

**SINTESIS, KARAKTERISASI DAN APLIKASI NANOMATERIAL
S/CuO/nGO YANG DIIRADIASI SINAR *VISIBLE* SEBAGAI
ANTIBAKTERI TERHADAP BAKTERI *ESCHERICHIA COLI* DAN
*BACILLUS SP***

(Skripsi)

Oleh

Syngap Diningrat Sitompul



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

SINTESIS, KARAKTERISASI DAN APLIKASI NANOMATERIAL S/CuO/nGO YANG DIIRADIASI SINAR *VISIBLE* SEBAGAI ANTIBAKTERI TERHADAP BAKTERI *ESCHERICHIA COLI* DAN *BACILLUS SP*

Oleh

SYANGAP DININGRAT SITOMPUL

Pada penelitian ini, telah dilakukan sintesis dan karakterisasi *nanosheets* GO menggunakan metode Hummers termodifikasi dan ultrasonikasi, CuO menggunakan metode sol gel, dopan sulfur kedalam CuO menghasilkan masing-masing katalis S/CuO 0,25/1 dan S/CuO 0,75/1, dan impregnasi katalis S/CuO ke *nanosheets* GO menggunakan metode impregnasi basah dengan bantuan alat *ultrasonic cleaner*, diperoleh nanomaterial S/CuO/nGO dengan perbandingan masing-masing 0,25/1 dan 0,75/1 yang kemudian dianalisis menggunakan XRD dan diperoleh nanomaterial berukuran 40,75 dan 47,03 nm. Hasil analisis menggunakan DRS diperoleh nilai energi *band-gap* masing-masing nanomaterial S/CuO/nGO sebesar 0,97 eV dan 1,25 eV. Sampel *nanosheets* GO, CuO, S/CuO (0,25/1; 0,75/1) dan S/CuO/nGO (0,25/1; 0,75/1) selanjutnya dilakukan uji antibakteri menggunakan metode MIC dan Difusi cakram. Hasil yang diperoleh dari metode MIC yaitu nanomaterial S/CuO/nGO 0,75/1 memiliki sensitivitas yang paling baik yaitu pada konsentrasi 0,01 mg/mL (bakteri *Escherichia coli*) dan 0,00125 mg/mL (bakteri *Bacillus sp*). Hasil konsentrasi MIC kemudian dilanjutkan pengujian menggunakan metode Difusi cakram dan diperoleh hasil, sampel *nanosheets* GO, CuO, S/CuO (0,25/1; 0,75/1) dan S/CuO/nGO (0,25/1; 0,75/1) teridentifikasi memiliki zona bening lebih maksimal pada perlakuan tanpa sinar yaitu kisaran 2-6 mm.

Kata kunci: *Nanosheets* GO, S/CuO/nGO, Katalis, MIC, Difusi cakram

ABSTRACT

SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND APPLICATION OF NANOMATERIALS S/CUO/nGO BY IRRADIATED VISIBLE LIGHT AN ANTIBACTERIAL AGAINTS *ESCHERICHIA COLI* AND *BACILLUS SP* BACTERIA

By

SYANGAP DININGRAT SITOMPUL

In this research, synthesis and characterization of *nanosheets* GO were succesfully by using modified Hummers and ultrasonication method, CuO using the sol gel method, sulfur doped into CuO obtained S/CuO 0.25/1 and 0.75/1 catalyst respectively, and impregnation S/CuO catalyst to *nanosheets* GO with the wet impregnation method with helping of an ultrasonic cleaner instrument, S/CuO/nGO nanomaterials were obtained with a ratio of respectively 0.25/1 and 0.75/1 and then analyzed by using XRD and obtained nanomaterials measuring 40.75 and 47.03 nm. Based on the results of the analysis using DRS, the band gap energy values for each S/CuO/nGO nanomaterials were 0.97 and 1.25 eV. *Nanosheets* GO, CuO, S/CuO (0.25/1; 0.75/1) and S/CuO/nGO (0.25/1; 0.75/1) samples will subjected to antibacterial tests using MIC and Diffusion disc methods. The results by the MIC method, S/CuO/nGO 0.75/1 nanomaterials, had the best sensitivity at concentrations of 0.00125 mg/mL (*Escherichia coli* bacteria) and 0.01 mg/mL (*Bacillus sp* bacteria). Then, the MIC concentration was continued with the disc diffusion method and the results were obtained *nanosheets* GO, CuO, S/CuO (0.25/1; 0.75/1) and S/CuO/nGO (0.25/1; 0.75. /1) was identified as having a clearer zone that was maximum in the treatment without light, which was in the range of 2-6 mm

Keywords: *Nanosheets* GO, S/CuO/nGO, Catalyst, MIC, Disk Diffusion

**SINTESIS, KARAKTERISASI DAN APLIKASI NANOMATERIAL
S/CuO/nGO YANG DIIRADIASI SINAR *VISIBLE* SEBAGAI
ANTIBAKTERI TERHADAP BAKTERI *ESCHERICHIA COLI* DAN
*BACILLUS SP***

Oleh

Syngap Diningrat Sitompul

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS**

Pada

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



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Penelitian : **SINTESIS, KARAKTERISASI DAN APLIKASI
NANOMATERIAL S/CuO/nGO YANG
DIIRADIASI SINAR *VISIBLE* SEBAGAI
ANTIBAKTERI TERHADAP BAKTERI
ESCHERICHIA COLI DAN *BACILLUS SP***

Nama Mahasiswa : ***Syngap Diringrat Sitompul***


Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011093

Jurusan : Kimia


Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Prof. Rudy T. M. Situmeang, Ph.D.
NIP.19600161988111001



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

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung



Mulyono, S. Si., M. Si., Ph.D.
NIP.197406112000031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji
Ketua

: **Prof. Dr. Rudy T. M. Situmeang, M.Sc.**



Sekretaris

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



Penguji
Bukan Pembimbing

: **Dr. Yuli Ambarwati, S. Si., M. Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, M. Si.

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **17 Juli 2023**

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Syangap Diningrat Sitompul
NPM : 191701193
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Sintesis, Karakterisasi dan Aplikasi Nanomaterial S/CuO/nGO Yang Diiradiasi Sinar Visible Sebagai Antibakteri Terhadap Bakteri *Escherichia Coli* Dan *Bacillus Sp***", merupakan hasil penelitian dan pemikiran yang telah dikerjakan oleh saya sendiri dan tidak terdapat karya atau pendapat orang lain dalam hasil penelitian saya, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Saya tidak keberatan apabila data pada skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

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

Bandar Lampung, 17 Juli 2023

Pembuat pernyataan



Syangap Diningrat Sitompul
NPM 1917011093

RIWAYAT HIDUP



Pada tanggal 16 oktober 2000, penulis dilahirkan di salah satu desa di kabupaten Simalungun, provinsi Sumatera Utara yaitu tepatnya di desa Paliasiatan. Penulis merupakan anak ketiga dari lima bersaudara, yang dikaruniakan Tuhan bagi pasangan Bapak Lancar Sitompul dan Ibu Rosmawati Purba. Riwayat pendidikan penulis dimulai tahun 2006 hingga 2012 pada tingkat dasar yaitu di SD Negeri 091296 Panombeian panei, selanjutnya pada tingkat menengah ditempuh pada tahun 2012 hingga 2015 di SMP Negeri 3 Kota Pematangsiantar dan pada tingkat atas, penulis menempuh studi pada tahun 2015 hingga 2018 di SMA Negeri 1 Plus Raya. Pada tahun 2019, penulis melanjutkan studi perkuliahan yaitu dengan masuk dan terdaftar sebagai Mahasiswa di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) melalui jalur seleksi SBMPTN.

Periode menjalani masa perkuliahan, penulis merupakan mahasiswa yang aktif, baik dibidang akademik maupun non-akademik. Pada tahun 2019, penulis berhasil mengikuti program dan menjadi peserta pada *Microcredential Productivity-Track* di Universitas Padjajaran, yang disponsori oleh perusahaan Microsoft di tahun 2021. Pada tahun 2022, penulis juga telah melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Badan Pengujian dan Sertifikasi Mutu Barang (BPSMB) di Kota Bandar Lampung dan telah melaporkan hasil PKL dengan judul “**Analisis Perbandingan Hasil Uji Kandungan Antara Lada Hitam (*Piper Nigrum L*) dan Lada Putih (*Piper Nigrum L*)**”. Selama menjadi mahasiswa, penulis juga berhasil mengikuti program kampus merdeka yaitu Pejuang Muda yang diselenggarakan oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi

(Kemendikbudristek) bekerjasama dengan Kementerian Sosial (KEMENSOS) selama 58 hari di kota Bandar Lampung dan berhasil mendirikan satu proyek sosial Rumah Belajar Lansia di Kecamatan Bumi Waras, kota Bandar Lampung.

Dalam upaya peningkatan *soft skill* dan *hard skill*, penulis aktif dalam kegiatan organisasi internal ataupun eksternal. Salah satu kegiatan penulis yaitu ikut andil dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) sebagai anggota Biro Usaha Mandiri periode 2021- 2022. Disamping itu, penulis juga menjadi bagian dari keluarga Persekutuan Oikumene Mahasiswa MIPA (POMMIPA) dan Unit Kegiatan Mahasiswa Kristen Universitas Lampung selama perkuliahan di tahun 2019 hingga 2022. Kegiatan yang tidak kalah penting selama masa perkuliahan, yaitu dengan bergabungnya penulis di komunitas bisnis *Most Viral Project* (MVP) di tahun 2019 dan berhasil menjadi leader di cabang ciplaz sekitar kampus Universitas Lampung selama kurang lebih 1 tahun.

MOTTO

**“Tetapi carilah dahulu kerajaan Allah dan kebenarannya,
maka semuanya itu akan ditambahkan kepadamu.”**

Matius 6 : 33

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

Filipi 4 : 6

“Create your own happiness to keep you at peace”

(Tshaa)

“Semuanya Pasti Akan Berlalu”

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

(Penulis)

PERSEMBAHAN

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

Kedua orangtua ku terkasih, Bapak Lancar Sitompul dan Ibu Rosmawati Purba yang telah berjuang untuk mendidik dan membesarkanku, yang selalu mengasihi, mendukung dan mendoakan Keberhasilanku

Kakak, Abang, dan Adik-adik tersayang Widya Yosefin Sitompul, Desmon Mahanaim Sitompul, Naomi Monalisa Sitompul dan Sergio Sitompul serta seluruh keluarga besar yang selalu mendoakan sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ini,

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

Almamater tercinta Universitas Lampung

SANWACANA

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala Berkat dan Kasih Karunia-Nya yang melimpah, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Sintesis, Karakterisasi dan Aplikasi Nanomaterial S/CuO/nGO Yang Diiradiasi Sinar *Visible* Sebagai Antibakteri Terhadap Bakteri *Escherichia Coli* Dan *Bacillus Sp*”**.

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

1. Kedua orangtuaku terkasih, Bapak Lancar Sitompul dan Ibu Rosmawati Purba yang telah berjuang dan berkorban demi penulis, menjadi pendamping serta senantiasa memberikan semangat dan dukungan moral maupun materi. Terimakasih untuk segala kesabaran dan lelah yang dialami untuk keberhasilan penulis dalam menyelesaikan studi.
2. Bapak Prof. Dr. Rudy T.M. Situmeang, M. Sc., selaku pembimbing utama yang telah membimbing, memberikan banyak ilmu pengetahuan, bimbingan, nasihat, arahan, saran, bantuan, kritik dan motivasi yang sangat berarti bagi

penulis selama penelitian hingga penyusunan skripsi ini.

3. Bapak Prof. Dr. Sumardi, M. Si., selaku pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, arahan, kritik, saran, nasihat dan dukungan bagi penulis selama penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Dr. Yuli Ambarwati, S.Si., M. Si., selaku penguji atas kesediaan memberikan arahan, saran, koreksi, kritik, dan kepedulian terhadap penulis selama proses pengerjaan skripsi.
5. Bapak Prof. Dr. John Hendri, M. S., selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan dukungan dan semangat pada penulis selama perkuliahan.
6. Bapak Mulyono, Ph.D., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M. Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Seluruh dosen dan staf administrasi di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan dan motivasi pada penulis selama perkuliahan.
9. Saudara-saudariku tersayang Kak Widya Yosefin Sitompul, Bang Desmon Mahanaim Sitompul, Naomi Monalisa Sitompul dan Sergio Sitompul, terima kasih untuk dukungan, segenap kepedulian dan kebersamaan kalian selama penulis menjalani perkuliahan, selalu menjadi pendengar setia dan menjadi alasan untuk tetap berjuang sampai titik akhir.
10. Keluarga besar yang kukasihi, Op. Kembar Purba/Br. Situmorang, segenap Tulang dan Nantulang yaitu Elyanto Purba/Br. Banjarnahor, Darmen Purba/Br. Sidaruk, terima kasih sudah menjadi inspirasi penulis untuk menempuh pendidikan hingga jenjang yang lebih tinggi serta selalu menyemangati, mendukung dan mendoakan penulis selama perkuliahan.
11. Keluarga kecil Aceh , Kak Widya Yosefin Sitompul, Lae Julripandi Siallagan dan keponakan Betrix Zilvania Siallagan, terima kasih telah memberikan dukungan dan bantuan selama penulis menempuh periode masa perkuliahan.
12. Keluarga dekat di Lampung, Tulang Budianson Purba, Nantulang Melin Sidabalok, Grace Aprilia Purba, Michael Christian Purba dan Ronalsen

Sidabalok, terima kasih banyak atas kebaikan, kepedulian dan bantuan selama penulis menempuh masa perkuliahan.

13. Angkatan 2019 dan Kontrakan Anak Sholeh, terima kasih atas kebersamaanya selama masa perkuliahan yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu, sukses kedepannya.
14. Rekan kelas Kelas C Caring For Each Other, terima kasih penulis sampaikan atas segala kebersamaan yang pernah terjadi, kelas tersantuy yang pernah ada. Semangat guys about what you do and want to do, see you on top.
15. Rekan Riset Rudy 2019, Alya Maghfira, Aniska Legia dan Dony Ega Utama, terima kasih atas bantuan, dukungan dan kebersamaanya selama iniis semoga kita sukses atas jalan yang kita pilih, good luck gaysss .
16. Rekan tim PKL BPSMB Bandar Lampung, Sinta Nuryati dan Chinta Ayuning Berlian Purwadi, terima kasih atas bantuan selama penulis menjalankan proses perkuliahan terutama pada fase seminar hingga sidang. Semangat terus for what the next journey, see you on top.
17. Rekan tim Deadliner, Adya Raihan Mubarak dan Niko Hilal Fazri, terima kasih atas semua yang telah terlewati bersama, baik suka maupun duka, penulis berharap yang terbaik selalu untuk kita.
18. Rekan Maba yang telah rapuh satu, Havier Maheswara Putra dan Yohanes Hutasoit, terima kasih atas bantuan, kebersamaan dan kebaikan yang pernah penulis terima selama masa perkuliahan. You are unique people ever i see. Semoga sukses di jalan yang kita pilih kedepannya.
19. Rekan kating Bang Jeremia Christian Siringo-ringo dan Kak Arya Sanda serta Kakak-kakak bimbingan Rudy 2017 dan 2018, terima kasih penulis sampaikan atas ketersediaannya dalam menemani penulis di Laboratorium selama riset. Semoga tetap menjadi orang baik yangbersedia membantu sesama.
20. Rekan kelas teraktif yang telah alumni pada masanya, Alya Dzakiyyah Erlanda, terima kasih penulis sampaikan atas ketersediaannya dalam mengingatkan dan membangunkan penulis ketika perkuliahan online dan segenap kebaikannya selama penulis menempuh masa perkuliahan.
21. Laboran Ibu Liza Aprilia, S. Si, Oni Mastuti, S. Si., terimakasih Ibu atas

bantuan dan telah memberikan kemudahan terhadap penulis sehingga dapat menyelesaikan riset dengan baik.

22. Semua pihak yang telah membantu dan mendoakan penulis secara tulus dalam proses penyelesaian skripsi yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, semoga kebaikan yang penulis terima kembali ke kalian.
23. Jodoh penulis di masa depan, *you are one of the reason for this struggle.* Meskipun saat ini penulis belum tahu keberadaanmu, i believe that BJ Habibie said “Kalau memang dia dilahirkan untuk penulis, kamu jungkir balik pun penulis yang dapat”
24. *Last but not least, Thank you, myself, for being my own hero and guiding me through this journey. Thank you for never giving up with your own struggle in every stage and always being the best of what you want to do, even your situation is so uncertain. Stay safe, healthy and make sure your life is okay.*

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

Bandar Lampung, 17 Juli 2023

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Nanomaterial dan Nanoteknologi	5
2.1.1 Aplikasi Nanomaterial	6
2.1.2 Katalis Nanomaterial.....	7
2.2 Senyawa Tembaga Oksida (CuO).....	7
2.2.1 Metode Sintesis Nanopartikel CuO.....	8
2.2.2 Aplikasi Nanopartikel CuO Sebagai Antibakteri.....	9
2.3 Sulfur (S).....	10
2.3.1 Aplikasi Sulfur	10
2.3.2 Riset Antibakteri Sulfur	10
2.4 <i>Graphene</i>	11
2.4.1 <i>Graphene Oxide (GO)</i>	12
2.4.2 Preparasi <i>Nanosheets GO</i>	13
2.4.3 Aplikasi <i>Nanosheets GO</i>	14
2.5 Bonggol Jagung.....	15
2.5.1 Kandungan Bonggol Jagung	15
2.6 Karakterisasi Nanomaterial	16
2.6.1 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	16
2.6.2 Spektrofotometer FTIR	18
2.6.3 <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	20
2.6.4 Spektrofotometer DRS-VIS	22
2.7 Tinjauan Umum Bakteri.....	23

2.7.1 Bakteri <i>Escherichia coli</i>	24
2.7.2 Bakteri <i>Bacillus sp</i>	26
2.7.3 Mekanisme Antibakteri.....	27
2.7.4 Metode Pengujian Antibakteri.....	28
III. METODE PENELITIAN	30
3.1 Waktu dan Tempat.....	30
3.2 Alat dan Bahan.....	30
3.3 Sintesis <i>Nanosheets GO</i>	31
3.3.1 Karbonisasi Serbuk Bonggol Jagung.....	31
3.3.2 Sintesis <i>Natural Graphite</i>	31
3.3.3 Sintesis <i>Nanosheets GO</i>	32
3.4 Sintesis CuO.....	32
3.4.1 Impregnasi Nanomaterial S/CuO/nGO.....	33
3.5 Metode Analisis.....	33
3.5.1 Analisis <i>Fourier Transform Infrared Spectrometry (FTIR)</i>	33
3.5.2 Analisis <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	34
3.5.3 Analisis Energi <i>Band-Gap</i>	34
3.5.4 <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	34
3.6 Tahap Uji Antibakteri.....	34
3.6.1 Sterilisasi Alat.....	35
3.6.2 Peremajaan Bakteri.....	35
3.6.3 Pengambilan Bakteri.....	35
3.6.4 Aplikasi Nanomaterial S/CuO/nGO Terhadap Bakteri.....	35
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 Sintesis <i>Nanosheets GO</i>	38
4.1.1 Karbonisasi Bonggol jagung.....	38
4.1.2 Sintesis <i>Natural Graphite</i>	40
4.1.3 Sintesis <i>Nanosheets GO</i>	41
4.2 Sintesis senyawa CuO.....	42
4.3 Sintesis Nanomaterial S/CuO/nGO.....	44
4.3.1 Sintesis Katalis S/CuO.....	44
4.3.2 Impregnasi Nanomaterial S/CuO/nGO.....	44
4.4 Analisis <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	45
4.4.1 Analisis <i>X-Ray Diffraction (XRD) Nanosheets GO</i>	45
4.4.2 Analisis <i>X-Ray Diffraction (XRD) Senyawa CuO</i>	47
4.4.3 Analisis <i>X-Ray Diffraction (XRD) Nanomaterial S/CuO/nGO</i>	48
4.5 Analisis <i>Fourier Transform Infrared Spectrometry (FTIR)</i>	50
4.5.1 Analisis FTIR <i>Nanosheets GO</i>	50
4.5.2 Analisis FTIR Senyawa CuO.....	52
4.5.3 Analisis FTIR Katalis S/CuO.....	52
4.5.4 Analisis FTIR Nanomaterial S/CuO/nGO.....	55
4.6 Analisis Energi <i>Band-Gap</i>	57

4.7 Analisis <i>Scanning Electron Microscope</i> Nanomaterial S/CuO/nGO.....	60
4.8 Uji Aktivitas Antibakteri.....	60
4.8.1 Uji Antibakteri Metode MIC.....	61
4.8.2 Uji Antibakteri Metode Difusi Cakram.....	64
V. KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN.....	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Kristal CuO	8
2. Struktur <i>Graphite</i> dan <i>Graphene</i>	11
3. Struktur GO	12
4. Preparasi GO	13
5. Bonggol Jagung.....	15
6. Model Difraksi Bragg.....	16
7. Hasil XRD <i>Nanosheets</i> GO.....	17
8. Instrumen Spektroskopi FTIR.....	19
9. Hasil Analisis FTIR <i>Nanosheets</i> GO	20
10. Skema Dasar SEM.....	21
11. Hasil Analisis SEM GO	22
12. Spektrum DRS GO, TiO ₂ , ZnO, GO/TiO ₂ dan GO/ZnO	23
13. Bakteri <i>Escherichia coli</i>	25
14. Bakteri <i>Bacillus sp</i>	26
15. Arang Karbon.....	38
16. <i>Nanosheets</i> GO.....	42
17. (a) Gel CuO, (b) Senyawa CuO	43
18. Katalis (a) S/CuO 0,25/1, (b) S/CuO 0,75/1	44
19. Nanomaterial (a) S/CuO/nGO 0,25/1, (b) S/CuO/nGO 0,75/1	45
20. Pola XRD (a) <i>Nanosheets</i> GO, (b) <i>Natural Graphite</i>	45
21. Pola XRD (a) Hasil Sintesis CuO, (b) Literatur CuO	47
22. Analisis XRD (a) S/CuO/nGO 0,25/1, (b) S/CuO/nGO 0,75/1	48
23. Spektra FTIR (a) <i>Natural Graphite</i> , (b) <i>Nanosheets</i> GO.....	51
24. Spektra FTIR senyawa CuO.....	52
25. Spektra FTIR (a) CuO, (b) S/CuO 0,25/1, (c) S/CuO 0,75/1	53

26. Spektra FTIR (a) Katalis S/CuO, (b) Nanomaterial S/CuO/nGO	55
27. Hubungan Antara Panjang Gelombang dengan Absorbansi Nanomaterial (a) S/CuO/nGO 0,25/1, (b) S/CuO/nGO 0,75/1	58
28. Plot Nilai <i>band-gap</i> Nanomaterial (a) S/CuO/nGO 0,25/1, (b) S/CuO/nGO 0,75/1.....	59
29. Hasil Analisis SEM Nanomaterial S/CuO/nGO	60
30. Hasil Uji Difusi Cakram <i>E.coli</i> Tanpa Sinar.....	81
31. Hasil Uji Difusi Cakram <i>E.coli</i> 60 menit.....	81
32. Hasil Uji Difusi Cakram <i>E.coli</i> 45 menit.....	81
33. Hasil Uji Difusi Cakram <i>E.coli</i> 30 menit.....	81
34. Hasil Uji Difusi Cakram <i>E.coli</i> 15 menit.....	81
35. Hasil Uji Difusi Cakram <i>Bacillus</i> Tanpa Sinar	82
36. Hasil Uji Difusi Cakram <i>Bacillus</i> 60 Menit.....	82
37. Hasil Uji Difusi Cakram <i>Bacillus</i> 45 Menit.....	82
38. Hasil Uji Difusi Cakram <i>Bacillus</i> 30 Menit.....	82
39. Hasil Uji Difusi Cakram <i>Bacillus</i> 15 Menit.....	82
40 Hasil MIC <i>Nanosheets</i> GO <i>E. coli</i>	83
41. Hasil MIC CuO <i>E. coli</i>	83
42. Hasil MIC S/CuO 0,25/1 <i>E. coli</i>	83
43. Hasil MIC S/CuO 0,75/1 <i>E. coli</i>	83
44. Hasil MIC S/CuO/nGO 0,25/1 <i>E. coli</i>	83
45. Hasil MIC S/CuO/nGO 0,75.1 <i>E. coli</i>	83
46. Hasil MIC <i>Nanosheets</i> GO <i>Bacillus</i>	84
47. Hasil MIC CuO <i>Bacillus</i>	84
48. Hasil MIC S/CuO 0,25/1 <i>Bacillus</i>	84
49. Hasil MIC S/CuO 0,75/1 <i>Bacillus</i>	84
50. Hasil MIC S/CuO/nGO 0,25/1 <i>Bacillus</i>	84
51. Hasil MIC S/CuO/nGO 0,75/1 <i>Bacillus</i>	84

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data <i>Yield</i> Arang Karbon	39
2. Data <i>Yield Natural Graphite</i>	41
3. Perbandingan Penelitian <i>Natural Graphite</i> dan <i>Nanosheets GO</i>	46
4. Puncak-Puncak Refresentatif Difraktogram Acuan untuk Fasa Kristalin CuO.	48
5. Puncak-Puncak Representatif Difraktogram Senyawa CuO	48
6. Puncak Representatif Nanomaterial S/CuO/nGO	49
7. Puncak Transmittansi Katalis S/CuO Variasi 0,25/1 dan 0,75/1	55
8. Puncak Transmittansi Nanomaterial S/CuO/nGO variasi 0,25/1 dan 0,75/1	57
9. Konsentrasi Larutan Stok.....	61
10. Hasil Uji MIC.....	62
11. Hasil Metode Difusi Cakram Bakteri <i>Bacillus sp</i> dan <i>Escherichia coli</i>	64

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Tingginya angka kematian di dunia akibat penyakit infeksi semakin signifikan, yaitu mencapai sekitar 25% dari jumlah kematian. Penyakit infeksi adalah penyakit yang disebabkan oleh mikroba patogen dan sangat dinamis seperti virus, bakteri dan jamur. Salah satu penyebab penyakit infeksi adalah berasal dari bakteri *Escherichia coli* dan *Bacillus sp.* Data dari negara Indonesia, menginformasikan bahwa, sebanyak 21 orang murid SDN 1 Trasan, Bandongan, Magelang menderita sakit yang diakibatkan oleh bakteri *Bacillus sp* karena mengonsumsi pangan jajanan anak sekolah pada tahun 2016 (Ahmad *et al.*, 2018). Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) juga melaporkan bahwa, penyakit yang diakibatkan oleh bakteri *Escherichia coli* yang melanda Jerman dan 11 negara lainnya di wilayah Eropa hingga kini telah mencapai 2.260 kasus dan mengakibatkan kematian 22 orang. Permasalahan ini menjadi sesuatu yang menarik banyak perhatian terutama di bidang kedokteran.

Pada umumnya, obat yang digunakan untuk mengatasi masalah ini adalah dengan pemberian antibiotik. Penggunaan antibiotik yang relatif tinggi merupakan permasalahan dan suatu ancaman besar terhadap lingkungan secara global. Permasalahan ini sangat berdampak pada resistensi bakteri terhadap antibiotik. Peningkatan kejadian resistensi mikroorganisme yang berbeda terhadap berbagai agen antimikroba telah menarik banyak perhatian. Ancaman serius yang

ditimbulkan oleh organisme patogen yang resisten antimikroba, telah ditanggapi oleh Organisasi Pangan dan Pertanian, dan Organisasi Kesehatan Dunia. Beberapa bakteri yang ditemukan mengalami resisten yakni *Streptococcus pneumoniae*, *Bacillus sp*, *Staphylococcus aureus*, dan *Escherichia coli* (Permenkes, 2011). Berbagai inovasi baru akan terus dikembangkan dalam penanganan masalah penyakit infeksi khususnya yang disebabkan oleh bakteri *Escherichia coli* dan *Bacillus sp* akibat mengalami resistensi terhadap antibiotik.

Nanoteknologi merupakan salah satu revolusi ilmu pengetahuan dan teknologi terbesar yang telah memberikan banyak manfaat dalam berbagai bidang kehidupan manusia khususnya di bidang kesehatan. Dalam skenario ini, *nanosheets* GO menjadi sesuatu yang menarik karena ukuran dapat dikendalikan dan kemampuan untuk menyesuaikan material dengan mengubah tingkat oksidasi dan dispersibilitas yang tinggi dalam air (Dreyer *et al.*, 2010). *Nanosheets* GO adalah material yang mengandung karbon, oksigen dan hidrogen dan memiliki struktur yang mirip dengan *graphene*. Material *nanosheets* GO menunjukkan sifat listrik, optik, termal, mekanik dan biokompatibel yang sangat baik. *Nanosheets* GO juga memiliki stabilitas kimia yang tinggi dan area permukaan yang luas sehingga mudah untuk mendistribusikan bahan, seperti logam, oksida logam atau polimer (Kumar *et al.*, 2016). Berdasarkan sifat yang dimiliki, *nanosheets* GO dapat memberikan potensi yang cukup baik sebagai agen antibakteri baru.

Hasil studi menunjukkan bahwa, *nanosheets* GO memberikan sifat antibakterinya melalui mekanisme isolasi fisik, stres oksidatif, peroksida lipid dan adsorpsi elektrostatik (Arriagada *et al.*, 2018). Pada penelitian (Ruiz *et al.*, 2011), telah dijelaskan bahwa sifat antibakterinya telah dianalisis secara luas. Fakta yang diperoleh menunjukkan bahwa, sifat antibakteri *nanosheets* GO murni tidak stabil dan rentan terhadap berbagai faktor, seperti waktu perawatan, struktur (misalnya, ketebalan, ukuran dan kepadatan kelompok aktif), lingkungan (misalnya, cahaya, media, adsorpsi protein non-spesifik, suhu, dan medan magnet). Komposit antibakteri *nanosheets* GO berbasis ukuran *nano* dikarenakan memiliki permukaan yang luas untuk dapat digabungkan dengan berbagai komponen lain

seperti agen antibakteri, polimer atau bahan *nano* non-GO (seperti : nanomaterial berbasis logam atau oksida logam).

Senyawa CuO sebagai oksida logam yang sangat potensial dalam kombinasi kedalam material *nanosheets* GO karena sifatnya yang menarik seperti dasar suhu (T_c) superkonduktor. Senyawa CuO adalah senyawa semikonduktor dengan celah pita sempit yang digunakan dalam aplikasi fototermal dan fotokonduktif (Rakhshani *et al.*, 1986). Pada aplikasinya, penggunaan oksida logam CuO sebagai material pendukung dalam uji antibakteri cukup baik. Penelitian (Ahamed *et al.*, 2014) menyatakan bahwa CuONP menunjukkan aktivitas antimikroba yang sangat baik terhadap berbagai strain bakteri (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumonia*, *Enterococcus faecalis*, *Shigella flexneri*, *Salmonella typhimurium*, *Proteus vulgaris*, dan *Bacillus sp*). Selain itu, *Escherichia coli* dan *Enterococcus faecalis* menunjukkan sensitivitas tertinggi terhadap CuONP sementara *Klebsiella pneumonia* adalah yang paling tidak sensitif.

Sulfur (S) memiliki elemen biologis aktif yang mudah ditemukan di permukaan bumi dan berpotensi sebagai perawatan dermatologis di zaman kuno. Sejumlah bahan kimia yang dimiliki sulfur seperti organik maupun anorganik diketahui dapat menunjukkan spektrum aktivitas biologis seperti antimikroba, antibiotik, antikanker, dan penangkal radikal bebas. Potensi yang dimiliki sulfur dibuktikan berdasarkan penelitian sebelumnya, yang menjelaskan bahwa aktivitas antimikrobanya telah diuji menggunakan metode *difusi disk* dan analisis konsentrasi hambat minimum (MIC)/konsentrasi bakterisida minimum (MBC). SNPES menunjukkan morfologi berbentuk batang dengan panjang rata-rata 87 nm, sedangkan SNPSTS menunjukkan bentuk bulat dengan ukuran partikel rata-rata 17 nm terhadap bakteri *Escherichia coli* dan *L. monocytogenes* (Saedi *et al.*, 2020).

Dalam penelitian ini, material *nanosheets* GO akan disintesis dengan memanfaatkan potensi karbon yang dihasilkan dari limbah bonggol jagung menggunakan metode Hummers termodifikasi sedangkan senyawa CuO akan

disintesis dari prekursor $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ menggunakan metode sol-gel yang kemudian didopan dengan sulfur guna menghasilkan katalis, dengan variasi S/CuO sebesar 0,25/1 dan 0,75/1. Variasi katalis S/CuO yang diperoleh akan disebar terhadap material *nanosheets* GO dengan perbandingan 0,25/1 dan 0,75/1 karena memiliki luas permukaan yang besar. Nanomaterial S/CuO/nGO yang terbentuk akan dilakukan uji antibakteri. Bakteri yang akan diuji adalah bakteri gram positif *Bacillus sp* dan bakteri gram negatif *Escherichia coli* yang diiradiasi menggunakan sinar tampak dan tanpa sinar tampak. Karakterisasi akan dilakukan menggunakan beberapa instrumen seperti *Fourier transform infrared* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Memperoleh hasil sintesis material *nanosheets* GO, katalis S/CuO dan nanomaterial S/CuO/nGO sebagai agen antibakteri
- 2) Mengetahui hasil karakterisasi nanomaterial S/CuO/nGO dengan menggunakan Instrumen XRD, FTIR, DRS dan SEM
- 3) Mengetahui hasil uji aktivitas antibakteri nanomaterial S/CuO/nGO terhadap bakteri *Escherichia coli* dan *Bacillus sp*.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Mengetahui manfaat limbah bonggol jagung sebagai bahan baku sintesis material *nanosheets* GO menggunakan metode Hummers termodifikasi.
- 2) Memperoleh inovasi baru terkait penggunaan *nanosheets* GO yang dikombinasikan dengan oksida logam CuO dan Sulfur (S) atau dikenal dengan nanomaterial S/CuO/nGO sebagai antibakteri
- 3) Mengetahui hasil uji antibakteri menggunakan nanomaterial S/CuO/nGO yang diradiasi dengan sinar tampak dan tanpa sinar tampak.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nanomaterial dan Nanoteknologi

Nanoteknologi merupakan ilmu dan rekayasa dalam menciptakan suatu material, struktur fungsional dalam skala nanometer. Perbandingan material yang berukuran besar (*bulk*), material dalam skala nanometer memiliki sejumlah sifat kimia dan fisika yang lebih baik. Pada abad ke 21, bidang ilmu nanoteknologi diprediksi dapat memberi perubahan yang cukup signifikan terhadap makhluk hidup. Pada material berukuran nano dijumpai beberapa sifat seperti sifat elektronik, sifat magnetik, sifat optik, dan reaktivitas katalitik yang tidak ada pada material yang berukuran lebih besar dari 100 nanometer. Perubahan sifat ini disebabkan karena terjadi peningkatan luas permukaan pada material ukuran nanometer. Salah satu aplikasi nanoteknologi adalah dengan pemanfaatan nanomaterial di bidang ilmu kimia, fisika dan biologi (Abdullah dkk., 2009).

Nanomaterial dapat didefinisikan sebagai bahan atau material yang sangat kecil, berkisar sekitar 1-100 nm. Sifat yang dimiliki bahan berskala nano yaitu karakteristik katalis, reaktivitas yang tinggi dan adsorpsi. Karakteristik tersebut menjadikan nanomaterial dikembangkan dan diaplikasikan dalam bidang adsorpsi, katalisis, medis, desinfeksi, penginderaan dan biologi. Terdapat beberapa jenis nanopartikel yang telah dikembangkan seperti nanomaterial Ag, Cu, Zn, Sn, Fe dan logam oksida seperti CuO (Abdullah dkk., 2009). Pada umumnya, sintesis nanomaterial menggunakan bahan reduktor yang berfungsi untuk mereduksi ukuran partikel hingga skala nanometer. Ada dua jenis reduktor yaitu reduktor sintesis dan bioreduktor.

Akan tetapi penggunaan reduktor sintesis memiliki kelemahan seperti menimbulkan limbah yang tidak ramah lingkungan (Choerudin, 2017).

Nanomaterial terbagi atas dua jenis yaitu nanomaterial organik dan anorganik.

Nanomaterial organik terdiri dari karbon sementara nanomaterial anorganik terdiri dari logam. Menurut (Asmathunisha dan Kathiresan, 2013), nanomaterial anorganik dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu sebagai berikut:

1. Nanomaterial magnetik yang terdiri dari logam besi,
2. Nanomaterial logam mulia yang terdiri dari logam-logam mulia seperti platinum, emas atau perak,
3. Nanomaterial semikonduktor yang terdiri dari TiO, CuO dan ZnO. Disamping itu, nanomaterial lainnya ialah nanomaterial silika, polimer dan biomolekul.

2.1.1 Aplikasi Nanomaterial

Penerapan dari nanomaterial sangat banyak di berbagai bidang ilmu kimia, fisika maupun biologi. Dibawah ini adalah beberapa contoh aplikasi nanomaterial:

a. Katalisis

Nanomaterial mengandung luas permukaan tinggi yang menawarkan perilaku optik dan aktivitas katalitik yang lebih tinggi. Katalis berbasis nanomaterial biasanya merupakan katalis heterogen yang dipecah menjadi nanopartikel logam untuk meningkatkan proses katalitik.

b. Medis

Nanoteknologi telah mengembangkan inovasi di bidang kedokteran dengan menggunakan nanomaterial dalam penghantaran obat. Obat dapat dikirim ke sel tertentu menggunakan CuONP yang merupakan salah satu contoh nanomaterial yang potensial dalam aplikasi antibakteri.

c. Elektronik

Nanomaterial yang berbahan komposit atau dikenal dengan nanokomposit memiliki sifat seperti kekuatan terhadap berat yang tinggi, keamanan operasional yang baik, biaya rendah dan ramah lingkungan. Komposit

berbasis nanomaterial sangat banyak digunakan dalam aplikasi perangkat elektronik, peralatan listrik, jaringan listrik, perangkat industri dan militer.

d. Food

Peningkatan produksi, proses, perlindungan dan pengemasan Makanan yang telah berhasil menggunakan nanoteknologi. Salah satu contohnya adalah suatu lapisan nanokomposit dalam proses pengemasan makanan secara langsung dapat mengenali zat anti-mikroba pada permukaan film yang telah dilapisi (Salata, 2004).

2.1.2 Katalis Nanomaterial

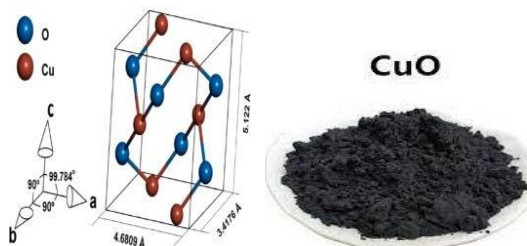
Katalis adalah suatu zat yang dapat mempercepat suatu laju reaksi pada suhu tertentu tanpa mengurangi jumlah atau konsentrasi dari suatu reaksi.

Katalis dapat membentuk ikatan dengan reaktan, sehingga meningkatkan kemudahan reaktan bereaksi untuk membentuk produk dan kemudian melepaskan katalis. Reaksi yang dikatalisis digambarkan sebagai siklus peristiwa di mana katalis berpartisipasi dalam reaksi dan kembali ke bentuk asalnya di akhir siklus. Secara umum, katalis dibedakan menjadi dua yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen dapat didefinisikan bahwa katalis dan reaktan berada dalam fasa yang sama, sedangkan untuk katalis heterogen, katalis dan reaktan berada dalam fasa yang berbeda. Salah satu contoh aplikasi dari katalis yaitu nanokatalis $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{NiFe}_2\text{O}_4$ dalam uji katalitik konversi glukosa menjadi fruktosa dalam suhu 80 dan 90°C dan waktu reaksi 30 dan 60 menit. Reaksi katalis dalam aplikasi konversi glukosa menjadi fruktosa memberikan persentasi yang cukup besar yaitu sebesar 90% (Situmeang dan Fransisca, 2011).

2.2 Senyawa Tembaga Oksida (CuO)

Senyawa CuO adalah suatu padatan hitam ionik dengan titik leleh sekitar 1200°C. Secara umum, senyawa CuO merupakan oksida basa sehingga dapat mudah larut dalam asam mineral seperti asam klorida (HCl) dan asam sulfat (H_2SO_4) membentuk garam-garam tembaga (II). Salah satu aplikasi senyawa CuO adalah

sebagai semikonduktor, hal ini dikarenakan nilai *band-gap* senyawa CuO sekitar 1,2-1,9 eV. Senyawa CuO memiliki struktur monoklinik (Gambar 1) dan karakteristik yang menarik seperti konduktivitas termal super, sifat fotovoltaik, stabilitas tinggi dan aktivitas antimikroba. Dari berbagai sifat tersebut, senyawa CuO banyak digunakan di bidang teknologi seperti katalis aktif (Yechezkel *et al.*, 2013).



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

2.2.1 Metode Sintesis Nanopartikel CuO

Pada aplikasi oksida logam CuO, ukuran dan bentuk/morfologi material memberikan peranan penting, karena ukuran dan morfologi yang berbeda akan menghasilkan perbedaan karakteristik material CuO. Prosedur sintesis senyawa CuO memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ukuran dan morfologi material yang dihasilkan (Mallick, 2012). Perubahan struktur menjadi skala nano atau dikenal dengan nanostruktur dalam sintesis senyawa CuO telah dilakukan dengan beberapa metode seperti metode sol-gel, hidrotermal dan pengendapan kimia (Anita dan Dae, 2012).

a. Metode Sol-gel

Metode sol-gel adalah Proses sintesis nanopartikel menggunakan 2 tahapan fasa penting yaitu sol dan gel. Prinsip dari metode sol-gel ini dimulai dari pembentukan senyawa awal (prekursor) yang umumnya berasal dari garam-garam organik ataupun senyawa metal organik, terjadi polimerasi larutan, membutuhkan pengeringan dan kalsinasi untuk menghilangkan senyawa organik serta membentuk senyawa anorganik berupa oksida logam.

b. Metode Hidrotermal

Metode hidrotermal adalah metode pengkristalan yang menggunakan temperatur tinggi pada keadaan campuran dan tekanan tinggi atau dapat juga disebut sebagai metode menggunakan panas dan air. Praktik pelaksanaan metode ini umumnya melibatkan pemanasan dalam keadaan tertutup yaitu dengan *autoclave*.

c. Metode Pengendapan

Metode pengendapan adalah metode yang masing-masing material dasar dengan suatu reaktan. Hasil pengendapan yang diperoleh lalu digabungkan untuk pembentukan senyawa yang diharapkan secara stoikiometris. Metode ini dilakukan dengan melarutkan zat aktif ke pelarut, lalu ditambahkan larutan lain yang bukan pelarut. Hal ini mengakibatkan larutan akan menjadi jenuh dan mengalami nukleasi dan membentuk nanopartikel.

2.2.2 Aplikasi Nanopartikel CuO Sebagai Antibakteri

Nanopartikel CuO memiliki manfaat yang baik sebagai katalis pada reaksi organik yang berpotensi bagi ahli kimia. Aplikasi nanopartikel CuO juga memberikan topik hangat bagi fisikawan dan insinyur ilmu material seperti sensor gas, sel surya, emitter, superkonduktor Tc tinggi dan bahan katoda elektronik (Tran dan Nguyen, 2014). Dalam bidang lain, nanopartikel CuO memiliki potensi yang sangat baik dan menarik perhatian para ilmuwan seperti yang disorot dalam penelitian ini adalah uji aktivitas antibakteri. Nanopartikel CuO adalah anggota paling sederhana dari senyawa Cu yang mengungkapkan berbagai sifat fisik potensial dan jauh lebih murah daripada oksida perak. Nanopartikel ini memiliki luas permukaan yang tinggi dan struktur kristal yang tidak biasa untuk memberikan nanopartikel CuO dengan aktivitas antimikroba yang bergantung pada dosis (Chang, 2012). Penelitian (Applerot *et al.*, 2012), menjelaskan hasil uji aktivitas antimikroba kain lapisan tipis senyawa CuO terhadap bakteri Gram-positif dan Gram-negatif sangat baik. Efisiensi pembunuhan dalam kasus strain *Escherichia coli* menunjukkan bahwa kain yang diresapi dengan CuO sangat berpotensi sebagai agen antimikroba dalam aplikasi kedokteran.

2.3 Sulfur (S)

Sulfur atau belerang dalam ilmu kimia disimbolkan dengan huruf S yang memiliki massa atom 32. Sulfur merupakan salah satu unsur yang paling reaktif. Sulfur murni adalah padatan yang tidak berasa, tidak berbau, rapuh, berwarna kuning pucat, penghantar listrik yang buruk, dan tidak larut dalam air. Kandungan sulfur yang paling banyak di alam terdapat di perut bumi yaitu pada batuan sedimen sekitar 8×10^9 kg. Pada atmosfer, Sulfur dapat ditemukan bentuk senyawa seperti SO_2 , H_2S , SO_3 dan sebagainya. Di alam bebas, sulfur akan lebih stabil dalam bentuk senyawa sulfat (SO_4^{2-}) (Solehudin, 2009).

2.3.1 Aplikasi Sulfur

Sulfur menemukan aplikasi teknologi yang banyak digunakan pada industri pupuk, obat-obatan, rayon, industri kertas, *pulp*, *storage battery*, deterjen dan gula, industri pengawet makanan, kaca dan sabun. Sulfur juga digunakan untuk H_2SO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, dan $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (Deshpande, 2008).

Salah satu aplikasi yang menarik dibahas adalah sebagai antibakteri seperti yang akan dilakukan dalam penelitian ini. Sulfur telah dikenal sebagai agen antibakteri sepanjang sejarah dan telah diberikan secara oral untuk infeksi bakteri serta digunakan secara topikal sebagai disinfektan untuk mengobati infeksi kulit (Saida *et al.*, 2012).

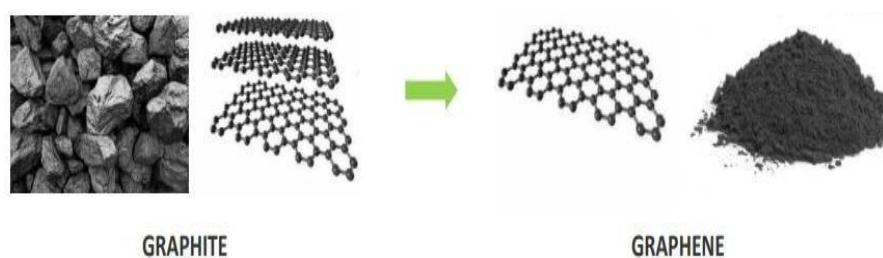
2.3.2 Riset Antibakteri Sulfur

Riset (Deng *et al.*, 2018), sebelumnya telah mempelajari sifat permukaan antimikroba dari poli(sulfur-*co-diisopropenylbenzene*) (S-DIB). Hasil menunjukkan bahwa permukaan berlapis polimer membunuh hingga 72% *Escherichia coli* dalam sampel yang mengandung 50% sulfur menurut persentase beratnya. Dengan latar belakang ini, hasil mereka menunjukkan bahwa S-DIB sebagai pengikat silang tidak ideal untuk aktivitas antimikroba hanya berfokus pada bakteri tunggalnya, yang diaplikasikan dengan pelapisan dan semprotan film polimer tipis, dan aktivitas antimikroba dinilai dalam periode waktu yang singkat

(5 menit hingga 4 jam). Hal ini yang melatarbelakangi bahwa, sulfur membutuhkan material lain seperti oksida logam CuO dan material *nanosheets* GO untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi sebagai antibakteri.

2.4 Graphene

Graphene adalah modifikasi struktural dari karbon berbentuk lembaran datar tipis di mana setiap atom karbon memiliki ikatan kovalen dan dikemas rapat berupa kisi kristal seperti sarang lebah. Lembaran *graphene* disatukan oleh ikatan van der Waals. Jarak antara lapisan *graphene* adalah 0,335 nm dan jarak antar lapisan *graphene* paralel adalah 0,67 nm. Ikatan rangkap kovalen antara atom karbon dari lembaran *graphene* adalah 0,142 nm. Asal usul nama *graphene* berasal dari Grafit + En (Truong, 2013). Grafit itu sendiri berupa tumpukan banyak lembar *graphene* (Geim, 2007). Bahan *graphene* ini pertama kali dikembangkan oleh Andre K. Geim dan Konstantin Novoselov pada tahun 2004. Geim dan Novoselov membuat *graphene* dengan cara kupas grafit kristal atau lapisan karbon untuk skala mikrometer dengan pita. *Graphene* diamati tergantung pada substrat silika dengan mikroskop optik. Proses sintesis untuk bahan *graphene* dimulai dengan menggunakan metode pita atau metode pengupasan mekanis (Geim, 2007).



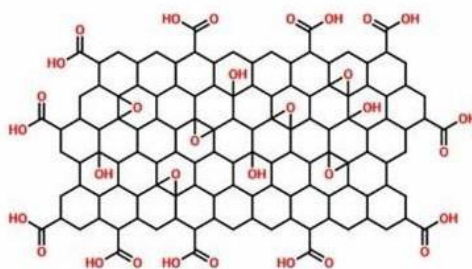
Gambar 2. Struktur *Graphite* dan *Graphene* (Rudrapati, 2020)

Graphene tampak berupa material kristalin berdimensi dua pada suhu kamar dan memperlihatkan struktur jaringan karbon yang benar-benar teratur dalam 2D yaitu dimensi panjang dan dimensi lebar. Keteraturan yang tinggi bahkan hampir tanpa cacat ini muncul sebagai akibat dari ikatan kovalen antar atom karbonnya yang kuat. Unit dasar struktur ini hanya terdiri atas enam karbon yang saling bergabung secara kimiawi. Jarak antar atom C-nya sama dengan 0,142 nm. Konfigurasinya

menyerupai struktur sarang lebah dengan ketebalan orde atomik. Dalam 1 mm *graphite* terdapat sekitar 3000 lapisan *graphene*. Keunggulan dari *graphene* termasuk mobilitas elektron yang tinggi ($200.000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-2}$), efek aila kuantum pada suhu kamar, transparansi optik yang baik (97,7%), permukaan spesifik (2630 m^2), modulus elastisitas 0,25 TPa, konduktivitas termal yang sangat baik ($5000 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$) dan kekuatan sebesar 42 Nm^{-2} (Brownson, 2014:19).

2.4.1 Graphene Oxide (GO)

GO adalah *graphene* teroksidasi, yang memiliki ikatan dengan gugus fungsi. Struktur GO bersifat hidrofilik, di bagian basal dan tepi mengandung gugus fungsi oksigen, yaitu gugus karboksil, alkoxy dan epoksi. GO mengandung atom karbon hibrida sp^2 dan sp^3 dan merupakan isolator (Fathia, 2018). Gambaran dari struktur GO dapat dilihat pada (Gambar 3).



Gambar 3. Struktur GO (Ossila, 2013).

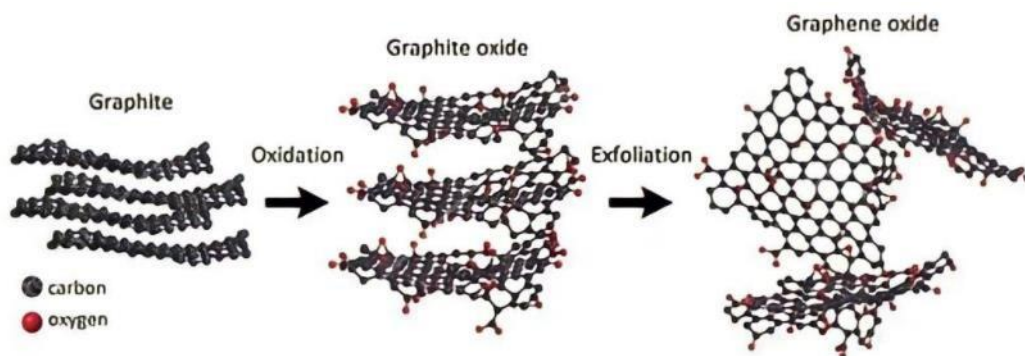
Graphene Oxide (GO) dianggap sebagai prekursor yang sangat baik untuk mendapatkan *graphene* dengan hasil yang lebih tinggi dan biaya yang lebih rendah. GO dapat diperoleh dari oksida grafit pertama kali diproduksi dengan menggunakan kristal grafit yang telah dioksidasi dengan zat pengoksidasi kuat, seperti H_2SO_4 . Pada tahapan sonikasi, grafit mengadopsi gugus fungsi yang mengandung oksigen yang memungkinkan material terdispersi dalam air sehingga meningkatkan jarak antar lapisan (Song *et al.*, 2014). Perbedaan antara grafit oksida dan GO didasarkan pada strukturnya yang berbeda, tetapi komposisi kimianya tetap sama. GO adalah bahan lapisan tunggal yang terdiri dari molekul karbon, hidrogen dan oksigen, yang akhirnya menjadi murah tetapi berlimpah

(Ray, 2015). Pengaruh gangguan hibridisasi sp^2 -nya, GO cenderung digambarkan sebagai isolator daripada konduktor.

Salah satu bagian yang paling penting dari GO adalah dapat diproduksi dari grafit (karena murah) menggunakan metode kimia yang berbeda, menghasilkan hasil yang tinggi dengan keuntungan yang luar biasa. Bagian kedua adalah bahwa GO sangat terdispersi dalam air dan dapat membentuk koloid berair yang stabil untuk perakitan struktur makro dengan proses larutan yang lebih murah (Ray, 2015).

2.4.2 Preparasi *Nanosheets* GO

GO merupakan versi teroksidasi dari *graphene* yang terdiri dari kelompok yang mengandung oksigen. Adanya gugus fungsi yang berbeda, GO memiliki elastisitas yang lebih rendah dan modulus Young yang bergantung pada fungsionalisasi dan struktur molekul gugus fungsi. Sintesis GO dapat dilakukan terlebih dahulu dengan membentuk grafit oksida. Sederhananya, grafit dioksidasi menjadi grafit oksida dan kemudian lembaran grafit oksida dapat dikupas di air hingga GO terbentuk. Konsentrasi oksigen pada GO dapat dikurangi sehingga kandungan oksigen menurun dan lapisan *graphene* dapat terbentuk. GO dianggap dapat membuat bahan awal yang menjanjikan untuk produksi skala besar untuk *graphene* (Syakir, 2015). Preparasi GO dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Preparasi GO (Amieva, 2016)

GO dapat disintesis dengan berbagai cara, seperti metode Hummers yang dimodifikasi dan metode Staudenmaier. Kedua metode melibatkan oksidasi grafit tetapi berbeda dalam asam mineral, oksidan, waktu preparasi dan jenis prosedur pencucian/pengeringan. Dalam metode asli Hummers, GO disintesis dengan

menggunakan KMnO_4 dan NaNO_3 dalam H_2SO_4 pekat. Sebagai aturan, untuk metode Hummer yang dimodifikasi, reagen Hummer dengan penambahan NaNO_3 digunakan. GO diproduksi dari bubuk grafit murni yang telah ditambahkan secara bertahap (dengan NaNO_3) kedalam H_2SO_4 pekat panas larutan, kemudian didinginkan dalam penangas es. Senyawa KMnO_4 harus ditambahkan perlahan untuk menjaga suhu reaksi di bawah 20°C untuk menghindari panas berlebih dan ledakan. Penyempurnaan reaksi dengan KMnO_4 , suspensi akan diolah dengan larutan H_2O_2 dan dicuci dengan HCl serta H_2O . Pada tahapan penyaringan dan pengeringan, sehingga pelat GO diperoleh. Metode yang dimodifikasi ini diyakini sangat populer dan andal dalam hal menghasilkan hasil GO yang tinggi (Shahriary *et al.*, 2014 ; Zaaba *et al.*, 2017).

2.4.3 Aplikasi *Nanosheets* GO

Pemanfaatan aplikasi GO telah banyak dilakukan seperti sebagai fotokatalis, biosensor dan *bio-imaging*, baterai, terapi kanker dan masih banyak aplikasi lain seperti yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu sebagai antibakteri. GO sangat efektif sebagai antibakteri dibandingkan dengan beberapa turunan *graphene* lain. Turunan *graphene* seperti Grafit (Gt), *Graphene Oxide* tereduksi (rGO), Grafit Oksida (GtO) dan *Graphene Oxide* (GO) jika dibandingkan berdasarkan kemampuan keempat turunan dari *graphene* tersebut. GO memiliki tingkat efektivitas yang lebih baik sebagai antibakteri terhadap bakteri *Escherichia coli* (Liu *et al.*, 2011).

Graphene Oxides diketahui memiliki sifat antibakteri terhadap bakteri Gram-positif dan Gram-negatif. GO baru-baru ini menarik banyak minat sebagai komponen aktif terhadap penghambatan patogen. Pada penelitian (Bousiakou *et al.*, 2022) menjelaskan bagaimana tingkat efektivitas antibakteri GO terhadap bakteri *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* dan *Bacillus sp* yang diinkubasi dengan berbagai konsentrasi lembar GO, mulai dari 0,25 mg/ml hingga 1,5 mg/ml selama 24 jam pada suhu 37°C . Hasilnya menegaskan bahwa bakteri Gram positif

lebih sensitif terhadap GO, sedangkan GO dengan kandungan oksigen yang lebih tinggi menunjukkan peningkatan aktivitas antibakteri.

2.5 Bonggol Jagung



Gambar 5. Bonggol Jagung (Sahat *et al.*, 2018)

Limbah bonggol jagung merupakan limbah organik yang berasal dari hasil produksi tanaman jagung. Secara produktivitas, sisa pengolahan industri pertanian pada jagung akan menghasilkan limbah berupa bonggol jagung yang jumlahnya akan terus bertambah seiring dengan peningkatan kapasitas produksi (Mahardika dan Dewi, 2014). Masyarakat selama ini cenderung memanfaatkan limbah bonggol jagung hanya sebagai bahan pakan ternak, bahan bakar atau terbuang percuma. Dalam menghindari hal ini, perlu adanya pemanfaatan limbah bonggol jagung yaitu salah satunya sebagai bahan baku arang aktif (Muthmainnah, 2012).

2.5.1 Kandungan Bonggol Jagung

Limbah bonggol jagung disebut juga sebagai limbah lignoselulosa. Hal ini dikarenakan komponen komposit bonggol jagung terdiri dari selulosa (48,1%), hemiselulosa (37,2%) dan lignin (14,7%). Selulosa dan hemiselulosa adalah senyawa organik yang terdiri dari atom karbon, hidrogen, dan oksigen. Rumus molekul senyawa selulosa adalah $(C_6H_{10}O_5)_n$. Pada saat yang sama, lignin adalah polimer alami dengan kandungan karbon sekitar 50% lebih banyak (per satuan massa) daripada selulosa, dan rumus molekulnya adalah $(C_{31}H_{34}O_{11})_n$. Bonggol

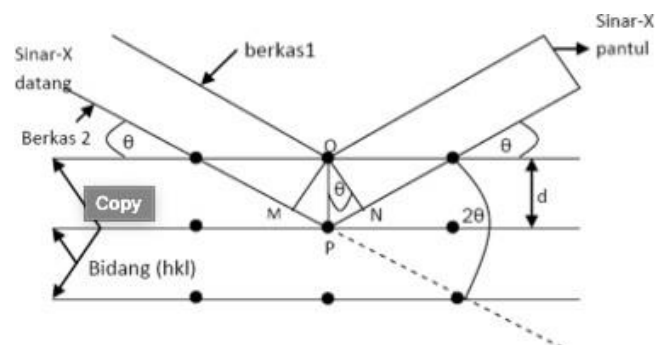
jagung juga memiliki kandungan unsur utama yaitu berupa karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O). Kandungan karbon yang dimiliki mencapai 46,8% dari massa bonggol jagung, sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai bahan baku *natural graphite* dan GO (Tsai *et al.*, 2001).

2.6 Karakterisasi Nanomaterial

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

2.6.1 X-Ray Diffraction (XRD)

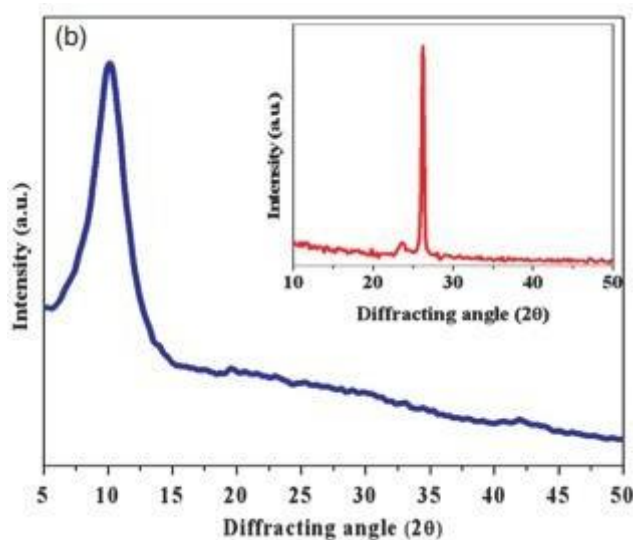
Difraksi sinar-X adalah salah satu metode baku yang berfungsi untuk mengetahui fasa kristalin dalam suatu material. Metode difraksi sinar-X digunakan untuk mendapatkan informasi struktur kristal material logam maupun paduan, mineral, polimer, material organik, dan superkonduktor (Suharyana, 2012). Data-data dan kuantitas intensitas difraksi yang diberikan terhadap sudut-sudut pada suatu bahan. Data yang dihasilkan oleh XRD berupa intensitas difraksi sinar-X yang terdifraksi dan sudut-sudut 2θ . Sehingga tiap pola yang muncul mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu (Widyawati, 2012).



Gambar 6. Model difraksi Bragg (Subaer, 2015)

Pola difraktogram yang dihasilkan berupa deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas relatif bervariasi sepanjang nilai 2θ tertentu. Besarnya intensitas relatif dari deretan puncak-puncak tersebut bergantung pada jumlah atom atau ion yang ada, dan distribusinya di dalam sel satuan material tersebut. Pola difraksi setiap padatan kristalin sangat khas, yang bergantung pada kisi kristal, unit parameter, dan panjang gelombang sinar X yang digunakan. Dengan demikian, sangat kecil kemungkinan dihasilkan pola difraksi yang sama untuk suatu padatan kristalin yang berbeda.

Penelitian ini menggunakan analisis XRD yang bertujuan untuk mengetahui fasa kristalin dari CuO, *nanosheets* GO dan S/CuO/nGO. Berdasarkan penelitian (Krishnamoorthy *et al.*, 2012) yang ditunjukkan pada (Gambar 7), Pola XRD *nanosheets* GO menunjukkan puncak difraksi pada $2\theta = 10,2^\circ$ dikaitkan dengan grafit teroksidasi dan jarak antar lapisan yang sesuai dari 0,88 nm. Pola XRD dari grafit menunjukkan puncak difraksi pada $2\theta = 26,3^\circ$ yang sesuai dengan jarak antar lapisan sekitar 0,34 nm. Faktor hilangnya puncak grafik pada $2\theta = 26,3^\circ$ memastikan produk benar-benar teroksidasi dimana tidak ada puncak karakteristik pengotor yang terdeteksi, menunjukkan bahwa kualitas *graphene oxide* diperoleh.



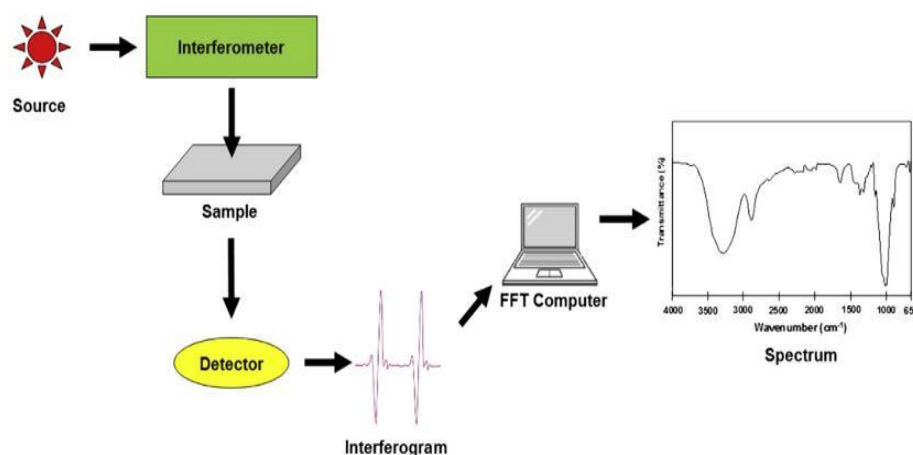
Gambar 7. Hasil XRD *Nanosheets* GO (Krishnamoorthy *et al.*, 2012)

2.6.2 Spektrofotometer FTIR

FTIR merupakan suatu metode spektroskopi *infrared*. *Spektroskopi infrared* (IR) dapat mengidentifikasi kandungan gugus kompleks dalam senyawa tetapi tidak dapat menentukan molekular unsur penyusunnya. Analisis dengan spektroskopi inframerah (*infrared spectroscopy*) didasarkan pada fakta bahwa molekul memiliki frekuensi pada getaran internal tertentu. Frekuensi ini terjadi di daerah inframerah dari spektrum elektromagnetik: $\sim 4000 \text{ cm}^{-1}$ sampai $\sim 200 \text{ cm}^{-1}$.

Ketika sampel diletakkan di berkas radiasi inframerah, sampel akan menyerap radiasi pada frekuensi yang sesuai dengan frekuensi getaran molekul, tapi akan mengirimkan semua frekuensi lainnya. Frekuensi radiasi yang diserap diukur dengan spektrometer inframerah dan hasil plot antara energi yang diserap dan frekuensi disebut spektrum inframerah material. Identifikasi suatu zat dimungkinkan karena bahan yang berbeda, memiliki getaran yang berbeda dan menghasilkan spektrum inframerah yang berbeda. Frekuensi penyerapannya memungkinkan untuk menentukan apakah berbagai gugus kimia ada atau tidak dalam struktur kimia (Patel, 2015).

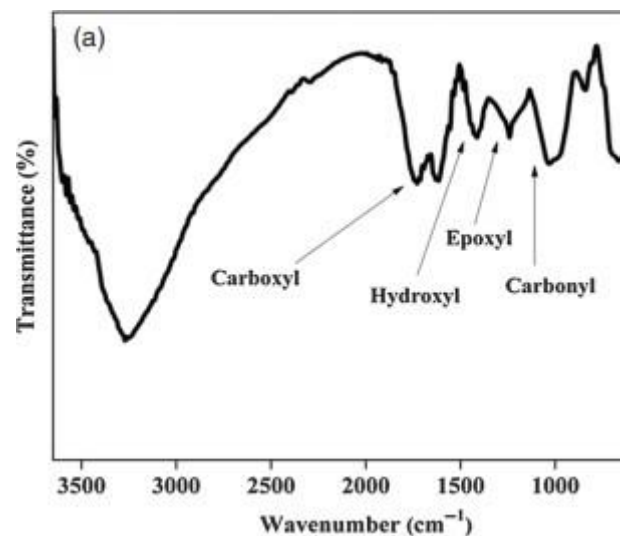
Prinsip kerja spektrofotometer FTIR dapat dilihat pada (Gambar 8), dimana adanya sinar *infrared* yang melewati celah ke sampel, dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah energi yang disampaikan kepada sampel. Sebagian *infrared* diserap oleh sampel dan sebagian lainnya ditransmisikan melalui permukaan sampel, sehingga sinar *infrared* lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim ke komputer dan diperoleh gambaran spektrum sampel yang telah diuji. Spektrum dapat menunjukkan korelasi antara bilangan gelombang dan intensitas serapan sampel (Sabrina, 2011 ; Endro dan Firdausi, 2008).



Gambar 8. Instrumen Spektroskopi FTIR (Mohamed *et al.*, 2017)

Analisis FTIR pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gugus fungsional yang terdapat pada hasil analisis. Dalam kasus analisis GO, puncak intensitas yang tinggi berpusat pada 3416 cm^{-1} sesuai dengan kelompok gugus O-H dan puncak 1728 cm^{-1} sesuai dengan vibrasi regangan (*stretching*) dari gugus karboksilat C=O. Puncak pada 1621 cm^{-1} dikaitkan dengan vibrasi skeletal dari ikatan C=C aromatik atau ikatan hidrogen intramolekuler. Puncak lain berada pada 1365 , 1215 dan 1045 cm^{-1} sesuai dengan deformasi C-O-H, regangan C-H (kelompok epoksi) dan vibrasi regangan C-O (masing-masing kelompok elkoksi). Oleh karena itu, hal ini membuktikan adanya kelimpahan gugus hidroksil dan kelompok oksigen di permukaan GO (Shao dkk., 2015).

Berdasarkan hasil analisis FTIR *nanosheet* GO pada penelitian (Krishnamoorthy *et al.*, 2012), menyatakan bahwa berbagai kelompok fungsional ada dalam *graphene oxides* dikonfirmasi yang ditunjukkan pada (Gambar 9) . Spektrum FTIR dari *graphene oxides* menggambarkan adanya C=O dalam asam karboksilat (C=O pada 1728 cm^{-1} , C-OH (C-OH pada 1413 cm^{-1} ,C-O (C-O pada 1050 cm^{-1} dan C O C (C-O-C pada 1250 cm^{-1} . Puncak pada 1600 cm^{-1} muncul karena Vibrasi C-C dari domain *graphitic*. Puncak yang relatif lebar pada 3200 cm^{-1} adalah karena teradsorpsi kadar air di permukaan *graphene oxide*.



Gambar 9. Hasil Analisis FTIR *nanosheet* GO (Krishnamoorthy *et al.*, 2012)

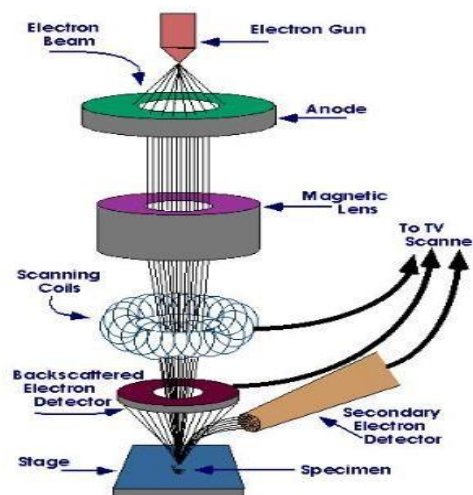
2.6.3 Scanning Electron Microscope (SEM)

SEM merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan suatu material. Pada SEM, permukaan material ditembaki dengan berkas elektron berenergi tinggi. Elektron berenergi tinggi ini memiliki panjang gelombang yang sangat pendek yang bersesuaian dengan panjang gelombang de Broglie. Proses ini mengakibatkan adanya elektron yang dipantulkan atau dihasilkannya elektron sekunder. Elektron yang dipantulkan diterima oleh detektor. Hasil yang diterima diolah oleh program komputer (Havancsak, 2016).

Struktur suatu material dapat diketahui dengan cara melihat interaksi yang terjadi jika suatu spesimen padat dikenai berkas elektron. Berkas elektron yang jatuh tersebut sebagian lagi akan diserap dan menembus spesimen. Spesimen yang cukup tipis, sebagian besar ditransmisikan dan beberapa elektron dihamburkan secara elastis tanpa kehilangan energi, sementara sebagian lagi dihamburkan secara tidak elastis. Interaksi dengan atom dalam spesimen menghasilkan pelepasan energi rendah, foton sinar-X dan elektron auger, yang semuanya dapat digunakan untuk mengkarakterisasi material (Havancsak, 2016).

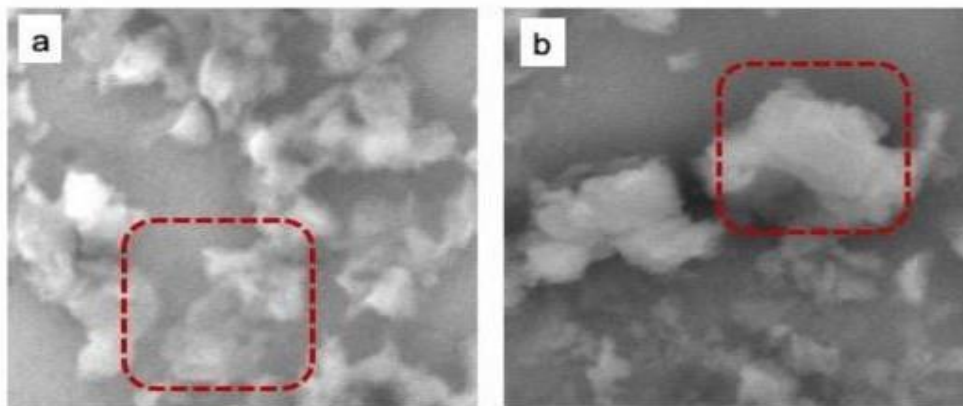
Prinsip kerja dari SEM berupa suatu sumber elektron dari filamen yang terbuat dari tungsten memancarkan berkas elektron. Berkas electron difokuskan oleh satu

atau dua lensa kondensor ke titik yang diameternya sekitar 0,4 nm sampai 5 nm. Permukaan bahan yang dikenai berkas elektron akan memantulkan kembali berkas tersebut atau menghasilkan elektron sekunder ke segala arah. *Scanning* pada permukaan bahan yang dikehendaki dapat dilakukan dengan mengatur *scanning generator* dan *scanning coils*. Elektron sekunder hasil interaksi antara elektron dengan permukaan spesimen kemudian ditangkap oleh detektor *secondary electron* (SE) lalu diolah dan diperkuat oleh amplifier dan divisualisasikan dalam monitor sinar katoda (Havancsak, 2016). Skema dasar SEM disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Skema dasar SEM (Havancsak, 2016)

Analisis SEM pada penelitian ini, untuk mengetahui struktur dan morfologi dari nanomaterial S/CuO/nGO. Salah satu contoh hasil analisis SEM telah dilakukan pada penelitian (Fauzi dan Dwandaru, 2021) dimana pada (Gambar 11) menunjukkan data SEM sampel GO yang diambil dari beberapa titik sampel. Morfologi permukaan GO yang diambil berasal dari dua titik yang berbeda. Pada gambar tersebut dapat dilihat garis-garis lekukan atau lipatan pada permukaan GO. Garis lekukan terlihat jelas menandakan bahwa permukaan GO sangat tipis dalam orde nanometer dan terlipat karena ketidakstabilan termodinamik dari material 2D yang membentuk lipatan untuk mengurangi energinya.



Gambar 11. Hasil Analisis SEM GO (Fauzi dan Dwandaru, 2021)

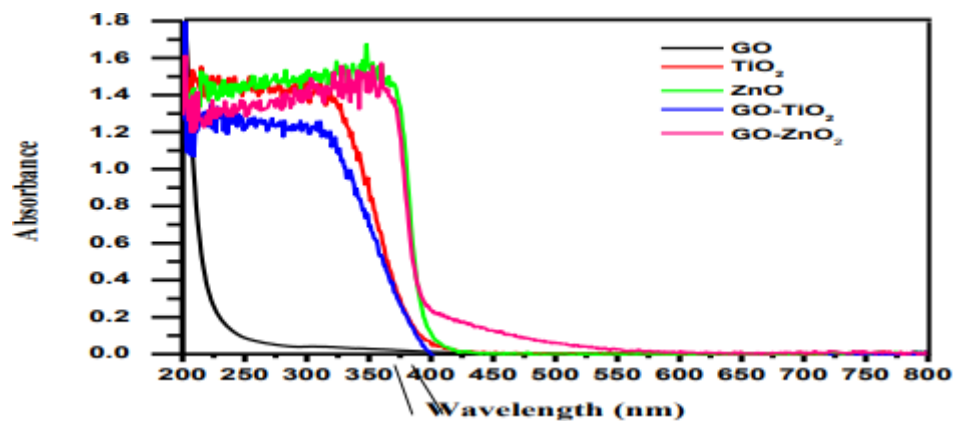
2.6.4 Spektrofotometer DRS-VIS

Diferensial reflektansi spektroskopi (DRS) adalah permukaan teknik analitis menggunakan sinar ultraviolet (UV), terlihat, atau cahaya inframerah (IR) sebagai media penyelidikan. Interaksi dari cahaya dengan (bahan yang sangat menyerap) seperti logam, paduan dan semikonduktor terjadi pada 10-20 nm pertama. Reflektometer diferensial kemudian menyelidiki 50-100 atom lapisan menjadi permukaan padat yang tidak transparan. Kedalaman cahaya DRS akan mengisi celah antara teknik permukaan lainnya seperti hamburan ion, *Auger spectroscopy*, dan ESCA (*electron spectroscopy for chemical analysis*), yang menyelidiki 1, 5, atau bahkan 20 lapisan tunggal, dan Difraksi sinar-X (XRD) yang menyelidiki sedalam 1–50 m menjadi bahan curah. Spektrofotometer UV-Vis DRS digunakan untuk mengetahui besarnya nilai *band-gap* pada material semikonduktor. *Band-gap* merupakan celah antara pita valensi dengan pita konduksi. Nilai *band-gap* pada semikonduktor sangat penting karena berpengaruh terhadap kinerja semikonduktor dalam mengalirkan elektron dan hole (Hummel dan Dubroca, 2000).

Metode DRS didasarkan pada pengukuran intensitas UV-Vis yang direfleksikan oleh sampel. Dasar pemikiran metode tersebut cukup sederhana dimana jika suatu material disinari dengan gelombang elektromagnetik maka sebagian foton akan diserap, dipantulkan dan ditransmisikan. Pada dasarnya terdapat tiga proses interaksi antara foton dengan elektron dalam bahan yakni absorpsi, emisi spontan

dan emisi terimbas. Penerapan DRS tidak dibatasi hanya untuk bahan yang sangat menyerap seperti logam, paduan, atau semikonduktor dimana kemampuannya juga telah dibuktikan dalam identifikasi dan karakterisasi transparan atau lapisan permukaan semi transparan, seperti yang diamati dalam film tipis produk korosi pada substrat logam (Hummel dan Dubroca, 2000).

Salah satu contoh spektrum GO dengan berbagai oksida logam dan penggabungan GO dengan oksida logam ditunjukkan dalam bentuk nanokomposit seperti pada (Gambar 12). Penelitian (Pragathiswaran *et al.*, 2015) menjelaskan bahwa keberadaan jumlah yang berbeda dari *Graphene Oxide* memiliki manipulasi yang signifikan pada properti Optik penyerapan cahaya untuk nanokomposit GO/TiO₂ dan GO / ZnO. Penambahan *Graphene Oxide* menyebabkan peningkatan intensitas penyerapan cahaya pada cahaya tampak wilayah mulai dari 200 hingga 800 nm dibandingkan dengan TiO₂ kosong dan ZnO, yang dapat dijelaskan dalam penyerapan luas GO di wilayah cahaya tampak. Selain itu, dapat dicatat bahwa GO/TiO₂, GO/ZnO dan GO blank TiO₂ dan nanokomposit ZnO semuanya menampilkan onset tepi pita serapan yang tajam pada 385 nm (Pragathiswaran *et al.*, 2015).



Gambar 12. Spektrum DRS GO, TiO₂, ZnO, GO/TiO₂ dan GO/ZnO (Pragathiswaran *et al.*, 2015)

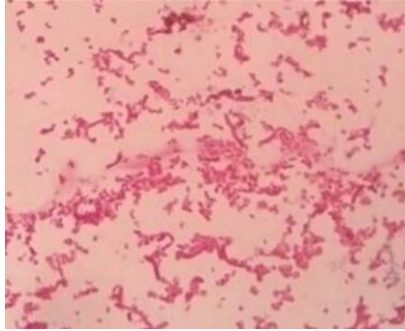
2.7 Tinjauan Umum Bakteri

Bakteri merupakan organisme bersel tunggal yang berukuran sangat kecil, yaitu berkisar 0,5 – 3,0 mikrometer. Bakteri tidak memiliki lapisan membran nukleus, sehingga kromosom (DNA dan RNA) terletak pada sitoplasma bakteri berdasarkan struktur membran selnya yang diklasifikasikan menjadi dua yaitu bakteri gram negatif dan bakteri gram positif. Bakteri gram negatif memiliki lipopolisakarida, lapisan membran luar dan lapisan peptidoglikan tipis (2 – 3 nm) yang berada diantara periplasma (diantara lapisan luar dan membran sitoplasmik). Bakteri gram positif memiliki dinding sel yang terdiri atas lapisan peptidoglikan yang tebal (20 – 80 nm) (Mittal, 2011; Nalawati, 2015). Bakteri berdasarkan sifatnya diklasifikasikan menjadi dua yaitu bakteri merugikan atau patogen dan bakteri yang menguntungkan. Bakteri patogen sangatlah berbahaya bagi kesehatan manusia, hal ini dikarenakan bakteri patogen mampu merusak jaringan tubuh manusia dan membentuk toksin di dalam tubuh manusia. Dalam penelitian ini dilakukan uji antibakteri dari nanomaterial S/CuO/nGO terhadap bakteri patogen bergram negatif *Escherichia coli* dan bakteri patogen bergram positif *Bacillus sp.*

2.7.1 Bakteri *Escherichia coli*

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

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



Gambar 13. Bakteri *Escherichia coli* (Khakim dan Rini, 2018)

Escherichia coli merupakan salah satu bakteri koliform yang termasuk dalam famili Enterobacteriaceae. Enterobacteriaceae merupakan bakteri enterik atau bakteri yang dapat hidup dan bertahan di dalam saluran pencernaan. *Escherichia coli* merupakan bakteri berbentuk batang bersifat gram negatif, fakultatif anaerob, tidak membentuk spora, dan merupakan flora alami pada usus mamalia. Beberapa strain bakteri ini memberikan manfaat bagi manusia, misalnya mencegah kolonisasi bakteri patogen pada pencernaan manusia. Namun, ada beberapa kelompok lain yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia, yang dikenal sebagai *Escherichia coli* patogen. *Escherichia coli* patogen pertama kali teridentifikasi pada tahun 1935 sebagai penyebab diare. *Escherichia coli* merupakan bakteri gram negatif berbentuk batang dengan ukuran berkisar antara 1.0-1.5 μm x 2.0-6.0 μm , tidak motil atau motil dengan flagela serta dapat tumbuh dengan atau tanpa oksigen, bersifat fakultatif anaerobik dan dapat tahan pada media yang miskin nutrisi (Winiati dkk., 2018).

Karakteristik biokimia *Escherichia coli* lainnya adalah kemampuannya untuk memproduksi indol, kurang mampu memfermentasi sitrat, bersifat negatif pada analisis urease. Bakteri *Escherichia coli* umumnya hidup di dalam saluran pencernaan manusia atau hewan. Secara fisiologi, *Escherichia coli* memiliki kemampuan untuk bertahan hidup pada kondisi lingkungan yang sulit.

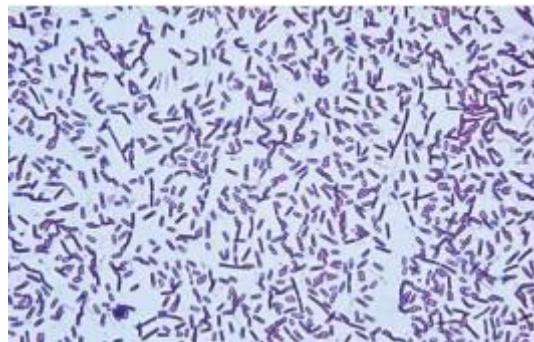
Escherichia coli tumbuh dengan baik di air tawar, air laut, atau di tanah. Pada kondisi tersebut *Escherichia coli* terpapar di lingkungan abiotik dan biotik. Ada beberapa jenis kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan bagi *Escherichia coli* untuk dapat tetap bertahan, misalnya lingkungan asam (pH rendah) seperti pada saluran pencernaan manusia, perubahan suhu, serta tekanan osmotik.

Kemampuan *Escherichia coli* untuk bertahan hidup selama pendinginan dan pembekuan telah terbukti menjadikan *Escherichia coli* toleran terhadap kondisi kering (Rahayu dkk., 2018).

2.7.2 Bakteri *Bacillus sp*

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

Domain	: Bacteria
Kingdom	: Procaryotae
Phylum	: Bacteria
Class	: Schizomycetes
Ordo	: Eubacteriales
Famili	: Bacillaceae
Genus	: Bacillus
Spesies	: <i>Bacillus sp</i>



Gambar 14. Bakteri *Bacillus sp* (Sulistiyani *et al.*, 2021)

Bakteri *Bacillus* memiliki morfologi yaitu: berwarna putih susu, bentuk koloni keseluruhan bulat, memiliki tepian yang keriput. Bentuk sel batang dan lurus dengan ukuran 0,5-2,5 μm x 1,2-10 μm . Bakteri ini sering berpasangan atau membentuk rantai dan memiliki ujung bundar atau persegi empat, hidup optimal pada suhu 30- 37°C dan tumbuh baik pada NaCl dengan konsentrasi 1-3%. Bakteri ini juga mampu melakukan mobilitas menggunakan flagel peritrichous, memiliki endospora berbentuk bundar atau silinder dan hanya ada satu spora pada satu sel. Pada umumnya, bakteri *Bacillus sp* dapat ditemukan di bermacam-macam habitat karena sangat resisten pada kondisi ekstrim dan sedikit spesies

bersifat patogen pada hewan invertebrata dan vertebrata. Bakteri ini memiliki tingkat kepekaan yang tinggi terhadap panas, pH, dan salinitas dan mampu melakukan kemoorganotrof menggunakan metabolisme fermentasi (Napitupulu dkk., 2019).

Dari hasil analisis DNA yang didapatkan, *Bacillus sp* yang berhasil dikultur merupakan bakteri halofilik. Bakteri halofilik merupakan bakteri yang hidup pada lingkungan yang memiliki kadar garam. Bakteri ini tergolong dalam famili *Halobacteriaceae*. Bakteri halofilik pada umumnya tahan dalam kondisi lingkungan bersalinitas tinggi sehingga mampu mendegradasi bahan organik. Selain itu, bakteri halofilik memiliki toleransi yang tinggi terhadap pencemar (Napitupulu dkk., 2019).

2.7.3 Mekanisme Antibakteri

Dalam sistem kerja perlawanan terhadap bakteri gram positif maupun bakteri gram negatif. Davis dan Stout (1971) mengklasifikasi respon zonaambat pertumbuhan bakteri berdasarkan diameter zona bening meliputi respon lemah (diameter 5 mm), respon sedang (diameter 5-10 mm), respon kuat (diameter 10-20 mm), dan respon sangat kuat (diameter >20 mm). Mekanisme kerja antibakteri dapat melalui berbagai cara, diantaranya menghambat sintesis dinding sel, menghambat ketahanan permeabilitas dinding sel, menghambat protein dinding sel, menghambat sintesis asam nukleat, dan menghambat metabolisme sel mikroba.

Target mekanisme antibakteri adalah sebagai berikut:

1. Perusakan dinding sel Struktur sel dirusak dengan menghambat pada saat pembentukan atau setelah proses pembentukan dinding sel.
2. Perubahan permeabilitas sel Kerusakan pada membran sitoplasma akan menghambat pertumbuhan sel, karena membran sitoplasma berfungsi mempertahankan bagian-bagian tertentu dalam sel serta mengatur aktivitas difusi bahan-bahan penting, dan membentuk integritas komponen seluler.
3. Penghambatan kerja enzim Penghambatan enzim akan menyebabkan aktivitas seluler tidak berjalan normal.

4. Penghambatan sintesis asam nukleat dan protein DNA dan RNA yang mempunyai peran yang sangat penting sebagai bahan baku pembentukan sel bakteri (Rollando, 2019).

2.7.4 Metode Pengujian Antibakteri

Pengujian antibakteri dalam penelitian ini dilakukan menggunakan 2 metode yaitu metode *Minimum Inhibitory Concentration* (MIC) dan Difusi Cakram.

a. Metode *Minimum Inhibitory Concentration* (MIC)

Minimum Inhibitory Concentration (MIC) didefinisikan sebagai konsentrasi terendah antimikroba yang akan menghambat pertumbuhan mikroorganisme yang terlihat setelah 4 jam diinkubasi. Metode MIC umumnya digunakan oleh laboratorium diagnostik, terutama untuk konfirmasi perlawanan, namun paling sering sebagai alat riset untuk menentukan *in-vitro* aktivitas antimikroba baru. MIC dari sebuah antibiotika terhadap mikroba digunakan untuk mengetahui sensitivitas dari mikroba terhadap antibiotika.

Nilai MIC berlawanan dengan sensitivitas mikroba yang diuji dimana semakin rendah nilai MIC dari sebuah antibiotika, sensitivitas dari bakteri akan semakin besar. MIC dari sebuah antibiotika terhadap spesies mikroba adalah rata-rata MIC terhadap seluruh strain dari spesies tersebut. Strain dari beberapa spesies mikroba adalah sangat berbeda dalam hal sensitivitasnya. MIC pada umumnya dipandang sebagai pusat penelitian yang paling penting dalam tindakan spesialis antimikroba terhadap kehidupan. MIC yang lebih rendah menunjukkan bahwa, lebih sedikit obat yang diharapkan untuk ditekan dalam pengembangan entitas organik, obat dengan skor MIC lebih rendah memiliki potensi spesialis antimikroba yang sukses (Nzeh, 2020).

b. Metode Difusi Cakram

Metode difusi cakram merupakan cara yang paling sering digunakan untuk menentukan kepekaan antibakteri terhadap suatu antibiotik. Pada cara ini digunakan suatu cakram kertas saring (*paper disk*) yang berfungsi sebagai tempat menampung zat antimikroba. Kertas saring tersebut kemudian diletakkan pada lempeng agar yang telah diinokulasi mikroba uji, kemudian

diinkubasi pada waktu tertentu dan suhu tertentu, sesuai dengan kondisi optimum dari mikroba uji. Metode difusi cakram diklasifikasikan sebagai metode difusi agar karena ekstrak tanaman yang akan diuji berdifusi dari reservoirnya melalui media agar yang diunggulkan dengan mikroorganisme uji. Umumnya, reservoir berupa piringan kertas saring yang diletakkan di atas permukaan agar. Ekstrak tanaman yang diuji atau senyawa yang diisolasi aktif secara mikrobiologis, zona penghambatan berkembang di sekitar cakram kertas saring setelah inkubasi (Horvart *et al.*, 2016)

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini akan dilakukan pada bulan November tahun 2022 hingga bulan Maret tahun 2023 yang bertempat di Laboratorium Anorganik-Fisik Jurusan Kimia dan Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung. Analisis XRD dan FTIR akan dilakukan Universitas Negeri Padang (UNP) dan Institut Teknologi Bandung (ITB) sedangkan analisis SEM dilakukan di UPT L-TSIT Universitas Lampung. Analisis *band-gap* DRS akan dilakukan di Laboratorium UI-Chem, Universitas Indonesia.

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang disiapkan untuk digunakan dalam penelitian ini seperti, batang pengaduk, spatula, spin bar, icebath, desikator, sonikasi, pH meter, inkubator, cawan petri, pipet tetes, pinset, *laminar air flow*, bunsen, *stopwatch*, mikroskop, neraca analitik (Ainsworth AA-160 Denver Instrument Company™), *centrifuge* (17250-10-Centrifuge Cole Parmer™), tabung sentrifugasi (15 mL), *aluminium foil*, *hot plate stirrer* (CB162 Stuart™), tabung reaksi, rak tabung reaksi, oven (Innotech), *furnace*, desikator, lampu *Visible*, reaktor katalitik, termometer, 300 mash, corong gelas, labu Erlenmeyer (250 mL), gelas kimia (100 mL - 1000 mL), gelas ukur (10 mL - 100 mL), labu ukur (25 mL - 1000 mL) mortar dan alu, botol vial (20 mL), Botol semprot.

Bahan yang disiapkan untuk digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk bonggol jagung, NaNO_3 , $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, NaOH 1 M, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, HCl 1M, HCl 5%, akuades, *natural graphite* hasil sintesis, H_2SO_4 (95%), H_2O_2 (30%), KMnO_4 , $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, alkohol, tisu, *plastic wrap*, sarung tangan, masker, kain kasa, karet gelang, plastik tahan panas, nutrient agar, endo agar, *nutrient broth*, *lactose broth*, *brilian green lactose broth*, dan kapas.

3.3 Sintesis *Nanosheets* GO

Sintesis *nanosheets* GO dilakukan dalam 3 tahapan yaitu dimulai dari karbonisasi bonggol jagung, sintesis *natural graphite* menggunakan metode *catalytic graphitization* serta sintesis GO metode Hummers termodifikasi dan ultrasonikasi.

3.3.1 Karbonisasi Serbuk Bonggol Jagung

Tahap karbonisasi dimulai dengan preparasi serbuk bonggol jagung. Limbah bonggol jagung dipotong kecil-kecil dan digiling hingga teksturnya berubah menjadi serbuk halus. Serbuk kemudian dikeringkan dalam oven hingga warna serbuk berubah menjadi kuning kecoklatan pada suhu 100°C selama 2 jam. Serbuk yang telah dikeringkan dimasukkan ke dalam cawan krus, lalu dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 350°C selama 2 jam dengan *heating rate* $10^\circ\text{C}/\text{menit}$. Arang yang diperoleh dari hasil pembakaran ditempatkan dalam desikator selama 15 menit lalu dihaluskan dengan mortar untuk digunakan pada tahap selanjutnya (Dewi, 2020).

3.3.2 Sintesis *Natural graphite*

Sebanyak 5 gram material karbon (arang) dicampur dengan 500 mL akuades dan diaduk selama 30 menit. Sebanyak 4 mL $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ditambahkan ke dalam larutan selama 15 menit. pH larutan diubah hingga ~ 2 dengan penambahan HCl 1 M secara perlahan. Pengadukan larutan dilanjutkan pada suhu 60°C selama 5 jam lalu endapan dicuci dengan akuades sampai pH netral. Selanjutnya, endapan akhir

(sampel *natural graphite*) dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C semalaman dan dinaikkan suhu pada 110 °C selama 5 jam. Hasil pengeringan berupa serbuk *natural graphite* dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit dan digunakan sebagai bahan baku dalam sintesis GO (Dewi, 2020).

3.3.3 Sintesis *Nanosheets* GO

Nanosheets GO disiapkan dalam dua langkah, yaitu oksidasi bubuk grafit alami melalui metode Hummers yang dimodifikasi dan ultrasonikasi. Langkah pertama, sebanyak 2,5 gram NaNO₃ dan *natural graphite* sebanyak 5 gram dilarutkan dalam gelas beaker menggunakan 120 mL H₂SO₄ (95%), dan di stirrer selama 10 menit sembari dimasukkan ke dalam *ice bath* hingga suhu berada di bawah 5°C. 15 gram KMnO₄ ditambahkan secara perlahan sambil di stirrer dan didinginkan sehingga suhu campuran dipertahankan dibawah suhu 5°C selama 3 jam. Campuran kemudian dikeluarkan dari *ice bath* yang selanjutnya dipanaskan pada suhu 98°C selama 15 menit sembari ditambahkan akuades sampai 400 mL. Sebanyak 15 mL larutan H₂O₂ dimasukkan secara perlahan. Suspensi GO yang dihasilkan tersebut kemudian disentrifugasi dengan larutan HCl 5% yang kemudian di tes menggunakan BaCl₂, selanjutnya disentrifugasi kembali menggunakan akuades hingga netral. Endapan yang terkumpul didispersikan dalam 450 mL akuades dan disonikasi selama 2 jam. Setelah tersonikasi, endapan hasil ultrasonikasi dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C, sehingga diperoleh *nanosheets* GO (Dewi, 2020).

3.4 Sintesis CuO

Sebanyak 12 gram pektin dilarutkan dengan 400 mL aquades selanjutnya distirrer sampai homogen kurang lebih selama 3 jam. Di sisi lain, prekursor Cu(NO₃)₂.3H₂O dimasukkan kedalam 2 botol infus yang bervolume sama dan diatur kecepatan sehingga habis secara bersamaan saat ditambahkan kedalam larutan pektin, disertai dengan penambahan larutan ammonia hingga pH 11. Sampel distirrer dan dipanaskan pada suhu dibawah 80°C hingga terbentuk gel,

lalu dimasukkan kedalam kulkas hingga beku. Gel yang telah beku difreezdry dan dioven pada suhu 110°C serta dikalsinasi selama 1 jam pada suhu 700°C. Senyawa CuO yang terbentuk akan dianalisis untuk mengetahui fasa kristalin yang terbentuk.

3.4.1 Impregnasi Nanomaterial S/CuO/nGO

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

3.5 Metode Analisis

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah instrument XRD, FTIR, DRS dan SEM. Sampel yang akan dianalisis adalah material *nanosheets* GO, katalis S/CuO dan nanomaterial S/CuO/nGO.

3.5.1 Analisis *Fourier Transform Infrared Spectrometry* (FTIR)

Sampel S/CuO/nGO dikarakterisasi dengan FTIR *Thermo Scientific iS5* menggunakan metode pellet KBr. Pengujian FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang dihasilkan oleh sampel S/CuO/nGO melalui vibrasi/getaran. Hasilnya akan diolah menggunakan *software* origin untuk melihat pita serapan atau absorpsi yang muncul pada daerah tertentu (Patel, 2015).

3.5.2 Analisis X-Ray Diffraction (XRD)

Pengujian XRD dengan cara mengkarakterisasi sampel S/CuO/nGO menggunakan XRD untuk mengetahui kristalinitas sampel. Pola difraksi pada sampel S/CuO/nGO diperoleh menggunakan BTXTM III Benchtop XRD Analyzer dengan radiasi Cu-K α (154060 Å) pada 30 kV dan 10 W dengan rentang sudut difraksi $2\theta = 5^\circ$ - 90° . Lalu data diolah menggunakan dengan aplikasi Match dan dibandingkan dengan beberapa jurnal yang telah ada (Taufantri dkk., 2016).

3.5.3 Analisis Energi Band-Gap

Analisis energi *band-gap* dilakukan dengan spektrofotometer Shimadzu UV-3600 yang diintegrasikan pada tabung berdiameter 15 cm untuk dapat mengukur *diffusereflectance*. Nilai *band-gap* pada semikonduktor sangat penting karena berpengaruh terhadap kinerja semikonduktor dalam mengalirkan elektron dan hole (Pragathiswaran *et al.*, 2015).

3.5.4 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) menggambarkan spesimen dengan memindainya menggunakan sinar elektron berenergi tinggi dalam scan pola raster. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1-0,2 nm. SEM digunakan untuk mengamati morfologi permukaan pada nanomaterial S/CuO/nGO (Fauzi dan Dwandaru, 2021).

3.6 Tahap Uji Antibakteri

Uji antibakteri akan dilakukan menggunakan 2 metode yaitu metode *Minimum Inhibitory Concentration* (MIC) dan dilanjutkan dengan metode Difusi cakram. Sampel yang akan diuji yaitu material *nanosheets* GO, CuO, katalis S/CuO dan nanomaterial S/CuO/nGO.

3.6.1 Sterilisasi Alat

Alat-alat yang akan digunakan disterilisasi selama 15 menit di dalam autoclave. Alat kaca seperti cawan petri dan tabung reaksi di bungkus dengan menggunakan kertas hvs yang kemudian dimasukkan ke dalam plastik tahan panas.

3.6.2 Peremajaan Bakteri

Bakteri yang telah ditumbuhkan pada media agar miring diinokulasikan kembali ke media agar yang baru, dimulai dengan sterilisasi media agar di dalam *autoclave*. Media yang telah disteril dituangkan ke dalam cawan petri steril dilakukan di dalam *Biological Safety Cabinet*. Media didiamkan hingga mengeras, kemudian diambil satu ose bakteri dari media agar miring. Selanjutnya, dilakukan penggoresan kuadran pada media agar. Kemudian tepi cawan petri dipijarkan pada bunsen, lalu dilapisi dengan *plastik wrap*. Diinkubasi selama 24 jam di dalam inkubator pada suhu 37°C. Kemudian diamati koloni bakteri yang tumbuh dengan menggunakan *Colony Counter*.

3.6.3 Pengambilan Bakteri

Bakteri *Bacillus sp* dan *Eschericia coli* yang telah dikembangbiakkan pada media agar, diinokulasi pada media cair dan dimasukkan ke dalam inkubator pada suhu 37°C selama 24 jam, kemudian diambil dengan menggunakan mikropipet 0,1 µL, kemudian di swap dengan menggunakan katembat steril pada media agar dalam cawan petri dengan keadaan lingkungan yang telah disesuaikan (Hayati dkk., 2021).

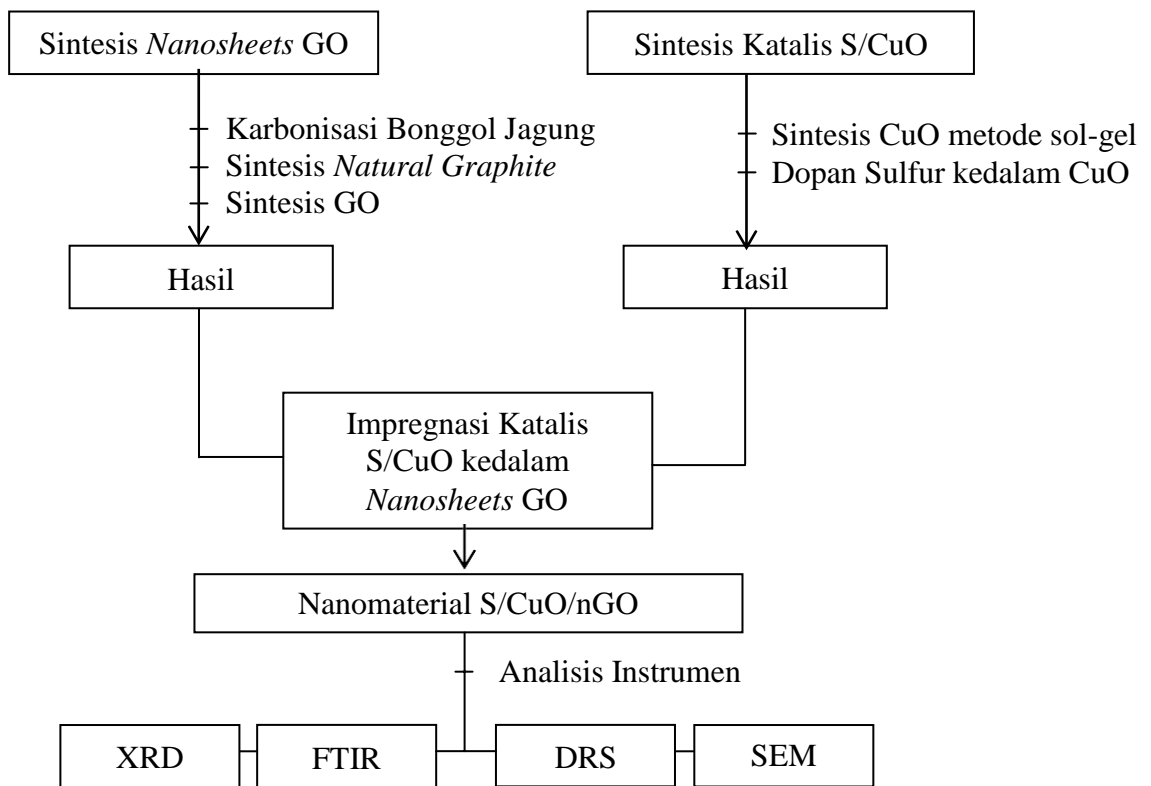
3.6.4 Aplikasi Nanomaterial S/CuO/nGO Terhadap Bakteri

Nilai *Minimum Inhibitory Concentration* (MIC) ditentukan menggunakan metode disc diffusion Kirby-Baurer. Sampel yang akan diuji yaitu *nanosheets* GO, CuO, S/CuO (0,25/1; 0,75/1) dan S/CuO/nGO (0,25/1; 0,75/1). Sampel akan dipakai 10 konsentrasi pada masing-masing untuk menentukan nilai MIC. Proses inokulasi

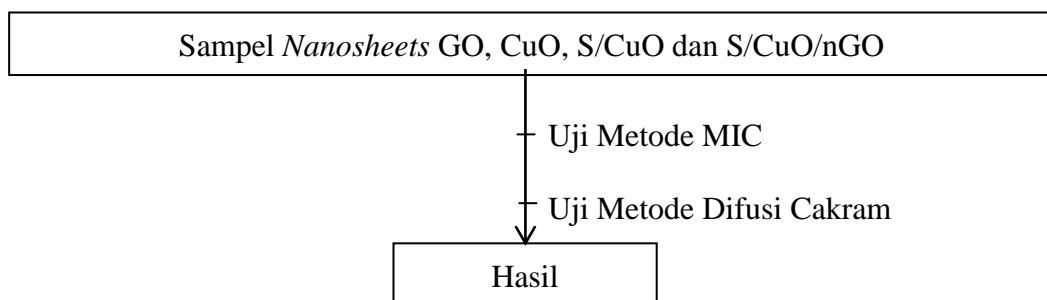
bakteri yang digunakan yaitu *Escherichia coli* dan *Bacillus sp* dengan masa inkubasi 4 jam. Masing-masing sampel kemudian dimasukkan kedalam botol vial sebanyak 0,1 mL, media NB sebanyak 0,8 mL dan bakteri sebanyak 0,1 mL. Sampel yang telah selesai kemudian diinkubasi selama 24 jam dan dilakukan pengamatan. Setelah hasil MIC terdeteksi, maka dilakukan uji Difusi cakram untuk mengetahui zona hambat yang diperoleh sehingga dapat dianalisis secara kuantitatif (Rait dkk., 2021).

DIAGRAM ALUR PENELITIAN

1. Tahapan sintesis



2. Tahapan Uji Antibakteri



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil sintesis sulfur dari senyawa thiourea telah didopan kedalam CuO sehingga diperoleh katalis S/CuO variasi 0,25/1 dan 0,75/1.
2. Katalis S/CuO (0,25/1 ; 0,75/1) telah berhasil di impregnasi kedalam material *nanosheets* GO sehingga diperoleh nanomaterial S/CuO/nGO variasi 0,25/1 dan 0,75/1 dengan masing-masing ukuran kristal sebesar 40,75 dan 47,03 nm.
3. Nilai *band-gap* masing-masing variasi nanomaterial S/CuO/nGO 0,25/1 dan 0,75/1 sebesar 0,97 dan 1,25 eV yang menunjukkan bahwa nanomaterial yang diperoleh memiliki efektivitas dalam sinar UV dan visibel. Hasil nilai *band-gap* S/CuO/nGO variasi 0,25/1 dan variasi 0,75/1 menunjukkan bahwa nanomaterial memiliki aktivitas fotokatalitik.
4. Morfologi permukaan nanomaterial S/CuO/nGO telah dianalisis menggunakan instrumen SEM dan diperoleh permukaan nanomaterial yang tidak homogen dan terjadinya aglomerasi.
5. Hasil uji aktivitas antibakteri menggunakan metode *Minimum Inhibitory Concentration* (MIC) menunjukkan bahwa sampel *Nanosheets* GO dan CuO membutuhkan konsentrasi pada rentang 0,128-65,536 mg/mL sedangkan sampel S/CuO dan S/CuO/nGO relatif lebih kecil yaitu 0,00125-0,64 mg/mL. Sampel S/CuO/nGO 0,75/1 memiliki aktivitas antibakteri yang lebih baik yaitu pada kisaran konsentrasi 0,00125 mg/mL (bakteri *Bacillus sp*) dan 0,01 mg/mL (bakteri *Escherichia coli*).

6. Pengujian aktivitas antibakteri yang telah dilakukan menggunakan sampel *nanosheets* GO, CuO, S/CuO (0,25/1; 0,75/1) dan S/CuO/nGO (0,25/1; 0,75/1) menggunakan metode Difusi cakram, diperoleh zona bening pada bakteri *Bacillus sp* lebih besar dari *Escherichia coli*. Pada perlakuan variasi waktu dan sinar, teridentifikasi zona bening maksimal pada sampel tanpa sinar yaitu pada kisaran 2-6 mm.

5.2 Saran

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

1. Pada proses sintesis *Nanosheets* GO, pencucian endapan larutan GO dengan HCl 5% dan aquades lebih efektif menggunakan alat sentrifus guna memperoleh hasil yang lebih maksimal dibandingkan disaring dengan kertas saring.
2. Pengujian antibakteri dalam metode Difusi cakram dan MIC sebaiknya menggunakan bakteri dengan masa inkubasi selama 18-24 jam agar memperoleh hasil zona bening yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Yudistira Virgus, N. N., & Khairurrijal, K. 2009. Sintesis Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, 1(2), 33-57.
- Adelberg, Jawetz, Melnick. 2008. *Medical Microbiology*. Edisi 23. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Ahmad, N., Isworo, A., & Indriani, C. 2018. Kejadian luar biasa keracunan “cunicumian” di sekolah dasar negeri 1 Trasan Bandongan Kabupaten Magelang. *Media Ilmu Kesehatan*, 7(2), 131-136.
- Ahamed, M., Alhadlaq, H. A., Khan, M. A., Karuppiyah, P., & Al-Dhabi, N. A. 2014. Synthesis, characterization, and antimicrobial activity of copper oxide nanoparticles. *Journal of Nanomaterials*, 2014.
- Amieva, E. J. C., López-Barroso, J., Martínez-Hernández, A. L., & Velasco-Santos, C. 2016. Graphene-based materials functionalization with natural polymeric biomolecules. *Recent advances in graphene research*, 1, 257-298.
- Anita S. E and Dae J. K. 2012. Synthesis and Characterization of CuO Nanowires by a Simple Wet Chemical Method. *Journal Nanoscale Research Letters*. 7: 2-5.
- Applerot, G., Lellouche, J., Lipovsky, A., Nitzan, Y., Lubart, R., Gedanken, A., & Banin, E. 2012. Understanding the antibacterial mechanism of CuO nanoparticles: revealing the route of induced oxidative stress. *Small*, 8(21), 3326-3337.
- Arriagada, P., Palza, H., Palma, P., Flores, M., & Caviedes, P. 2018. Poly (lactic acid) composites based on graphene oxide particles with antibacterial behavior enhanced by electrical stimulus and biocompatibility. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 106(4), 1051-1060.
- Asmathunisha, N., & Kathiresan, K. 2013. A review on biosynthesis of nanoparticles by marine organisms. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 103, 283-287

- Azam, A., Ahmed, A. S., Oves, M., Khan, M. S., & Memic, A. 2012. Size-dependent antimicrobial properties of CuO nanoparticles against Gram-positive and-negative bacterial strains. *International journal of nanomedicine*, 3527-3535.
- Bousiakou, L. G., Qindeel, R., Al-Dossary, O. M., & Kalkani, H. 2022. Synthesis and characterization of graphene oxide (GO) sheets for pathogen inhibition: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of King Saud University-Science*, 34(4), 102002.
- Chang, Y. N., Zhang, M., Xia, L., Zhang, J., & Xing, G. 2012. The toxic effects and mechanisms of CuO and ZnO nanoparticles. *Materials*, 5(12), 2850-2871.
- Choerudin. 2017. *Peran Nanomaterial dalam Pengolahan Air dan Air Limbah*. Teknik Kimia. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Davis, W. W., & Stout, T. R. 1971. Disk plate method of microbiological antibiotic assay. *American Society for Microbiology*, 4(22).
- Deng, Z., Hoefling, A., Théato, P., & Lienkamp, K. 2018. Surface properties and antimicrobial activity of poly (sulfur-co-1, 3-diisopropenylbenzene) copolymers. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 219(5), 1700497.
- Deshpande, A. S., Khomane, R. B., Vaidya, B. K., Joshi, R. M., Harle, A. S., & Kulkarni, B. D. 2008. Sulfur nanoparticles synthesis and characterization from H₂S gas, using novel biodegradable iron chelates in W/O microemulsion. *Nanoscale Research Letters*, 3(6), 221-229.
- Dewi, K. 2020. *Sintesis dan Karakterisasi Natural Graphite dan Graphite Oxide (GO) dari Limbah Tongkol Jagung*. (Skripsi). Univeristas Pertamina. Jakarta.
- Dreyer, D. R., S. Park, Bielawski, C. W. and Ruoff, R. S.. 2010. *Chem. Soc. Rev.* 39, 228.
- Ejrnaes, K. 2011. Bacterial characteristics of importance for recurrent urinary tract infections caused by *Escherichia coli*. *Dan Med Bull*, 58(4), B4187.
- Endro Suseno, J., & Firdausi, K. S. 2008. Rancang bangun spektroskopi FTIR (Fourier Transform Infrared) untuk penentuan kualitas susu sapi. *Berkala Fisika*, 11(1), 23-28.
- Fathia, Azka. 2018. *Sintesis Dan Karakterisasi Graphene Oxide Terkombinasi Nanopartikel Perak Dalam Fase Cair*. FMIPA UNY. Yogyakarta.
- Fauzi, F., & Dwandaru, W. S. B. 2021. Analisis Karakteristik Graphene Oxide dan Reduksinya melalui Gelombang Mikro. *Jurnal Fisika*, 11(1), 9-18.

- Geim A.K, Novoselov. 2007. *The Rise of Graphene*. University of Manchester . Manchester.
- Havancsak, Karoly. 2016. *High-Resolution Scanning Electron Microscopy Eötvös Loránd University*. Department of Materials Physics Hungary, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány, p.1.
- Hayati, L. N., Tyaningsih, W., Praja, R. N., Sri, C., Maya, N. Y., dan Prima, A. W. 2019. Isolasi dan Identifikasi *Staphylococcus aureus* Pada Susu Kambing Peranakan Etawah Penderita Mesitis Subklinis di Kelurahan Kalipuro, Banyuwangi. *Jurnal Medik Veteriner*. 2(2): 76-82.
- Hajipour, P., Bahrami, A., Eslami, A., & Hosseini-Abari, A. 2020. Chemical bath synthesis of CuO-GO-Ag nanocomposites with enhanced antibacterial properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 821, 153456.
- Hummel, R. E., & Dubroca, T. 2000. Differential reflectance spectroscopy in analysis of surfaces. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, 9047-9071.
- Horváth, G., Bencsik, T., Ács, K., & Kocsis, B. 2016. Sensitivity of ESBL-producing gram-negative bacteria to essential oils, plant extracts, and their isolated compounds. *Acad. Press Amst*, 239-269.
- Khakim, L. & Rini, C. S., 2018. Identifikasi *Escherichia coli* dan *Salmonella* sp. pada Air Kolam Renang Candi Pari. *Medicra (Journal of Medical Laboratory Science/Technology)*, 1(2), pp. 84-93.
- Krishnamoorthy, K., Umasuthan, N., Mohan, R., Lee, J., & Kim, S. J. 2012. Antibacterial activity of graphene oxide nanosheets. *Science of Advanced Materials*, 4(11), 1111-1117.
- Kumar, S., Raj, S., Sarkar, K., & Chatterjee, K. 2016. Engineering a multi-biofunctional composite using poly (ethylenimine) decorated graphene oxide for bone tissue regeneration. *Nanoscale*, 8(12), 6820-6836.
- Kurniati, T., Mukhtar, A., & Yanti, P. H. 2015. Sintesis Tembaga Oksida (CuO) Serta Uji Degradasi Terhadap Metanil Kuning. *JOM FMIPA*, 2(2), 3-4
- Liu, S., Zeng, T. H., Hofmann, M., Burcombe, E., Wei, J., Jiang, R., & Chen, Y. 2011. Antibacterial activity of graphite, graphite oxide, graphene oxide, and reduced graphene oxide: membrane and oxidative stress. *ACS nano*, 5(9), 6971-6980.
- Mahardika, & Dewi, F. R. 2014. Analisis Pengembangan Usaha Pemanfaatan Limbah Bonggol Jagung Menjadi Produk Kerajinan Multiguna. *Jurnal Manajemen dan Organisasi* Vol. V No 3, 2.
- Mallick, P., & Sahu, S. 2012. Structure, microstructure and optical absorption analysis of CuO nanoparticles synthesized by sol-gel route. *Nanoscience and Nanotechnology*, 2(3), 71-74.

- Maulina, S., & Iriansyah, M. 2018. Characteristics of activated carbon resulted from pyrolysis of the oil palm fronds powder. *In IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 309, No. 1, p. 012072)
- Mittal, D. R., 2011, *Nature of Interaction Between Metal Nanoparticles (Ag) & Bacterial Cell (E. coli)*, Tesis tidak diterbitkan, Department of Biotechnology and Medical Engineering, National Institute of Technology Rourkela, Rourkela.
- Muthmainnah. 2012. *Pembuatan arang aktif tongkol jagung dan aplikasinya pada pengolahan minyak jelantah*. Program Studi Pendidikan Kimia. Jurusan Pendidikan Kimia. Fakultas FKIP. Universitas Tadulako. Palu.
- Mohamed, M. A., Jaafar, J., Ismail, A. F., Othman, M. H. D., & Rahman, M. A. 2017. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. *In Membrane characterization* (pp. 3-29). elsevier.
- Nalawati, A. N. 2015. *Sintesis Nanopartikel Perak (NPAg) dengan Metode yang Ramah Lingkungan dan Kajian Aktivitasnya dalam Menghambat Pertumbuhan Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif*. Tesis tidak diterbitkan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Napitupulu, H. G., Rumengan, I. F. M., Wullur, S., Ginting, E. L., Rimper, J. R. T. S. L., & Toloh, B. H. 2019. Bacillus sp. sebagai Agensia Pengurai dalam Pemeliharaan Brachionus rotundiformis yang Menggunakan Ikan Mentah sebagai Sumber Nutrisi. *Jurnal Ilmiah Platax*, 7(1), 158-169.
- Nzeh, Parker. 2022. "Minimum Inhibitory Concentrations – Importance and Applications. *J Antimicrob Agents* 8: 262.
- Ohno T., Akiyoshi, M., Umebayashi T., Asai, K., Mitsui, T., dan Michio Matsumura. 2004. Preparation of S-doped TiO₂ photocatalyst and their photocatalytic activities under visible light. *Journal Applied Catalyst A: General*. Halaman 115-121.
- Ossila. 2013. Graphene Oxide Powder and Solutions. <https://www.ossila.com/products/graphene-oxide-powders> diunduh pada tanggal 13 September 2022.
- Palanivel, C., Prabhakaran, N. R., & Selvakumar, G. 2019. Morphological expedient flower like nanostructures WO₃-TiO₂ nanocomposite material and its multi applications. *OpenNano*, 4, 100026.
- Patel, N. H. 2015. *Basic Principle, Working and Instrumentation of Experimental Techniques*. Sardar Patel University. Gujarat.
- Permenkes RI. 2011. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2406/MENKES/PER/XII/2011 *Tentang Pedoman Umum Penggunaan Antibiotik*. Permenkes RI; 34-44.

- Pragathiswaran, C., Abbubakkar, B. M., Govindhan, P., & Abuthahir, K. S. 2015. Synthesis of TiO₂ and ZnO nano composites with graphene oxide photo catalytic reduction and removal of chromium (VI) in aqueous solution. *J Appl Chem*, 4, 525-532.
- Rahayu, Winiati, P., Nurjanah Siti & Komalasari Ema. 2018. *Escherichia coli: Patogenitas, analisis dan kajian risiko*. IPB Press. Bogor.
- Rait, A. S., Nurhasanah, dan Agung, A. K. 2021. Analisis Aktivitas Antibakteri Ekstrak Daun Sirih Hijau (*Piper Betle* Linn) Pada Handsoap Menggunakan Metode Cakram. *Journal Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. 6(2): 122-133.
- Ray, S. C. 2015. Application and uses of graphene oxide and reduced graphene oxide. *Applications of graphene and graphene-oxide based nanomaterials*, 1.
- Reena, R. S., Freeda, P. J., Deepapriya, S., Rodney, J. D., Aslinjensipriya, A., Jose, & Das, S. J. 2020. Synthesis of CuO nanoparticles: Structural and optical properties by sol-gel method. *In AIP Conference Proceedings* (Vol. 2244, No. 1, p. 070035).
- Rudrapati, R. 2020. *Graphene: Fabrication methods, properties, and applications in modern industries*. Intech Open. London, UK.
- Ruiz, O. N., Fernando, K. S., Wang, B., Brown, N. A., Luo, P. G., McNamara, N. D., & Bunker, C. E. 2011. Graphene oxide: a nonspecific enhancer of cellular growth. *ACS nano*, 5(10), 8100-8107.
- Rollando, S. 2019. *Senyawa Antibakteri Dari Fungi Endofit*. Puntadewa.
- Sabrina, Q. 2011. *Kajian Sifat Optis pada Glukosa Darah*. (Skripsi). UIN syarif hidayatullah. Jakarta.
- Sahat, S., Ahmad, N. F. A., Razali, S. N. A. M., Kaamin, M., Mokhtar, M., Hamid, N. B., & Nyadiman, N. 2018. Effectiveness of corn cob as a thermal isolation material. *In AIP Conference Proceedings* (Vol. 2016, No. 1, p. 020127). AIP Publishing LLC.
- Saida, K., Nomoto, Y., Okauchi, H., Ogiwara, H., & Nishimoto, K. 2012. Influences of phosphorus and sulphur on ductility dip cracking susceptibility in multipass weld metal of alloy 690. *Science and Technology of Welding and Joining*, 17(1), 1-8.
- Saedi, S., Shokri, M., & Rhim, J. W. 2020. Antimicrobial activity of sulfur nanoparticles: effect of preparation methods. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(8), 6580-6588.
- Salata, O. V. 2004. Applications of nanoparticles in biology and medicine. *Journal of nanobiotechnology*, 2(1), 1-6.

- Septiningrum, K., Apriana dan Chandra. 2011. *Produksi xilanase dari tongkol jagung dengan system bioproses menggunakan Bacillus circulans untuk pra-pemutihan pulp*. Bandung: Balai besar pulp dan kertas, kementerian perindustrian Indonesia. V(1): 87-97.
- Subaer. 2015. *Pengantar Fisika Geopolimer*. DP2M Dikti. Jakarta
- Shahriary, L., & Athawale, A. A. 2014. Graphene oxide synthesized by using modified hummers approach. *Int. J. Renew. Energy Environ. Eng*, 2(01), 58-63.
- Shao, W., Liu, X., Min, H., Dong, G., Feng, Q., & Zuo, S. 2015. Preparation, Characterization, and Antibacterial Activity of Silver Nanoparticle Decorated Graphene Oxide Nanocomposite. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 7(12): 6966–6973
- Situmeang, R dan N. Fansisca. 2011. Study of $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{NiFe}_2\text{O}_4$ Catalyst For Glucose Conversion In The Low Temperature. *Jurnal kimia FMIPA Universitas Lampung*. Hal. 4-5
- Solehudin, Agus. 2009. *Pengaruh Sulfur dan Senyawanya Terhadap Korosi*. Jurusan Pendidikan Teknik Mesin. FPTK - UPI. Bandung.
- Song, J., Wang, X., & Chang, C. T. 2014. Preparation and characterization of graphene oxide. *Journal of Nanomaterials*, 2014.
- Suharyana. 2012. *Dasar-Dasar dan Pemanfaatan Metode Difraksi Sinar-X*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Sulistiyani, T. R., Kusmiati, M., & Putri, G. A. 2021. The 16S rRNA Analysis and Enzyme Screening of Bacillus from Rhizosphere Soil of Lombok Island. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 26(4), 582-590.
- Syakir, N., Nurlina, R., Anam, S., Aprilia, A., & Hidayat, S. 2015. Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena dalam Jumlah Besar (Halaman 26 sd 29). *Jurnal Fisika Indonesia*, 19(56).
- Taufantri, Y., Irdhawati, Raka, I. A., dan Astiti, A. 2016. Sintesis dan Karakterisasi Grafena dengan Metode Reduksi Grafit Oksida Menggunakan Pereduksi Zn. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia*. 2(1): 17-23.
- Truong dan Lee. 2013. *Graphene From Fundamental to Future Application*. Chonbuk National University. South Korea.
- Tsai, W. T., C. Y. Chang, S. Y. Wang, C. F. Chang, S. F. Chien, dan Sun, H. F. 2001. Cleaner Production of Carbon Adsorbents by Utilizing Agricultural Waste Corn Cob. *Resources, Conservation and Recycling*. 32(1):43–53.

- Ungeheuer, K., Marszalek, K. W., Mitura-Nowak, M., Perzanowski, M., Jelen, P., Marszalek, M., & Sitarz, M. 2022. Influence of Cr ion implantation on physical properties of CuO thin films. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9), 4541.
- Vinayan, B. P., Zhao-Karger, Z., Diemant, T., Chakravadhanula, V. S. K., Schwarzburger, N. I., Cambaz, M. A., ... Fichtner, M. 2016. Performance study of magnesium–sulfur battery using a graphene based sulfur composite cathode electrode and a non-nucleophilic Mg electrolyte. *Nanoscale*, 8(6), 3296–3306.
- Wahyuningsih, S., Ramelan, A. H., & Hanif, Q. A. 2019. Preparation of nitrogen and sulphur Co-doped reduced graphene oxide (rGO-NS) using N and S heteroatom of thiourea. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 509, No. 1, p. 012119).
- Widyawati, N. 2012. Analisa Pengaruh Heating Rate terhadap tingkat Kristal dan Ukuran Butir Lapisan BZT yang Ditumbuhkan dengan Metode Sol Gel. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Wijayanto, S. O., dan Bayuseno, A. P. 2014. Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian : Mikrografi Dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin*. 2(1): 33-39.
- Xu, Zhihua, Yuwei Zhou, Zhenhua Sun, Daofang Zhang, Yuanxing Huang, Siyi Gu, and Weifang Chen. 2020. “Understanding Reactions and Pore-Forming Mechanisms between Waste Cotton Woven and FeCl₃ during the Synthesis of Magnetic Activated Carbon.” *Chemosphere* 241:125120.
- Yechezkel, Y., Dror, I., & Berkowitz, B. 2013. Catalytic degradation of brominated flame retardants by copper oxide nanoparticles. *Chemosphere*, 93(1), 172-177.
- Zaaba, N. I., Foo, K. L., Hashim, U., Tan, S. J., Liu, W. W., & Voon, C. H. 2017. Synthesis of graphene oxide using modified hummers method: solvent influence. *Procedia engineering*, 184, 469-477.