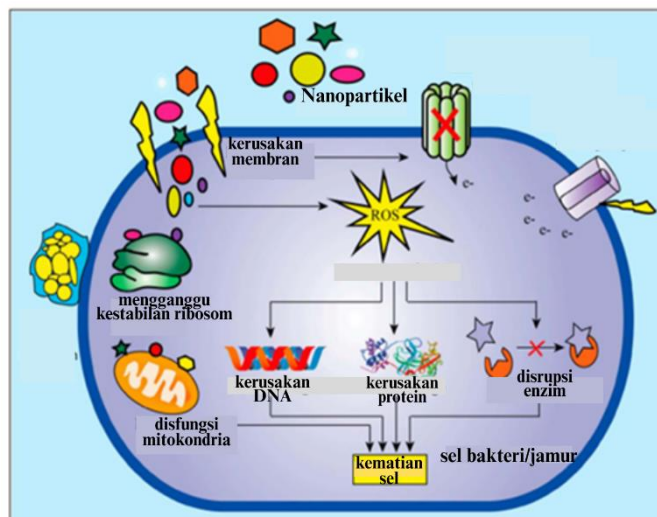
Antijamur seperti 5-fluorocytosin masuk ke dalam sel jamur dan diubah menjadi 5-fluorouracil, yang kemudian menghambat sintesis DNA dan RNA, sehingga menghambat pertumbuhan jamur.

2.10.3 Peran Nanopartikel Terhadap Antimikroba

Nanopartikel merupakan agen antimikroba inovatif yang memiliki keunggulan signifikan dibandingkan obat antibakteri dan antijamur konvensional, karena ukurannya yang sangat kecil memungkinkan penetrasi efektif ke dalam sel mikroorganisme, serta bekerja secara lebih kompleks melalui mekanisme multi-target yang membuat mikroba lebih sulit mengembangkan resistensi; keunggulan lainnya termasuk efektivitas tinggi pada konsentrasi rendah, stabilitas kimia yang baik, dan fleksibilitas aplikasi dalam bentuk sediaan obat maupun pelapis antimikroba pada alat medis dan kemasan. Mekanisme kerja nanopartikel meliputi beberapa jalur utama, antara lain:

- 1) Menghambat pembentukan biofilm yang berfungsi melindungi mikroorganisme dari lingkungan luar.
- 2) Menyebabkan kerusakan membran sel dengan menempel atau menembus dinding sel sehingga menyebabkan kebocoran isi sel.
- 3) Mengganggu rantai transpor elektron dan merusak pompa ion yang penting dalam produksi energi dan keseimbangan ionik sel.
- 4) Memicu produksi *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang menyebabkan kerusakan DNA, protein, mitokondria, dan destabilisasi ribosom.

Sehingga pada akhirnya seluruh kerusakan tersebut menyebabkan disfungsi dan kematian sel mikroorganisme, skema kerja nanopartikel terhadap bakteri dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Mekanisme kerja nanopartikel terhadap sel bakteri (Das and Patra, 2023).

2.11 Uji Aktivitas Antimikroba

Pengujian antimikroba bertujuan untuk memastikan efektivitas agen antibakteri dan antijamur dalam menghambat atau membunuh mikroorganisme patogen. Salah satu metode mikrobiologis yang umum digunakan adalah metode difusi sumuran (*Well Diffusion*). Metode ini dilakukan dengan cara membuat lubang (sumuran) secara vertikal pada media agar padat yang telah diinokulasi dengan mikroba uji. Lubang tersebut diisi dengan larutan atau suspensi senyawa uji, dan diinkubasi pada suhu tertentu. Aktivitas antimikroba ditunjukkan oleh

terbentuknya zona bening (zona hambat) di sekitar lubang, yang menandakan adanya penghambatan pertumbuhan mikroba. Kelebihan dari metode ini adalah kemudahan dalam pengukuran zona hambat karena penghambatan terjadi hingga bagian bawah media, serta prosedurnya yang relatif sederhana dan cepat. Namun, metode ini memiliki keterbatasan seperti kemungkinan adanya residu agar yang mengganggu bentuk sumuran (Nurhayati dkk., 2020).

2.12 Bakteri

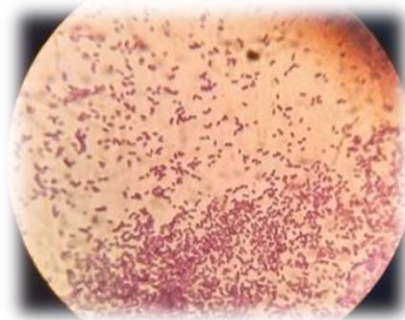
2.12.1 Pewarnaan Gram Bakteri

Bakteri merupakan salah satu jenis mikroorganisme yang tidak bisa dilihat oleh mata secara langsung. Berdasarkan komponen penyusun dinding selnya bakteri dibedakan menjadi dua yaitu Gram positif dan Gram negatif. Bakteri yang menunjukkan warna ungu dikelompokkan pada jenis bakteri Gram positif, jika menunjukkan warna merah maka dikelompokkan pada jenis bakteri Gram negatif. Bakteri Gram positif memiliki satu lapisan peptidoglikan tebal sebagai komponen utamanya, sedangkan bakteri Gram negatif peptidoglikan tipis dan membran luar yang tersusun atas lipoprotein, fosfolipid dan lipopolisakarida (Rini dan Rohmah, 2020).

2.12.2 *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis (*B. subtilis*) merupakan bakteri Gram positif yang termasuk dalam kelompok bakteri famili *Bacillaceae*, yang dapat ditemukan di tanah, air, udara, dan permukaan tanaman serta endofit dari jaringan tanaman seperti akar, batang, pelepah, dan daun (Djarmiko *et al.*, 2022). *B. subtilis* adalah bakteri bersel satu yang berukuran 0,5-2,5 μm x 1,2-10 μm dan dapat hidup pada kondisi dengan atau tanpa adanya oksigen sehingga disebut sebagai mikroorganisme anaerobik fakultatif. Koloni bakteri *B. subtilis* pada media agar berbentuk bulat sedang, tepi tidak teratur, permukaan tidak mengkilap dan berwarna kecoklatan (Suriani dan Muis, 2016). *B. subtilis* memiliki kemampuan untuk membentuk

endospora yang protektif (Djarmiko *et al.*, 2022). *B. subtilis* jika terdapat dalam jumlah banyak di dalam usus maka akan mengakibatkan penyakit diare yang ditularkan melalui kontaminasi makanan (Zaini *et al.*, 2024).



Gambar 11. *Bacillus subtilis* (Bueno *et al.*, 2019).

2.12.3 *Escherichia coli*

Escherichia coli (*E. coli*) merupakan salah satu bakteri *coliform* termasuk famili *Enterobacteriaceae*. *E. coli* bersifat gram negatif, berbentuk batang dengan ukuran berkisar antara 1.0-1.5 μm x 2.0-6.0 μm , dan dapat bersifat motil dengan flagel atau tidak motil. Bakteri ini dapat tumbuh baik dengan atau tanpa oksigen (fakultatif anaerob), tidak membentuk spora, serta mampu bertahan di media miskin nutrisi. *E. coli* dapat hidup dalam saluran pencernaan manusia atau hewan namun juga mampu bertahan hidup pada lingkungan abiotik seperti air tawar, air laut, dan tanah (Rahayu dkk., 2018). *E. coli* dikenal sebagai organisme komensal yang umumnya tidak berbahaya, tetapi beberapa strain dapat menjadi patogen dan menyebabkan berbagai penyakit pada manusia, seperti infeksi saluran kemih (ISK), sepsis neonatal, dan meningitis neonatal. *E. coli* adalah sindrom uremik hemolitik (HUS), yang diakibatkan oleh infeksi usus (Ramos *et al.*, 2020).



Gambar 12. *Escherichia coli* (Ramos *et al.*, 2020).

2.13 Jamur

2.13.1 *Candida albicans*

Candida albicans (*C. albicans*) adalah jamur oportunistik dari genus *Candida* yang secara normal hidup secara komensal dan tidak invasif dalam tubuh manusia sehat, namun dalam kondisi tertentu seperti penurunan imunitas atau perubahan lingkungan mikro, jamur ini dapat berubah menjadi patogen dengan membentuk dua morfologi utama, yaitu bentuk ragi (blastospora) dan miselium (pseudohifa) (Indrayati dan Sari, 2018). *C. albicans* tumbuh optimal pada suhu antara 28°C hingga 37°C dan pH 4,5–5,5, serta membutuhkan karbohidrat sebagai sumber karbon utama untuk mendukung pertumbuhan dan proses metabolismenya secara makroskopis, koloni *C. albicans* berbentuk bulat atau lonjong, berwarna putih hingga kekuningan, permukaannya halus hingga berlipat, berbau khas seperti ragi, dengan hifa semu yang menembus medium padat atau tumbuh di dasar medium cair, dan secara klinis jamur ini dapat menyebabkan berbagai infeksi seperti kandidiasis mukosa, diseminata, dan kandidiasis vagina (vaginitis) yang ditandai dengan keputihan, gatal, iritasi vulva, dan bau tidak sedap, serta memiliki kemampuan membentuk biofilm yang berperan penting dalam invasi sel inang dan berkontribusi terhadap resistensi terhadap agen antijamur (Gulnar and Multani, 2021).



Gambar 13. *Candida albicans* (Mutiawati, 2016)

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2024 sampai dengan Mei 2025. Sintesis S/CaO/nGO dilakukan di Laboratorium Anorganik-Fisik, Jurusan Kimia. Uji antibakteri dan antijamur dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Jurusan Biologi di Fakultas MIPA Universitas Lampung. Analisis XRD dan FTIR dilakukan di Universitas Negeri Padang (UNP). Analisis energi *band gap* di Laboratorium UI-Chem, Universitas Indonesia.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu gelas beaker (100-1000 mL), gelas ukur (10-1000 mL), labu ukur (100-1000 mL), Erlenmeyer 250 mL, pipet volume 25 mL, pipet tetes, termometer, batang pengaduk, spatula, spin bar, mortar, alu, corong gelas, tabung reaksi, rak tabung tabung reaksi, desikator, neraca analitik, botol vial, *ice bath*, pH meter, *hotplate stirrer*, oven, *furnace*, ayakan 100 μm , aluminium foil, plastik *wrap*, cawan petri, bunsen, pinset, jarum ose, lampu *visible*, tabung sentrifugasi, *centrifuge*, *Biological Safety Cabinet (BSC)*, *Laminar Air Flow (LAF)*, *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Spektrofotometer Fourier Transform Infrared (FTIR)*, dan *UV-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)*.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu bonggol jagung, cangkang telur, akuades, H_2SO_4 95%, HCl 1 M, HCl 5%, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, NaOH 1 M, KMnO_4 , NaNO_3 , H_2O_2 (30%), $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, sulfur, *Nutrient Agar (NA)*, *Potato Dextrose*

Agar (PDA), *chloramphenicol*, *nystatin*, alkohol, *tissue*, kain kasa, plastik tahan panas, dan kapas.

3.3 Sintesis Nanomaterial S/CaO/nGO

3.3.1 Karbonisasi Serbuk Bonggol Jagung

Limbah bonggol jagung yang sudah bersih dipotong menjadi ukuran kecil dan digiling hingga menjadi serbuk halus. Kemudian, serbuk halus tersebut dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 2 jam. Setelah proses pengeringan, serbuk dimasukkan ke dalam cawan krus dan dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 350°C selama 2 jam hingga berubah menjadi arang. Arang yang dihasilkan ditempatkan di dalam desikator selama 15 menit, lalu dihaluskan menggunakan mortar. Arang yang telah halus ini akan digunakan untuk tahap berikutnya dalam sintesis grafit (Utama, 2023).

3.3.2 Sintesis Grafit

Sebanyak 5 gram arang yang telah diperoleh melalui proses karbonisasi dilarutkan dalam 500 mL akuades dan diaduk selama 30 menit. Kemudian, 4 mL $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ditambahkan ke dalam larutan tersebut dan diaduk kembali selama 15 menit. pH larutan diubah menjadi 2 dengan penambahan HCl 1 M secara bertahap, lalu pengadukan dilanjutkan pada suhu 60°C selama 5 jam. Setelah itu, endapan yang dihasilkan dinetralkan dengan akuades. Kemudian endapan dikeringkan di dalam oven pada suhu 50°C selama semalaman dan dilanjutkan pada suhu 110°C selama 5 jam (Utama, 2023).

3.3.3 Sintesis Nano *Graphene Oxide* (nGO)

Dalam sintesis nano *graphene oxide* (nGO) dilakukan dalam 2 tahap, yaitu tahap pertama oksidasi grafit menggunakan metode Hummers termodifikasi dan tahap

kedua pengelupasan grafit oksida menjadi lembaran *graphene oxide* melalui ultrasonikasi. Pada tahap pertama, langkah yang dilakukan yaitu 5 gram grafit dan 2,5 gram NaNO_3 dicampurkan dengan 120 mL H_2SO_4 95% ke dalam gelas beaker. Kemudian diaduk selama 10 menit dalam *ice bath* hingga suhu mencapai 5°C . Selanjutnya, 15 gram KMnO_4 ditambahkan secara perlahan dengan mempertahankan suhu campuran dibawah 5°C dan sambil diaduk selama 3 jam. Setelah itu, larutan campuran dikeluarkan dari *ice bath* dan diaduk pada suhu ruang selama 1 jam tanpa *ice bath*. Selanjutnya, suhu dinaikkan hingga menjadi 35°C dengan menambahkan akuades hingga volume larutan mencapai 400 mL. Setelah itu, 15 mL H_2O_2 ditambahkan secara perlahan untuk menghentikan reaksi. Hasil yang diperoleh kemudian disentrifugasi dengan larutan HCl 5%, diikuti dengan pengujian menggunakan barium klorida, dan sentrifugasi kembali dengan akuades hingga pH netral. Endapan yang dihasilkan didispersikan dalam 450 mL akuades dan disonikasi selama 2 jam. Setelah sonikasi, endapan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C hingga kering (Utama, 2023).

3.3.4 Sintesis Kalsium Oksida (CaO)

Cangkang telur dicuci dan dibersihkan dari membran kulit telur. Kemudian, cangkang dihancurkan hingga menjadi bagian-bagian kecil dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 120°C selama 2 jam. Setelah kering, cangkang digerus hingga menjadi serbuk halus dan diayak dengan ayakan berukuran $100\ \mu\text{m}$. Selanjutnya, sol dibentuk dengan mencampurkan 12,5 gram bubuk cangkang telur dalam 250 mL HCl 1 M pada suhu 90°C selama 2 jam dan busa yang terbentuk dibuang. Campuran kemudian disentrifugasi untuk memisahkan endapan dari larutan. Selanjutnya pembentukan gel dengan menambahkan 250 mL NaOH 1 M secara perlahan (*dropwise*). Larutan yang dihasilkan didiamkan selama satu malam pada suhu ruang dan didekantasi. Endapan yang diperoleh dicuci dengan akuades. Larutan jernih diuji dengan AgNO_3 menunjukkan perubahan warna menjadi coklat, menandakan pencucian selesai. Dekantasi dilanjutkan hingga hanya tersisa endapan. Endapan yang diperoleh kemudian dikeringkan pada

suhu 80°C dalam oven hingga kering. Setelah itu, dikalsinasi pada suhu 900°C selama 1 jam (Habte *et al.*, 2019).

3.3.5 Pencampuran S/CaO/nGO

Kalsium oksida (CaO) hasil sintesis dikeringkan dalam oven pada suhu 90°C selama 5 jam untuk menghilangkan kadar air, sehingga siap digunakan pada tahap berikutnya. Selanjutnya, sebanyak 1 gram sulfur dipanaskan di atas *hot plate* hingga mencair. Sulfur cair kemudian dituangkan ke dalam 1 gram CaO yang telah dipanaskan, sambil diaduk diatas *hot plate*. Proses pengadukan dan pemanasan dilakukan agar sulfur tetap dalam kondisi cair dan dapat tercampur dengan baik. Campuran yang dihasilkan kemudian dikalsinasi pada suhu 450°C selama 1 jam (Djayasinga *et al.*, 2025).

Setelah diperoleh S/CaO, selanjutnya dilakukan impregnasi nanokomposit S/CaO/nGO dengan variasi perbandingan 0,625/1 dan 1/1. Ditimbang S/CaO masing-masing sebanyak 0,625 gram dan 1 gram. Selanjutnya, masing-masing diimpreg dengan 1 gram nGO. Sampel dimasukkan ke dalam beaker 500 mL, ditambahkan 400 mL akuades, lalu di sonikasi selama 2 jam sampai tercampur. Hasil yang diperoleh kemudian di oven hingga kering dan diperoleh S/CaO/nGO dengan variasi perbandingan 0,625/1 dan 1/1 (Utama, 2023).

3.4 Karakterisasi Nanomaterial

Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui sifat struktural, kimia, dan optik nanomaterial. Karakterisasi dilakukan menggunakan XRD untuk mengidentifikasi fase kristalin dan menentukan ukuran kristal, FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi, serta DRS UV-Vis untuk menentukan nilai energi *band gap*.

3.5 Uji Antimikroba

3.5.1 Sterilisasi Alat

Semua peralatan yang digunakan dalam penelitian disterilkan terlebih dahulu. Alat-alat gelas dan media disterilkan dalam autoklaf pada suhu 121°C selama 30 menit.

3.5.2 Inokulasi Bakteri dan Jamur

Bakteri dan jamur uji diambil dengan jarum ose steril, kemudian digores dengan metode zig-zag pada media agar miring. Setelah itu, diinkubasi dalam inkubator selama 24 jam pada suhu 37°C.

3.5.3 Uji aktivitas Antibakteri Nanomaterial S/CaO/nGO

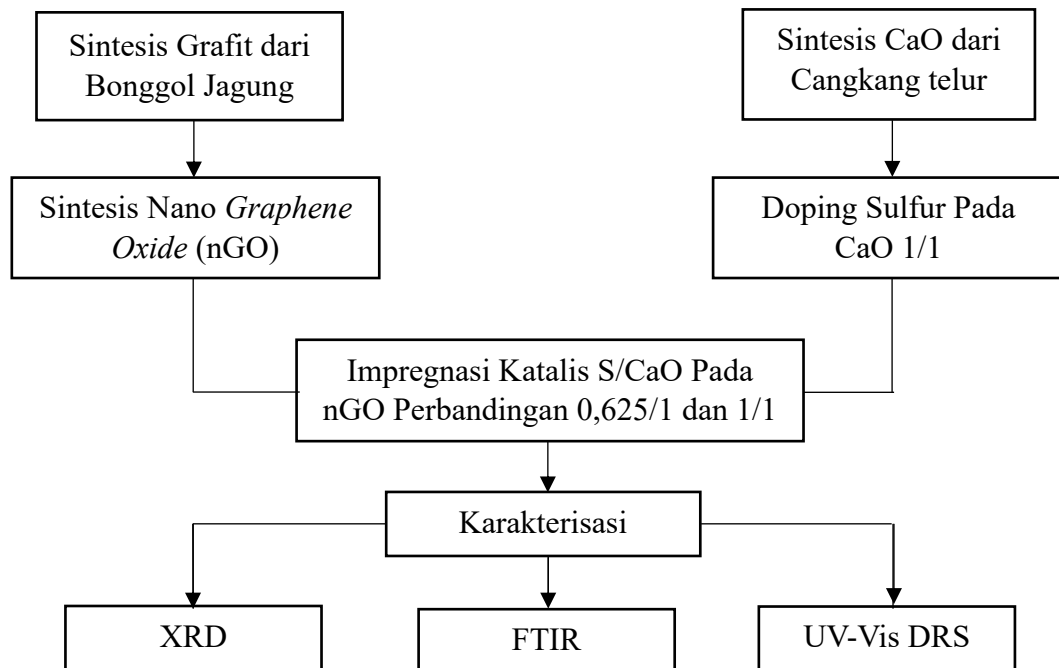
Uji aktivitas antibakteri dilakukan terhadap dua spesies bakteri uji, yaitu *B. subtilis* dan *E. coli*, menggunakan metode difusi sumuran. Media *Nutrient Agar* (NA) sebanyak 30 mL dituangkan ke dalam cawan petri, kemudian dibiarkan mengeras. Setelah itu, suspensi bakteri uji digoreskan secara merata menggunakan *cotton bud*, lalu dibuat sumuran pada media. Sampel antibakteri nGO, CaO, S/CaO, S/CaO/nGO perbandingan 0,625/1 dan 1/1 disiapkan dalam bentuk larutan dengan konsentrasi sebesar 80 mg/mL untuk setiap perlakuan. Sebagai kontrol positif digunakan *chloramphenicol* dengan konsentrasi 0,01 mg/mL dan kontrol negatif digunakan akuades. Seluruh larutan sampel kemudian dimasukkan ke dalam sumuran sebanyak 50 µL. Perlakuan penyinaran menggunakan cahaya tampak divariasikan selama 0 menit (tanpa penyinaran), 15, 30, 45, dan 60 menit. Kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Zona bening yang terbentuk di sekitar sumuran diamati dan diukur untuk menentukan aktivitas antibakteri dari nanomaterial yang diuji (Alouw dkk., 2022).

3.5.4 Uji aktivitas Antijamur Nanomaterial S/CaO/nGO

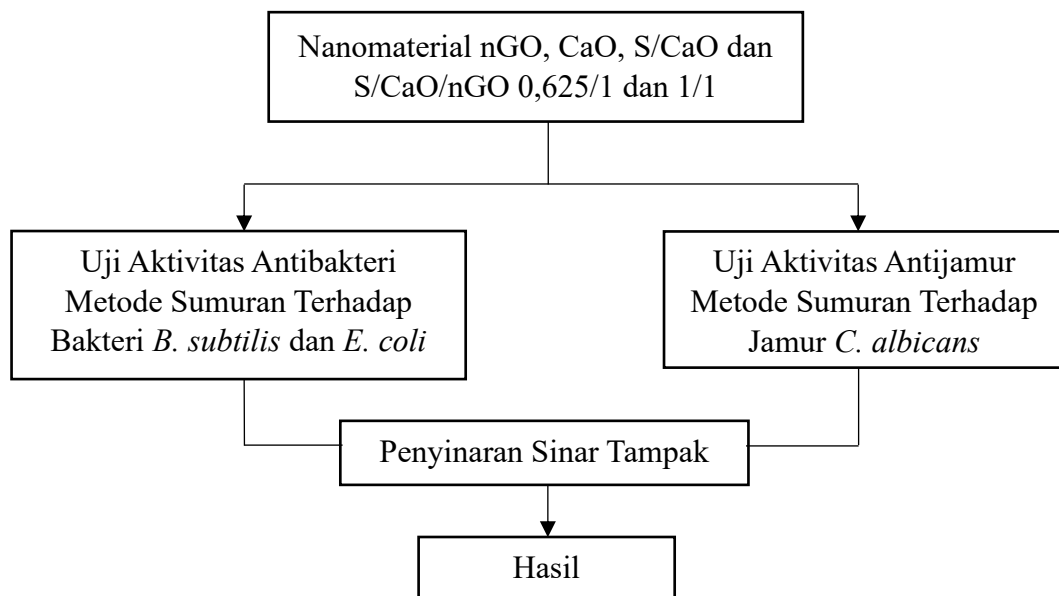
Uji aktivitas antijamur dilakukan terhadap spesies *C. albicans* menggunakan metode difusi sumuran. Media *Potato Dextrose Agar* (PDA) sebanyak 30 mL dituangkan ke dalam cawan petri, kemudian dibiarkan mengeras. Setelah itu, suspensi jamur uji digoreskan secara merata menggunakan *cotton bud*, lalu dibuat sumuran pada media. Sampel antijamur nGO, CaO, S/CaO, S/CaO/nGO perbandingan 0,625/1 dan 1/1 disiapkan dalam bentuk larutan dengan konsentrasi sebesar 80 mg/mL untuk setiap perlakuan. Sebagai kontrol positif digunakan *nystatin* dengan konsentrasi 0,01 mg/mL dan kontrol negatif digunakan akuades. Seluruh larutan sampel kemudian dimasukkan ke dalam sumuran sebanyak 50 μ L. Perlakuan penyinaran menggunakan cahaya tampak divariasikan selama 0 menit (tanpa penyinaran), 15, 30, 45, dan 60 menit. Kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Zona bening yang terbentuk di sekitar sumuran diamati dan diukur (Alouw dkk., 2022).

Secara keseluruhan, diagram alir pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Tahapan sintesis



2. Tahapan Uji Antibakteri dan Antijamur



Gambar 14. Diagram alir penelitian.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. Nanomaterial S/CaO/nGO perbandingan 0,625/1 dan 1/1 berhasil disintesis dalam skala nano, dengan ukuran partikel masing-masing sebesar 50,37 nm dan 50,22 nm.
2. Nanomaterial S/CaO/nGO perbandingan 0,625/1 dan 1/1 menunjukkan potensi sebagai agen antibakteri dan antijamur. Aktivitas antibakteri ditunjukkan oleh terbentuknya zona hambat terhadap *B. subtilis* masing-masing sebesar 11 mm dan 10 mm, serta terhadap *E. coli* sebesar 10 mm dan 8,5 mm. Aktivitas antijamur terhadap *C. albicans* ditunjukkan oleh zona hambat sebesar 9 mm dan 7,5 mm.
3. Penyinaran menggunakan sinar tampak memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan efektivitas antibakteri dan antijamur melalui mekanisme fotokatalitik. Waktu penyinaran optimum untuk menghasilkan zona hambat maksimum pada uji antibakteri terhadap *B. subtilis* dan *E. coli* adalah 45 menit, sedangkan untuk uji antijamur terhadap *C. albicans* adalah 60 menit. Hal ini menunjukkan bahwa durasi penyinaran berpengaruh terhadap pembentukan radikal bebas yang berperan dalam merusak dinding sel mikroorganisme.

5.2 Saran

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

1. Menjaga kestabilan suhu saat proses doping S/CaO untuk mencegah terjadinya aglomerasi atau penggumpalan pada sulfur yang disebabkan oleh suhu yang tidak konstan saat pencampuran dengan pemanasan.
2. Dilakukan karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDX) untuk mengamati morfologi dan distribusi sulfur dalam struktur CaO, serta sebaran S/CaO pada permukaan nGO setelah impregnasi.
3. Menggunakan alat *cork borer* saat melubangi sumuran agar ukuran lubang sumuran lebih seragam.

DAFTAR PUSTAKA

- Achee, T. C., Sun, W., Hope, J. T., Quitzau, S. G., Sweeney, C. B., Shah, S. A., Habib, T., and Green, M. J. 2018. High-Yield Scalable Graphene Nanosheet Production from Compressed Graphite using Electrochemical Exfoliation. *Scientific Reports*. 8(1): 1–8.
- Adaikalam, K., Hussain, S., Anbu, P., Rajaram, A., Sivanesan, I., and Kim, H. S. 2024. Eco-Friendly Facile Conversion of Waste Eggshells into CaO Nanoparticles for Environmental Applications. *Nanomaterials*. 14(20): 2–18.
- 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. American Chemical Society *ACS Omega*. 7(12): 10796–10803.
- Alobaidi, Y. M., Ali, M. M., and Mohammed, A. M. 2022. Synthesis of Calcium Oxide Nanoparticles from Waste Eggshell by Thermal Decomposition and their Applications. *Journal of Biological Sciences*. 15(2): 269–274.
- Alouw, G., Fatimawali, F., dan Lebang, J. S. 2022. Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Etanol Daun Kersen (*Muntingia Calabura L.*) Terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa* dengan Metode Difusi Sumuran. *Pharmacy Medical Journal*. 5(1): 36–47.
- Alsohaimi, I. H., Nassar, A. M., Seaf Elnasr, T. A., and Cheba, B. amar. 2020. A Novel Composite Silver Nanoparticles Loaded Calcium Oxide Stemming from Egg Shell Recycling: A Potent Photocatalytic and Antibacterial Activities. *Journal of Cleaner Production*. 248(4): 119–274.
- Aswini, R., Hartati, S., Jothimani, K., Pothu, R., Shanmugam, P., Lee, Y. Y., Masimukku, S., Boddula, R., Selvaraj, M., and Al-Qahtani, N. 2024. Revolutionizing Microorganism Inactivation: Magnetic Nanomaterials In Sustainable Photocatalytic Disinfection. *Journal of Environmental Management*. 8(4): 1–2

- Awaad, A., Olama, Z. A., El-Subruiti, G. M., and Ali, S. M. 2023. The Dual Activity of Caps as A Cancer Treatment Substance and at the Same Time Resistance to Harmful Microbes. *Scientific Reports*. 13(1): 1–13.
- 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 Sains dan Aplikasinya* · 4(2): 114–120.
- Berlin, V. 2022. Graphene Oxide Reduction and Decoration with Lead Sulphide Nanoparticles for Gas Sensing Application (Master's thesis, Politecnico di Milano).
- Bradder, P., Ling, S. K., Wang, S., and Liu, S. 2011. Dye Adsorption on Layered Graphite Oxide. *Journal of Chemical and Engineering Data*. 56(1): 138–141.
- Brisebois, P. P., and Siaj, M. 2020. Harvesting Graphene Oxide-Years 1859 to 2019: A Review of Its Structure, Synthesis, Properties and Exfoliation. *Journal of Materials Chemistry*. 8(5): 1517–1547.
- Chantongsri, A., Phuektes, P., Borlace, G. N., and Aiemsard, J. 2021. Antifungal Activity of Green Sulfur Nanoparticles Synthesized Using Catharanthus Roseus Extract Against Microsporum Canis. *Thai Journal of Veterinary Medicine*. 51(4): 705–713.
- 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.
- Cheong, Y. K., Arce, M. P., Benito, A., Chen, D., Crisostomo, N. L., Kerai, L. V., Rodriguez, G., Valverde, J. L., Cerpa, N., A., and Ren, G. 2020. Synergistic Antifungal Study of Pegylated Graphene Oxides and Copper Nanoparticles Against *Candida albicans*. *Nanomaterials*. 10(5): 1–19.
- Das, G., and Patra, J. K. 2023. Evaluation of Antibacterial Mechanism of Action , Tyrosinase Inhibition, and Photocatalytic Degradation Potential of Sericin-Based Gold Nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*. 24(31): 1-16.
- Djatkiko, H. A., Kurniawan, D. W., and Prihatiningsih, N. 2022. Potential of *Bacillus subtilis* Potato Isolate as Biocontrol Agent of *Xanthomonas oryzae* Pv. *Oryzae* and Candidate or Nanosuspension Formula. *Biodiversitas*. 23(7): 3313–3321.

- Djayasinga, R., Hadi, S., Sumardi, S., Simanjuntak, W., and Situmeang, R. T. M. (2025). Synthesis of Sulfur-doped Calcium Carbonate Nanocomposite Semiconductor Derived from Chicken Eggshell Powder. *Proceedings of the 5th International Conference on Applied Sciences, Mathematics, and Informatics*. 4(1): 194–209.
- Djayasinga, R., Situmeang, R. T. M., Unob, F., Hadi, S., Manurung, P., and Sumardi, S. 2024. Chicken Eggshell Powder as Antibacterial of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*: *In vitro*. *Journal of Multidisciplinary Applied Natural Science*. 1(1): 41–46.
- Djayasinga, R., Sumardi, Simanjuntak, W., Hadi, S., Sugiarti, M., and Situmeang, R. T. M. 2024. Synthesis of Calcium Oxide Utilizing Chicken Eggshell Waste Via A Foam-Free Approach. *Seminar Nasional Humaniora dan Aplikasi (SEHATI)*. 10(1): 1–7.
- Djunaedy, A. 2008. Aplikasi Fungisida Sistemik dan Pemanfaatan Mikoriza dalam Rangka Pengendalian Patogen Tular Tanah pada Tanaman Kedelai (*Glycine max L.*). *Embryo*. 5(2): 149–157.
- Esquivel, G., Cervantes-Cuevas, H., Ybieta-Olvera, L. F., Castaneda Briones, M. T., 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 and Engineering*. 123(12): 2–8.
- Esquivel, J., Meda, R., and Blatz, M. 2021. The Impact of 3D Implant Position on Emergence Profile Design. *The International Journal of Periodontics and Restorative Dentistry*. 41(1): 79–86.
- Fabiani, V. A., Sutanti, F., Silvia, D., dan Putri, M. A. 2018. Green Synthesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Pucuk Idat (*Cratoxylum Glaucum*) sebagai Bioreduktor. *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*. (2): 68.
- Fadlurrahman, M. D., Widiyanti, L., Erlinawati, E., Rusnadi, I., dan Pratiwi, I. 2024. Pengaruh Variasi Massa Tempurung Kelapa dan Waktu Karbonisasi Terhadap Kualitas Arang. *Jurnal Redoks*. 9(2): 205–212.
- Faristin, A., Natawaskita, K., dan Irawati, A. D. 2023. Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Etanol 96 % Daun Turi (*Sesbania grandiflora L.*) Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli* secara *in Vitro*. *Mantra Bhakti*. 1(25): 33–40.
- Fatimah, S., Ragadhita, R., Al Husaeni, D. F., and Nandiyanto, A. B. D. 2022. How to Calculate Crystallite Size from X-Ray Diffraction (XRD) Using Scherrer Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*. 2(1): 65–76.

- Fikri, A. A., dan Dwandaru, W. S. B. 2016. Pengaruh Variasi Konsentrasi Surfaktan dan Waktu Ultrasonikasi Terhadap Sintesis Material Graphene dengan Metode Liquid Sonication Exfoliation Menggunakan Tweeter Ultrasonication Graphite Oxide Generator. *Jurnal Fisika*. 5(3):188–197.
- Gao, Y., Yang, Y., Zhu, G., and Deng, N. 2017. Improving the Efficiency of Cao-Based Sorbent by SrCO_3 for High-Temperature Sulfur Removal During Coal Combustion. *Green Processing and Synthesis*. 6(6): 577–582.
- Geldasa, F. T., Kebede, M. A., Shura, M. W., and Hone, F. G. 2023. Experimental and Computational Study of Metal Oxide Nanoparticles for the Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants: A Review. *RSC Advances*. 13(27): 18404–18442.
- Gul, W., and Alrobei, H. 2021. Effect of Graphene Oxide Nanoparticles on the Physical and Mechanical Properties of Medium Density Fiberboard. *Polymers*. 13(11): 1–15.
- Gulnar, K., and Multani, H. 2021. Study of Vulvovaginal Candidiasis in Symptomatic Women of Reproductive Age Group Attending Tertiary Care Institute, Haryana Province. *Asian Journal of Medical Sciences*. 12(2): 66–70.
- Gurav, V. L., Samanta, R. A., Manjareb, S. B., Patilb, U. K., Solkarb, S. R., and Moghe, S. S. 2020. Biosynthesis of Calcium Oxide Nanoparticles Using *Ocimum Sanctum* (Tulsi) Leaf Extracts and Screening its Antimicrobial Activity. *Asian Journal of Nanoscience and Materials*. 3(22): 115–120.
- Guzik, F. A. 2023. Nanomaterials as Photocatalysts Synthesis and Their Potential Applications. *Materials*. 16(1): 1–22.
- Habte, L., Shiferaw, N., Mulatu, D., Thenepalli, T., Chilakala, R., and Ahn, J. W. 2019. Synthesis of Nano Calcium Oxide from Waste Eggshell by Sol-Gel Method. *Sustainability*. 11(11): 3–10.
- Handayani, M., Sulistiyono, E., Rokhmanto, F., Darsono, N., Fransisca, P. L., Erryani, A., and Wardono, J. T. 2019. Fabrication of Graphene Oxide/Calcium Carbonate/Chitosan Nanocomposite Film with Enhanced Mechanical Properties. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 578(1): 1–15.
- Harish, V., Ansari, M. M., Tewari, D., Gaur, M., Yadav, A. B., García-Betancourt, M. L., Abdel-Haleem, F. M., Bechelany, M., and Barhoum, A. 2022. Nanoparticle and Nanostructure Synthesis and Controlled Growth Methods. *Nanomaterials*. 12(18): 1–30.

- Harmawanda, S., Wahyuni, D., Nurhanisa, M., Hasanuddin, H., Zulfian, Z., dan Nurhasanah, N. 2023. Efektivitas Karbon Aktif dari Limbah Tongkol Jagung (*Zea mays*) dengan Variasi Aktivator Asam Klorida dalam Penyerapan Logam Besi pada Air Gambut. *Jurnal Fisika*. 13(1): 10–19.
- Hassaan, M. A., El-Nemr, M. A., Elkatory, M. R., Ragab, S., Niculescu, V. C., and El Nemr, A. 2023. Principles of Photocatalysts and Their Different Applications: A Review. In *Topics in Current Chemistry*. 381(6): 3–21.
- Hemmami, H., Zeghoud, S., Ben Amor, I., Alnazza Alhamad, A., Tliba, A., Alsalmeh, A., Cornu, D., Bechelany, M., and Barhoum, A. 2024. Green Synthesis of CaO Nanoparticles from Chicken Eggshells: Antibacterial, Antifungal, and Heavy Metal (Pb^{2+} , Cr^{2+} , Cd^{2+} and Hg^{2+}) Adsorption Properties. *Frontiers in Environmental Science*. 12(2): 1–17.
- Herkamela, S. W., dan Yenny. 2022. Berbagai Bahan Alam sebagai Antijamur *Malassezia Sp.* *Jurnal Kedokteran Syiah Kuala*. 20(10): 121–127.
- He, R., Gu, Y., Jia, J., Yang, F., Wu, P., Feng, P., and Shuai, C. 2025. Semiconductor Photocatalytic Antibacterial Materials and Their Application for Bone Infection Treatment. *Royal Society of Chemistry*. 10(13): 681–698.
- Hidayat, N., dan Ariswan. 2022. Pengaruh Temperatur terhadap Resistansi Bahan Konduktor Al, Cu dan Semikonduktor Lapisan Tipis Pb (Se,Te), Cdte Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Termal. *Jurnal Ilmu Fisika dan Terapannya*. 9(2): 21–31.
- Hossain, S., Rahman, M. S., Dhar, L., Quraishi, S. B., Abser, M. N., Rahman, F., and Rahman, M. T. 2021. Increasing the Potentiality of Graphene Oxide by Chloroacetic Acid for the Adsorption of Lead with Molecular Dynamic Interpretation. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. 7(2): 15–21.
- Fadlilah, I and Ayu P, R. D. 2024. Synthesis and Characterization of Reduced Graphene Oxide from Nipah Shell Charcoal (*Nypa Fruticans* Wurmb) Using Microwave Irradiation. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 27(11): 510–514.
- Indrayati, S., dan Sari, R. I. 2018. Gambaran *Candida albicans* pada Bak Penampung Air di Toilet SDN 17 Batu Banyak Kabupaten Solok. *Perintis's Health Journal*. 5(2): 133–138.
- Jumardin, Maddu, A., Santoso, K., dan Isnaeni. 2022. Karakteristik Sifat Optik Nanopartikel Karbon (Carbon Dots) dengan Metode UV-Vis DRS (Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy). *Journal Fisika dan Terapannya*. 9(1): 1–15.

- Khan, M., Ikram, M., Haider, A. Hamid, A., Ullah, H., Shahzadi, I., Khan, S., Kanoun, M. B., Said, S. G., Median, F., and Nabgan, W. 2023. Experimental and DFT Study of GO-decorated CaO Quantum Dots for Catalytic Dye Degradation and Bactericidal Potential. *Frontiers in Environmental Science*. 1-11.
- Kigozi, M., Koech, R. K., Kingsley, O., Ojeaga, I., 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*. 9(2): 21–31.
- Ko, S., Kwon, Y. J., Lee, J. U., and Jeon, Y. P. 2020. Preparation of Synthetic Graphite from Waste PET Plastic. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 83(3): 449–458.
- Kombongkila, O., Taunaumang, H., and Tumimomor, F. R. 2024. Analisis Struktur Film Tipis Disperse Orange-3 Hasil FTIR. *Jurnal Fisika dan Terapannya*. 5(1): 45–50.
- Kumar, P., Huo, P., Zhang, R., and Liu, B. 2019. Antibacterial Properties of Graphene-Based Nanomaterials Parveen. *Eurasian Union Scientists*. 1(70): 31–33.
- Liyanage, C. D., Kumar, H., Perera, I., Abeykoon, P. G., Chen, F., Jaya, J. S., Suib, S. L., and Adamson. 2024. Synthesis of Graphene Oxide: Effect of Sonication During Oxidation. *Carbon*. 223(21): 1–23.
- Mas'udah, K. W., Taufiq, A., and Sunaryono, S. 2020. A Study on Phase and Microstructure of Reduced Graphene Oxide Prepared by Heating Corncobs. *Journal of Physical Science and Engineering*. 5(2): 66–70.
- Melo, H. P., Cruz, A. J., Candeias, A., Mirao, J., Cardoso, A. M., Oliveira, M. J., and Valadas, S. 2014. Problems of Analysis By FTIR of Calcium Sulphate-Based Preparatory Layers: The Case of A Group Of 16th-Century Portuguese Paintings. *Archaeometry*. 56(3): 513–526.
- Muniyalakshmi, M., Sethuraman, K., and Silambarasan, D. 2020. Synthesis and Characterization of Graphene Oxide Nanosheets. *Materials Today: Proceedings*. 21(8): 408–410.
- Ng, I. M. J., and Shamsi, S. 2022. Graphene Oxide (GO): A Promising Nanomaterial Against Infectious Diseases Caused by Multidrug-Resistant Bacteria. *International Journal of Molecular Sciences*. 23(16): 1-8.
- 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.

- Oloyede, C. T., Olatayo Jekayinfa, S., Olanrewaju Alade, A., Ogunkunle, O., Timothy Laseinde, O., Oyejide Adebayo, A., Veza, I., and Rizwanul Fattah, I. M. 2022. Potential Heterogeneous Catalysts from Three Biogenic Residues toward Sustainable Biodiesel Production: Synthesis and Characterization. *ChemistrySelect*. 7(48): 1–17.
- Pogoa, M., dan Tahril. 2021. Analisis Kandungan Sulfur pada Air Panas di Kaki Gunung Desa Sedoa Kecamatan Lore Utara Kabupaten Poso. *Media Eksakta*. 17(1): 98–101.
- Prasetya, N. B. A., Putri, M. R., Ngadiwiyan, and Gunawan. 2024. Poly Eugenol-Gum Arabic/Graphene Oxide Composite Coating for High Performance Anticorrosion Material. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 4(10): 1–11.
- Purnamaningsih, N., Kalor, H., dan Atu, S. 2017. Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Temulawak (*Curcuma xanthorrhiza*) Terhadap Bakteri *Escherichia coli* ATCC 11229 dan *Staphylococcus aureus* ATCC 25923. *Jurnal Penelitian Saintek*. 22(2): 140–147.
- Rahayu, W. P., Nurjanah, S., dan Komalasari, E. 2018. *Escherichia coli: Patogenitas, Analisis, dan Kajian Risiko*. IPB Press. Bogor.
- Rahmadani, T., Jonuarti, R., dan Hidayat, R. 2024. Pengaruh Variasi Komposisi ZnO/GO Terhadap Sifat Optik dan Elektronik ZnO/GO sebagai Kandidat Katalis Solar Cell. *Jurnal Pendidikan Tambusai*. 8(7): 35609–35616.
- Rahmayanti, D., Manurung, P., dan Marjunus, R. 2023. Perbandingan Aktifitas Fotokatalis Nanotitanium Tanpa dan dengan Penambahan Etanolamina di Bawah Sinar Matahari. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. 11(1): 99–104.
- Ramola, Bharti, Joshi Naveen Chandra, R. M., Juhi, C., and Singh, and A. 2019. Green Synthesis, Characterisations and Antimicrobial Activities of CaO Nanoparticles. *Oriental Journal of Chemistry*. 35(3): 1154–1157.
- Ramos, S., Silva, V., de Lurdes Enes Dapkevicius, M., Canica, M., Tejedor-Junco, M. T., Igrejas, G., and Poeta, P. 2020. *Escherichia coli* as Commensal and Pathogenic Bacteria Among Food-Producing Animals: Health Implications of Extended Spectrum B-Lactamase (ESBL) Production. *Animals*. 5(2): 1–10.
- Rinawati., Rahmawati, A., Muthia, D. R., Imelda, M.D., Latief, F. H., Mohamad, S., and Kiswandono, A. A. 2024. Removal of Ceftriaxone and Ciprofloxacin Antibiotics from Aqueous Solutions Using Graphene Oxide Derived from Corn Cob. *Global Journal of Environmental Science and Management (GJESM)*. 10(2): 573–588.

- Rinawati, R., Buhani, B., Widiarti, W., Isro, A., Fitrianiingsih, E., Rahmawati, A., Kiswandono, A. A., and Nitti, F. 2024. Enhancing Ciprofloxacin Removal: Unveiling the Potential of Graphene Oxide Synthesised from Cassava Peels Through Box-Behnken Design Optimisation. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. 12(4): 1–20
- Rini, C. S., dan Rohmah, J. 2020. *Bakteriologi Dasar*. In Umsida Press. Sidoarjo.
- Rokhana, dan Nadia, R. 2024. Uji Aktivitas Anti jamur Ekstrak Daun Sirih Merah (*Piper Crocatum*) terhadap Jamur Keputihan (*Candida albicans*). *Cendekia Journal of Pharmacy*. 8(1): 98–104.
- Sari, N. W., Fajri, M. Y., dan W, A. 2018. Analisis Fitokimia dan Gugus Fungsi dari Ekstrak Etanol Pisang Goroho Merah (*Musa Acuminata* (L.)). *Ijobb*. 2(1): 30.
- Seong, M., and Lee, D. G. 2018. Reactive Oxygen Species-Independent Apoptotic Pathway by Gold Nanoparticles in *Candida albicans*. *Microbiological Research*. 2(7): 33–40.
- 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 Technology Sciences*. 50(2): 240–254.
- Shariati, A., Arshadi, M., Khosrojerdi, M. A., Abedinzadeh, M., Ganjalishahi, M., Maleki, A., Heidary, M., and Khoshnood, S. 2022. The Resistance Mechanisms of Bacteria Against Ciprofloxacin and New Approaches for Enhancing the Efficacy of This Antibiotic. *Frontiers in Public Health*. 10(6): 1–13.
- Siburian, R., Sihotang, H., Lumban Raja, S., Supeno, M., and Simanjuntak, C. 2018. New Route to Synthesize of Graphene Nano Sheets. *Oriental Journal of Chemistry*. 34(1): 182–187.
- Sonia, F. J., Aslam, M., and Mukhopadhyay, A. 2020. Understanding the Processing-Structure-Performance Relationship of Graphene and Its Variants as Anode Material for Li-Ion Batteries: A Critical Review. *Carbon*. 156(4): 130–165.
- Supriyanto, G., Rukman, N. K., Khoiron Nisa, A., Jannatin, M., Piere, B., Zakki Fahmi, M., and Septya Kusuma, H. 2018. Biomass Graphene Oxide. *BioResources*. 13(3): 4832–4840.
- Surekha, G., Krishnaiah, K. V., Ravi, N., and Padma Suvarna, R. 2020. FTIR, Raman and XRD Analysis of Graphene Oxide Films Prepared by Modified Hummers Method. *Journal of Physics: Conference Series*. 1495(1): 1–10.

- Suseno, J. E., dan Firdausi, S. K. 2008. Rancang Bangun Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*) untuk Penentuan Kualitas Susu Sapi. *Berkala Fisika*. 11(1): 23–28.
- Thambiliyagodage, C. J., Ulrich, S., Araujo, P. T., and Bakker, M. G. 2018. Catalytic Graphitization in Nanocast Carbon Monoliths by Iron, Cobalt and Nickel Nanoparticles. *Carbon*. 134(12): 452–463.
- Thangaraj, B., Mumtaz, F., Abbas, Y., Anjum, D. H., and Solomon, P. R. 2023. Synthesis of Graphene Oxide from Sugarcane Dry Leaves by Two-Stage Pyrolysis. *Molecules*. 2–14.
- Tohamy, H. A. S., Anis, B., Youssef, M. A., Abdallah, A. E. M., El-Sakhawy, M., and Kamel, S. 2020. Preparation of Eco-Friendly Graphene Oxide from Agricultural Wastes for Water Treatment. *Desalination and Water Treatment*. 191(5): 250–262.
- Visca, R., Dewi, M. N., Liviani, A., and Satriawan, B. D. 2022. Characterization of FTIR in Graphite from Palm Oil Waste with Ferric Chloride Catalyst. *Interdisciplinary Social Studies*. 1(11): 2020–2023.
- Xu, Z., Zhou, Y., Sun, Z., Zhang, D., Huang, Y., Gu, S., and Chen, W. 2020. Understanding Reactions and Pore-Forming Mechanisms between Waste Cotton Woven and FeCl₃ During the Synthesis of Magnetic Activated Carbon. *Chemosphere*. 241(23): 125–133.
- Yani, M., Wardhani, G. A. P. K., dan Taufiq, A. 2023. Pembuatan Nanopartikel CaO dari Cangkang Telur Ayam Menggunakan Ekstrak Etanol Daun Salam (*Syzygium polyanthum*). *Jurnal Sains Teknologi dan Lingkungan*. 9(1): 25–34.
- Yap, Y. W., Mahmed, N., Norizan, M. N., Abd Rahim, S. Z., Ahmad Salimi, M. N., Abdul Razak, K., Mohamad, I. S., Abdullah, M. M. A. B., and Mohamad Yunus, M. Y. 2023. Recent Advances in Synthesis of Graphite from Agricultural Bio-Waste Material: A Review. *Materials*. 16(9): 1–26.
- Yazhini, R. I., Latha, M. R., Rajeswari, R., Marimuthu, S., Lakshmanan, A., and Subramanian, K. S. 2023. Synthesis and Characterization of Nano sulphur: Exploring its Potential as Slow Release Fertilizer. *Journal of Applied and Natural Science*. 15(3): 937–944.
- Zahra, M. A., Hiyahara, I. A., and Syaima, H. 2024. Mini Review : Synthesis and Characterization of Nanoparticel CaO from Eggshell Using Calcination Method. *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Terapan III*. 2(4): 74–78.

- Zaini, N., Mayasari, U., dan Amelia Nasution Rizki. 2024. Uji Aktivitas Minyak Atsiri Daun Ekor Kucing (*Acalypha hispida*) sebagai Disinfektan Alami Terhadap Bakteri *Bacillus subtilis* dan *Klebsiella pneumoniae* Secara *In-Vitro*. *Jurnal Biologi Makassar*. 9(1): 87–96.
- 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.
- Zhao, B., Yang, S., Deng, J., and Pan, K. 2021. Chiral Graphene Hybrid Materials: Structures, Properties, and Chiral Applications. *Advanced Science*. 8(7): 1–43.
- Zhou, A., Yu, T., Liang, X., and Yin, S., 2023. H₂O₂-Free Strategy Derived from Hummers Method for Preparing Graphene Oxide with High Oxidation Degree. *Journal FlatChem*. 38(12):1-18.