

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI S/CaO/nGO DENGAN
BANTUAN SINAR *VISIBLE* SEBAGAI ANTIBAKTERI**

(Skripsi)

Oleh

Alya Maghfira
NPM 1917011063



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

ABSTRAK

SINTESIS DAN KARAKTERISASI S/CaO/nGO DENGAN BANTUAN SINAR *VISIBLE* SEBAGAI ANTIBAKTERI

Oleh

ALYA MAGHFIRA

Telah diperoleh S/CaO/nGO serta dilakukan uji antibakteri di bawah irradiasi sinar *visible*. Nano grafena oksida (nGO) disintesis dari bonggol jagung menggunakan metode Hummers dan CaO diperoleh dari kalsinasi cangkang telur pada suhu 700°C. Sulfur yang diperoleh dari H₂SO₄ 1 M ditambahkan pada CaO, lalu S/CaO diimpreg terhadap nGO dengan perbandingan S/CaO/nGO masing-masing sebesar 0,25/1 dan 0,75/1. Karakterisasi S/CaO/nGO dilakukan dengan XRD untuk mengetahui puncak-puncak difraksi kristal dan ukuran partikel, FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam sampel, DRS untuk mengetahui energi *band gap* dan SEM untuk mengetahui morfologi sampel. Hasil XRD menunjukkan terbentuknya S/CaO/nGO dengan fasa CaSO₄ yang memiliki ukuran partikel masing-masing sebesar 30,53 nm dan 44,58 nm untuk S/CaO/nGO 0,25/1 dan 0,75/1. Hasil FTIR menunjukkan adanya vibrasi ikatan Ca-O, C-O, C=C dari gugus alkena serta C=O dari nGO, vibrasi ikatan O-H dari gugus hidroksil serta S-O dan S=O dari penambahan sulfur. Hasil DRS menunjukkan nilai energi *band gap* masing-masing sebesar 1,06 dan 0,98 eV untuk S/CaO/nGO 0,25/1 dan 0,75/1. Sementara itu, hasil SEM menunjukkan aglomerasi pada permukaan sampel. Uji antibakteri dilakukan terhadap *B. subtilis* dan *E. coli* menggunakan metode difusi cakram dengan variasi penyinaran sinar *visible* selama 15, 30, 45 dan 60 menit serta menggunakan konsentrasi hasil uji MIC. Hasil uji menunjukkan adanya zona hambat terhadap *B. subtilis* dengan variasi waktu penyinaran 45 menit yakni sebesar 4 mm. Zona hambat juga muncul terhadap *E. coli* dengan variasi waktu penyinaran 30 menit yakni sebesar 3 mm.

Kata kunci : antibakteri, S/CaO/nGO, sinar *visible*

ABSTRACT

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF S/CaO/nGO WITH HELP OF VISIBLE LIGHT AS AN ANTIBACTERIAL AGENT

By

ALYA MAGHFIRA

Had been obtained S/CaO/nGO and antibacterial test was done below irradiation of visible light. Nano graphene oxide (nGO) was synthesized from corn cub using Hummers Method and CaO was obtained by calcination of eggshell in 700°C. Sulfur obtained from H₂SO₄ 1 M added into CaO, then S/CaO was impregnated into nGO in ratio of S/CaO/nGO respectively 0,25/1 and 0,75/1. Characterization of S/CaO/nGO was done by XRD for observing crystal diffraction peaks and particle size, FTIR for observing functional groups in sample, DRS for observing band gap energy and SEM for observing morphology of sample. XRD results showed S/CaO/nGO forming in CaSO₄ phase which its particle size are 30,53 nm and 44,58 nm for S/CaO/nGO 0,25/1 and 0,75/1 respectively. FTIR results showed vibration of Ca-O band, C-O band, C=C from alkene group and C=O from nGO, vibration of O-H from hydroxyl group also S-O and S=O from doping of sulfur. DRS results showed value band gap energy respectively 1,06 and 0,98 eV for S/CaO/nGO 0,25/1 and 0,75/1. Meanwhile SEM results showed agglomeration on sample surface. Antibacterial test was done against *B. subtilis* and *E. coli* using disc diffusion method in various visible light irradiation, 15, 30, 45 and 60 minutes also using concentration from MIC test results. Test results showed there were an inhibition zone against *B. subtilis* in 45 minutes of visible light irradiation in amount of 4 mm. Inhibition zone also had been shown against *E. coli* in 30 minutes of visible light irradiation in amount of 3 mm.

Keywords: antibacterial agent, S/CaO/nGO, visible light

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI S/CaO/nGO DENGAN
BANTUAN SINAR *VISIBLE* SEBAGAI ANTIBAKTERI**

Oleh

Alya Maghfira

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 Skripsi : **SINTESIS DAN KARAKTERISASI S/CaO/nGO
DENGAN BANTUAN SINAR *VISIBLE*
SEBAGAI ANTIBAKTERI**

Nama Mahasiswa : *Alya Maghfira*

Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011063

Jurusan : **Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

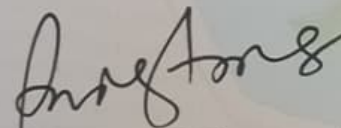


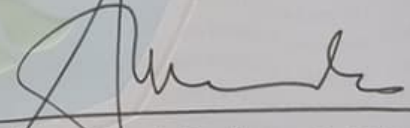
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

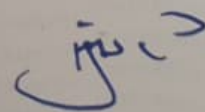
Pembimbing I

Pembimbing II


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


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

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA


Mulyono, Ph.D.
NIP. 197406112000031002

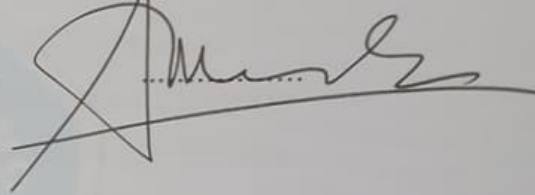
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

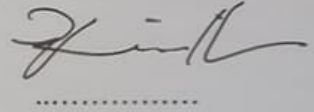
Ketua : Prof. Rudy T.M. Situmeang, Ph.D.



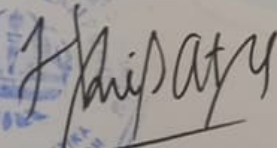
Sekretaris : Prof. Dr. Sumardi, M.Si.



Penguji
Bukan Pembimbing : Rinawati, S.Si., M.Si., Ph.D.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 13 Juli 2023

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Alya Maghfira
NPM : 1917011063
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Sintesis dan Karakterisasi S/CaO/nGO dengan Bantuan Sinar Visible sebagai Antibakteri**" merupakan hasil penelitian dan pemikiran yang telah dikerjakan oleh saya sendiri dan tidak terdapat karya atau pendapat orang lain dalam 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 dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari ditemukan adanya ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 13 Juli 2023

Deklarasi Pernyataan
METERAI TEMPEL
E2CAKX532293230
Alya Maghfira
NPM 1917011063



RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bukittinggi, Sumatera Barat pada tanggal 13 Juli 2001 sebagai anak kedua dari dua bersaudara, dari Bapak Ir. Mulyadi dan Ibu Ir. Marnetis. Pendidikan Sekolah Dasar (SD) penulis selesaikan di SD Al-Azhar 1 Bandar Lampung pada tahun 2013, Sekolah Menengah Pertama di SMP Alkautsar pada tahun 2016 dan SMA Alkautsar pada tahun 2019. Pada tahun 2019, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Unila melalui jalur SBMPTN.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) FMIPA Unila sebagai pengurus muda pada tahun 2020 dan pengurus inti pada tahun 2021 di bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK). Pada tahun 2022, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Way Lunik, Kecamatan Panjang, Bandar Lampung selama 40 hari. Pada tahun yang sama, penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Anorganik/Fisik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung dengan judul **“Sintesis dan Karakterisasi AgO/nGO serta Uji Antibakteri di Bawah Irradiasi Sinar UV”**

Pada tahun 2023, penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Kimia Fisik I. Sementara itu pada bulan November 2022 sampai Mei 2023 penulis menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Jurusan Kimia dan Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung dengan judul **“Sintesis dan Karakterisasi S/CaO/nGO dengan Bantuan Sinar *Visible* sebagai Antibakteri”**.

PERSEMBAHAN

Hasil penelitian ini dipersembahkan untuk :

Papa Ir. Mulyadi, Mama Ir. Marnetis dan Kak Naura Nadhifah, S.Si yang selalu berusaha keras dalam mendukung dan berdoa untuk kesuksesanku

Teman-temanku selama di perkuliahan, rekan-rekan seperbimbinganku yang selalu menemani hari-hariku selama perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir

Almamater tercinta, Universitas Lampung

MOTTO

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

“Janganlah kamu bersedih, sesungguhnya Allah beserta kita” (Q.S. At-Taubah: 40)

*“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”
(Q.S. Al-Baqarah: 286)*

*“Hiduplah seperti air. Sederhana, tapi berguna bagi kehidupan banyak orang” -
Penulis*

SANWACANA

Puji Syukur penulis panjatkan atas Kehadirat Allah SWT, berkat Rahmat dan Hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi yang berjudul **“Sintesis dan Karakterisasi S/CaO/nGO dengan Bantuan Sinar Visible sebagai Antibakteri.”** Shalawat teriring salam selalu tercurahkan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW yang kelak akan memberikan syafaatnya di Yaumul Akhir kelak. Penulisan skripsi ini dilakukan untuk memenuhi syarat untuk mencapai gelar sarjana sains di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini terdapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada :

1. Kedua orang tua, Papa Ir. Mulyadi dan Mama Ir. Marnetis serta kakakku, Kak Naura Nadhifah, S.Si yang selama ini selalu memberikan dukungan baik materi maupun moral dan mendoakan keberhasilan penulis. Terima kasih banyak atas segala sesuatu yang telah diberikan, semoga selalu diberikan kesehatan, rezeki dan umur yang panjang oleh Allah SWT.
2. Bapak Prof. Rudy T.M. Situmeang, Ph.D., selaku pembimbing utama dalam penelitian yang selama ini telah membimbing dan memberikan ilmu, bantuan, arahan, motivasi dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian serta skripsi dengan baik.
3. Bapak Prof. Dr. Sumardi, M.Si., selaku pembimbing kedua yang selama ini juga telah membimbing dan memberikan ilmu, arahan, motivasi dan dukungan dalam penelitian serta penulisan skripsi.

4. Ibu Rinawati, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku pembahas yang telah memberikan kritik, saran dan masukan dalam penelitian dan penulisan skripsi.
5. Bapak Prof. Suharso, Ph.D., selaku pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan dukungan terkait hal yang berkaitan dengan perkuliahan.
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
7. Bapak Mulyono, Ph.D., selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung dan Ibu Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si., selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
8. Seluruh jajaran dosen kimia FMIPA Universitas Lampung yang selama ini telah mendidik dan memberikan ilmu sepanjang perkuliahan, beserta staf administrasi yang telah membantu penulis menyelesaikan berbagai urusan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
9. Mbak Liza selaku laboran di Laboratorium Anorganik/Fisik dan Mbak Oni selaku laboran di Laboratorium Mikrobiologi yang telah membantu penulis dalam menyiapkan segala kebutuhan yang berkaitan dengan kegiatan penelitian di dalam laboratorium.
10. Teman-teman seperjuanganku dalam penelitian, Aniska Legia, Dony Ega Utama dan Syangap Diningrat Sitompul yang selalu membersamai penulis dan memberikan dukungan serta doa hingga penulis bisa sampai ke titik ini. Terima kasih atas kerja samanya selama ini, semoga kita bisa sukses di jalan masing-masing nantinya.
11. Kakak-kakak senior seperbimbingan di Jurusan Kimia dan Jurusan Biologi yang telah memberikan bimbingan, motivasi dan dukungan bagi penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan penelitian dengan baik.
12. Sahabat-sahabatku selama perkuliahan, Cova Selly Friska Br. Purba dan Yori Pratiwi yang selalu memberikan cerita, dukungan dan canda tawa kepada penulis. Terima kasih karena sudah setia menjadi sahabat-sahabatku selama hampir 4 tahun lamanya ini, semoga kita juga bisa sukses di jalan masing-masing nantinya.

13. Teman-teman seangkatanku, Keluarga Besar Chemistry '19. Semoga kita bisa terus menjadi 'Smart People', 'Smart Thinking' dan 'Good Attitude'.
14. Semua pihak yang sudah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Terima kasih atas dukungan dan doa terhadap penulis.

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

Bandar Lampung, 13 Juli 2023

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Bonggol Jagung.....	5
2.2 Grafena Oksida.....	6
2.3 Nano Grafena Oksida (nGO).....	9
2.4 Cangkang Telur	10
2.5 Kalsium Oksida (CaO)	10
2.6 Sulfur (S)	11
2.7 Metode.....	12
2.7.1 Metode <i>Catalytic Graphitization</i>	12
2.7.2 Metode Hummers	13
2.7.3 Metode Sonikasi	14
2.7.4 Metode Impregnasi	14
2.7.5 Metode Difusi	15
2.8 Instrumentasi	16
2.8.1 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	16
2.8.2 <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i>	19
2.8.3 <i>Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS)</i>	21
2.8.4 <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	22
2.9 Fotokatalis	23
2.10 Bakteri	25

2.10.1 Fase Pertumbuhan Bakteri	25
2.10.2 <i>Bacillus subtilis</i>	26
2.10.3 <i>Escherichia coli</i>	26
III. METODE PENELITIAN	28
3.1 Waktu dan Tempat	28
3.2 Bahan dan Alat	28
3.3 Sintesis S/CaO/nGO	29
3.3.1 Karbonisasi Serbuk Bonggol Jagung.....	29
3.3.2 Sintesis Grafit	29
3.3.3 Sintesis Nano Grafena Oksida (nGO).....	30
3.3.4 Sintesis Kalsium Oksida (CaO)	30
3.3.5 Pencampuran S/CaO	30
3.3.6 Pencampuran S/CaO/nGO	31
3.4 Karakterisasi	31
3.4.1 Karakterisasi Menggunakan XRD.....	31
3.4.2 Karakterisasi Menggunakan FTIR.....	31
3.4.3 Karakterisasi Menggunakan DRS.....	32
3.4.4 Karakterisasi Menggunakan SEM	32
3.5 Uji Antibakteri.....	32
3.5.1 Peremajaan Bakteri	32
3.5.2 Pengambilan Bakteri.....	33
3.5.3 Perlakuan Sampel Antibakteri Terhadap Bakteri	33
3.6 Pengamatan	33
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Karbonisasi Bonggol Jagung.....	35
4.2 Grafit	37
4.3 Grafena Oksida (GO)	39
4.4 Karakterisasi Grafit dan Grafena Oksida	42
4.4.1 Analisis XRD Grafit dan Grafena Oksida	42
4.4.2 Analisis FTIR Grafit dan Grafena Oksida.....	45
4.5 Kalsium Oksida (CaO)	47
4.6 Karakterisasi Kalsium Oksida (CaO).....	48
4.6.1 Analisis XRD CaO	48
4.6.2 Analisis FTIR CaO	50
4.7 S/CaO	51
4.8 Karakterisasi S/CaO	53

4.8.1 Analisis FTIR S/CaO	53
4.9 S/CaO/nGO	55
4.10 Karakterisasi S/CaO/nGO	56
4.10.1 Analisis XRD S/CaO/nGO	56
4.10.2 Analisis FTIR S/CaO/nGO	58
4.10.3 Analisis DRS S/CaO/nGO	60
4.10.4 Analisis SEM S/CaO/nGO	62
4.11 Uji <i>Minimum Inhibitory Concentration</i> (MIC)	63
4.12 Uji Antibakteri dengan Difusi Cakram	66
V. KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN.....	82

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Massa serbuk bonggol jagung sebelum karbonisasi dan massa arang yang dihasilkan dari karbonisasi.....	36
2. Nilai <i>yield</i> atau rendemen karbonisasi serbuk bonggol jagung.....	36
3. Nilai <i>yield</i> atau rendemen grafit hasil sintesis	39
4. Nilai <i>yield</i> atau rendemen grafena oksida hasil sintesis.....	42
5. Ukuran partikel dari grafena oksida hasil sintesis	45
6. Nilai <i>yield</i> atau rendemen CaO hasil kalsinasi cangkang telur	48
7. Puncak-puncak representatif CaO hasil sintesis	49
8. Ukuran partikel dari CaO hasil sintesis.....	50
9. Pencampuran S/CaO 0,25/1 dan S/CaO 0,75/1.....	53
10. Impregnasi S/CaO terhadap nano grafena oksida (nGO).....	56
11. Puncak-puncak representatif S/CaO/nGO hasil sintesis	57
12. Ukuran partikel dari S/CaO/nGO hasil sintesis	58
13. Nilai energi <i>band gap</i> dari S/CaO/nGO	62
14. Hasil uji MIC dari sampel larutan antibakteri.....	64
15. Hasil uji antibakteri dengan metode difusi cakram.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bonggol jagung	5
2. Grafit dan grafena (Bai <i>et al.</i> , 2019)	6
3. Grafena oksida (Bai <i>et al.</i> , 2019)	7
4. Mekanisme perusakan bakteri oleh GO (Zheng <i>et al.</i> , 2018)	8
5. Cangkang telur	10
6. Hasil FE-SEM berbagai mikroorganisme setelah diberi perlakuan nanopartikel sulfur (SNP _{ES}) (Saedi <i>et al.</i> , 2020).....	12
7. FeCl ₃ .6H ₂ O	13
8. Pengamatan zona bening, A : cawan petri; B : zona hambat; C : kertas cakram; ←→: pengukuran zona hambat (Nurhayati dkk., 2020).....	16
9. Skema XRD (Snyder, 1999)	17
10. Difraktogram XRD sampel GO dibandingkan dengan grafit dan sampel GO yang diberi perlakuan pemanasan dari uji XRD yang dilakukan oleh Syakir dkk (2015).....	18
11. Komponen utama yang digunakan dalam spektrofotometer FTIR (Rohman, 2021).	20
12. Spektrum FTIR sampel GO dibandingkan dengan grafit dan sampel GO yang diberi perlakuan pemanasan dari uji FTIR yang dilakukan oleh Syakir dkk (2015).....	20
13. Serapan TiO ₂ pada berbagai konsentrasi (NH ₄) ₂ SO ₄ hasil pengukuran <i>UV-Vis Diffuse Reflectance Spectra</i> (Wardiyati dkk., 2015).....	22
14. Hasil mikroskop cahaya dan elektron (Wijayanto dan Bayuseno, 2014)	23
15. Perbedaan celah energi (a) konduktor; (b) isolator dan (c) semikonduktor (Hindryawati, 2020)	24
16. Kurva pertumbuhan mikrobial, (1) fase adaptasi (fase <i>lag</i>); (2) fase pertumbuhan eksponensial; (3) fase stasioner (Yuwono, 2016).	25
17. <i>B. subtilis</i> (Jawetz <i>et al.</i> , 2005)	26
18. <i>E. coli</i> (Khakim dan Rini, 2018)	27
19. Perbedaan Gram negatif dan Gram positif (Koentjoro dan Prasetyo, 2020) .	27

20. Arang yang dihasilkan dari karbonisasi serbuk bonggol jagung	35
21. Larutan sintesis grafit (a) sebelum penambahan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; (b) setelah penambahan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; (c) setelah penambahan HCl dan pemanasan 60°C ; (d) saat pencucian dengan aquades	37
22. Hasil sintesis grafit.....	38
23. Campuran sintesis GO (a) saat pengadukan dalam <i>ice bath</i> ; (b) saat pengadukan tanpa <i>ice bath</i> (setelah penambahan KMnO_4); (c) saat mulai penambahan aquades; (d) hasil reaksi.....	41
24. Hasil sintesis grafena oksida (GO).....	41
25. Difraktogram hasil XRD (a) grafit; (b) grafena oksida (GO)	43
26. Spektra FTIR (a) grafit; (b) grafena oksida (GO)	45
27. Hasil sintesis kalsium oksida (CaO)	47
28. Difraktogram hasil XRD CaO.....	49
29. Spektra FTIR CaO	51
30. Campuran CaO dengan H_2SO_4 (a) saat pengadukan dengan pemanasan; (b) setelah selesai pengadukan dengan pemanasan; (c) serbuk hasil sintesis.....	52
31. Hasil sintesis S/CaO.....	53
32. Spektra FTIR (a) CaO; (b) S/CaO 0,25/1; (c) S/CaO 0,75/1	54
33. Hasil sintesis S/CaO/nGO (a) 0,25/1; (b) 0,75/1.....	55
34. Difraktogram hasil XRD (a) nGO; (b) CaO; (c) S/CaO/nGO 0,25/1; (d) S/CaO/nGO 0,75/1	57
35. Spektra FTIR (a) nGO; (b) CaO; (c) S/CaO/nGO 0,25/1; (d) S/CaO/nGO 0,75/1	59
36. Spektrum absorbansi S/CaO/nGO (a) 0,25/1; (b) 0,75/1	60
37. Nilai energi <i>band gap</i> S/CaO/nGO 0,25/1	61
38. Nilai energi <i>band gap</i> S/CaO/nGO 0,75/1	61
39. Mikrograf SEM S/CaO/nGO 0,75/1	62
40. Posisi cakram dalam uji antibakteri	67
41. Hasil uji MIC dari nano grafena oksida terhadap <i>B. subtilis</i>	90
42. Hasil uji MIC dari CaO terhadap <i>B. subtilis</i>	90
43. Hasil uji MIC dari S/CaO 0,25/1 terhadap <i>B. subtilis</i>	90
44. Hasil uji MIC dari S/CaO 0,75/1 terhadap <i>B. subtilis</i>	90
45. Hasil uji MIC dari S/CaO/nGO 0,25/1 terhadap <i>B. subtilis</i>	90
46. Hasil uji MIC dari S/CaO/nGO 0,75/1 terhadap <i>B. subtilis</i>	91
47. Hasil uji MIC dari nano grafena oksida terhadap <i>E. coli</i>	92
48. Hasil uji MIC dari CaO terhadap <i>E. coli</i>	92
49. Hasil uji MIC dari S/CaO 0,25/1 terhadap <i>E. coli</i>	92

50. Hasil uji MIC dari S/CaO 0,25/1 terhadap <i>E. coli</i>	92
51. Hasil uji MIC dari S/CaO 0,75/1 terhadap <i>E. coli</i>	92
52. Hasil uji MIC dari S/CaO/nGO 0,75/1 terhadap <i>E. coli</i>	93
53. Uji terhadap <i>B. subtilis</i> tanpa antibakteri	94
54. Uji terhadap <i>B. subtilis</i> tanpa penyinaran	94
55. Uji terhadap <i>B. subtilis</i> dengan 15 menit penyinaran	95
56. Uji terhadap <i>B. subtilis</i> dengan 30 menit penyinaran	95
57. Uji terhadap <i>B. subtilis</i> dengan 45 menit penyinaran	95
58. Uji terhadap <i>B. subtilis</i> dengan 60 menit penyinaran	96
59. Uji terhadap <i>B. subtilis</i> tanpa penyinaran (II)	94
60. Uji terhadap <i>B. subtilis</i> dengan 15 menit penyinaran (II)	95
61. Uji terhadap <i>B. subtilis</i> dengan 30 menit penyinaran (II)	95
62. Uji terhadap <i>B. subtilis</i> dengan 45 menit penyinaran (II)	95
63. Uji terhadap <i>B. subtilis</i> dengan 60 menit penyinaran (II)	96
64. Uji terhadap <i>E. coli</i> tanpa antibakteri.....	98
65. Uji terhadap <i>E. coli</i> tanpa penyinaran	98
66. Uji terhadap <i>E. coli</i> dengan 15 menit penyinaran	98
67. Uji terhadap <i>E. coli</i> dengan 30 menit penyinaran	99
68. Uji terhadap <i>E. coli</i> dengan 45 menit penyinaran	99
69. Uji terhadap <i>E. coli</i> dengan 60 menit penyinaran	99
70. Uji terhadap <i>E. coli</i> tanpa penyinaran (II).....	100
71. Uji terhadap <i>E. coli</i> dengan 15 menit penyinaran (II).....	100
72. Uji terhadap <i>E. coli</i> dengan 30 menit penyinaran (II).....	100
73. Uji terhadap <i>E. coli</i> dengan 45 menit penyinaran (II).....	101
74. Uji terhadap <i>E. coli</i> dengan 60 menit penyinaran (II).....	101

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Timbulnya berbagai macam penyakit dapat disebabkan oleh sifat patogen pada beberapa mikroorganisme yang merugikan bagi manusia. Umumnya, penanganan terhadap berbagai macam penyakit ini dilakukan dengan pemberian obat antibiotik. Namun, pemberian obat antibiotik secara terus-menerus akan mengakibatkan mikroorganisme seperti bakteri menjadi resisten terhadap antibiotik. Kondisi bakteri yang resisten terhadap antibiotik ini dinamakan resistensi antibiotik, di mana pertumbuhan bakteri tidak terhambat walaupun telah diberi antibiotik pada waktu dan dosis yang normal. Dalam kata lain, resistensi antibiotik merupakan kemampuan bertahannya mikroorganisme dari efek antibiotik melalui mutasi atau transfer gen antar bakteri yang sama sehingga didapatkan gen resisten (Pratiwi, 2017).

Resistensi antibiotik masih menjadi masalah besar di seluruh dunia di mana kasus kesakitan yang disebabkan oleh resistensi antibiotik telah terjadi sebanyak 2.049.442 kasus dengan 23.000 di antaranya meninggal dunia (Zulkarni dkk., 2020). Seiring meluasnya kasus resistensi antibiotik, para peneliti terus berusaha mensintesis obat antibiotik atau antibakteri baru yang tidak dikenali oleh bakteri patogen resisten. Antibiotik dapat disintesis dari mikroorganisme dan bekerja untuk membasmi atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen. Contoh dari antibiotik adalah antibiotik Penisilin dari jamur *Penicillium* yang merupakan salah satu mikroorganisme jamur. Sementara itu, antibakteri disintesis dari ekstrak tumbuhan atau suatu material dan secara khusus bekerja pada bakteri untuk membunuh bakteri atau menghambat pertumbuhannya.

Antibakteri yang disintesis dari nano grafena oksida (nGO) dapat menjadi antibakteri baru yang tidak dikenali oleh bakteri resisten. Selama beberapa tahun, nano grafena oksida telah menjadi perhatian dikarenakan biaya sintesisnya yang terjangkau dan kemudahannya dalam sintesis. Selain itu, nano grafena juga memiliki stabilitas yang tinggi terhadap kondisi sekitar (Nasseri *et al.*, 2014). Sifat sitotoksik bagi sel bakteri dari grafena oksida disebabkan oleh sintesis ROS (*Reactive Oxygen Species*) dan immobilisasi langsung sel pada permukaan grafena oksida yang disebabkan oleh tingginya kapasitas adsorpsi grafena oksida dan nanokomposit grafena oksida (Wierzbicki *et al.*, 2019). Dalam penelitian ini, nano grafena oksida akan disintesis dari limbah bonggol jagung.

Limbah bonggol jagung dihasilkan dari produksi pangan pokok yang berasal dari tumbuhan jagung. Limbah bonggol jagung cukup melimpah, akan tetapi pemanfaatannya tidak optimal. Pada tahun 2016, terdapat sebesar 3.356.914 ha lahan pertanian yang memproduksi 11.225.243 ton pipilan jagung di Indonesia. Limbah bonggol jagung yang dihasilkan akan lebih besar jumlahnya apabila dicapai 3 sampai 4 ton per hektar pipilan jagung kering (Rifdah dkk., 2017). Limbah bonggol jagung selama ini hanya digunakan dalam pemanfaatannya sebagai pakan ternak. Namun, limbah bonggol jagung juga dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan karbon sebagai alternatif pemanfaatan limbah bonggol jagung itu sendiri.

Oleh karena kemudahannya dalam mengadsorpsi molekul lain dan luas permukaan spesifiknya yang besar, selain sebagai antibakteri, grafena oksida juga dapat menjadi *support* atau pendukung material lainnya yang memiliki aktivitas antibakteri. Salah satu material yang dapat didukung oleh grafena oksida sebagai antibakteri adalah kalsium. Pada penelitian sebelumnya (Roy *et al.*, 2013) telah disintesis nanopartikel CaO (CaO-NP) sebagai antimikroba terhadap *S. epidermis*, *C. tropicalis* serta *P. aeruginosa*. Hasilnya, CaO-NP yang disintesis memiliki aktivitas antimikroba terhadap ketiga organisme tersebut.

Limbah cangkang telur biasanya dimanfaatkan sebagai kerajinan tangan ataupun bahan pupuk organik. Namun, limbah tersebut juga dapat digunakan sebagai bahan sintesis CaO. CaO disintesis dari limbah cangkang telur yang dihasilkan oleh konsumsi telur. Telur yang biasa dikonsumsi oleh masyarakat bersumber dari ayam ataupun bebek. Konsumsi telur perkapita perminggu pada tahun 2017 adalah sebanyak 2,12 dan setiap minggunya meningkat menjadi 2,15 (Habiburrahman dkk., 2020). Konsumsi telur tersebut akan menghasilkan peningkatan terhadap jumlah limbah cangkang telur sehingga limbah cangkang telur mudah untuk didapatkan dalam kehidupan sehari-hari.

Selain CaO, sulfur (S) yang sejumlah besar dari beragam senyawa anorganik serta organik juga diketahui menunjukkan spektrum aktivitas biologis yang luas dan beragam, mulai dari aktivitas antioksidan sampai antimikroba, bahkan sifat antikanker (Shankar *et al.*, 2018). Sulfur dapat dijumpai dalam kehidupan sehari-hari sebagai salah satu bahan utama dalam produk sabun. Dalam suatu sintesis CaO yang didukung oleh nano grafena oksida (nGO), sulfur dapat menjadi salah satu unsur yang akan didoping pada CaO/nGO untuk menurunkan nilai energi *band gap* semikonduktor sehingga material yang dihasilkan memiliki aktivitas fotokatalitik di bawah pengaruh irradiasi sinar UV dan *visible*. Oleh karena itu, disintesis S/CaO/nGO sebagai antibakteri dengan memanfaatkan aktivitas fotokatalitiknya di bawah irradiasi sinar *visible*.

S/CaO/nGO yang telah disintesis akan dikarakterisasi dengan menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*, *Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS)* dan *Scanning Electron Microscopy (SEM)* untuk melihat morfologi permukaan sampel. Bakteri yang akan diuji adalah bakteri *Bacillus subtilis* sebagai perwakilan bakteri Gram positif dan *Escherichia coli* sebagai perwakilan bakteri Gram negatif. nGO disintesis dengan menggunakan metode Hummers. Setelah itu, CaO dari serbuk limbah cangkang telur ayam dikalsinasi dan hasilnya diberi penambahan sulfur. Variasi perbandingan S/CaO yang digunakan dalam sintesis S/CaO/nGO ini adalah sebesar 0,25/1 dan 0,75/1. Selanjutnya, masing-masing dari keduanya diimpreg ke

nGO dengan variasi perbandingan 0,25/1 dan 0,75/1. Hasilnya digunakan dalam uji antibakteri menggunakan uji kadar hambat minimum atau *Minimum Inhibitory Concentration* (MIC) dan metode difusi cakram.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memperoleh S/CaO/nGO berukuran nano melalui sintesis.
2. Menguji aktivitas antibakteri S/CaO/nGO terhadap bakteri *B. subtilis* sebagai bakteri Gram positif.
3. Menguji aktivitas antibakteri S/CaO/nGO terhadap bakteri *E. coli* sebagai bakteri Gram negatif.
4. Melihat pengaruh penyinaran sinar *visible* terhadap S/CaO/nGO sebagai antibakteri.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini yakni sebagai berikut.

1. Mengetahui aktivitas antibakteri S/CaO/nGO terhadap bakteri *B. subtilis* sebagai bakteri Gram positif.
2. Mengetahui aktivitas antibakteri S/CaO/nGO terhadap bakteri *E. coli* sebagai bakteri Gram negatif.
3. Mengetahui pengaruh penyinaran sinar *visible* terhadap S/CaO/nGO sebagai antibakteri.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bonggol Jagung

Bonggol jagung merupakan bagian dalam organ betina di mana bulir menempel, atau disebut juga seluruh bagian jagung betina (buah jagung). Pada bonggol terdapat kelobot (kulit buah jagung) yang membungkus bonggol. Bonggol jagung muda (*babycorn*) dapat dikonsumsi. Sementara itu, bonggol jagung tua yang ringan akan tetapi kuat dapat menjadi sumber furfural atau sejenis monosakarida yang terdiri dari lima atom karbon (Nurlia dkk., 2020). Bonggol jagung mengandung 46,80% karbon, 0,9% nitrogen, 6,0% hidrogen dan 46,30% oksigen (Tsai *et al.*, 2001).



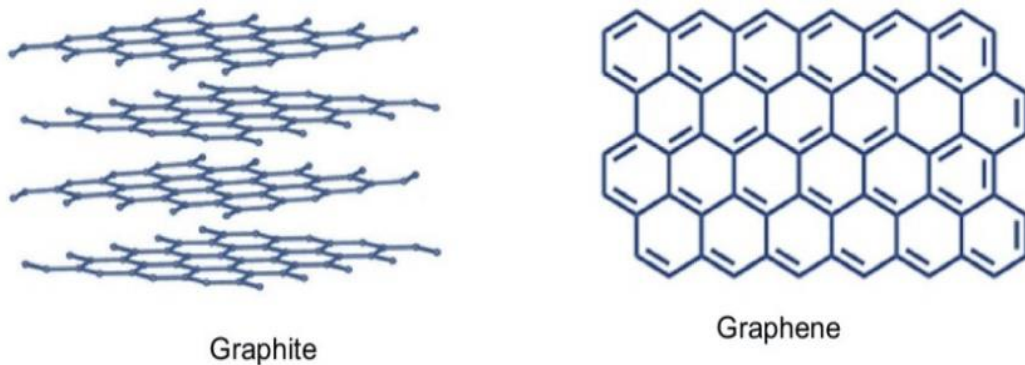
Gambar 1. Bonggol jagung

Bonggol jagung dapat dibuat menjadi karbon melalui proses karbonisasi. Biasanya, dalam proses ini bonggol jagung dipotong kecil-kecil dan dikarbonisasi (dipanggang dengan suhu tinggi) (Komariah dkk., 2013). Karbonisasi dapat dilakukan dengan menggunakan *furnace* dan dari proses tersebut dapat dihasilkan karbon bonggol jagung. Dalam hal ini, karbon bonggol jagung juga dapat diproses lebih lanjut menjadi grafena oksida.

2.2 Grafena Oksida

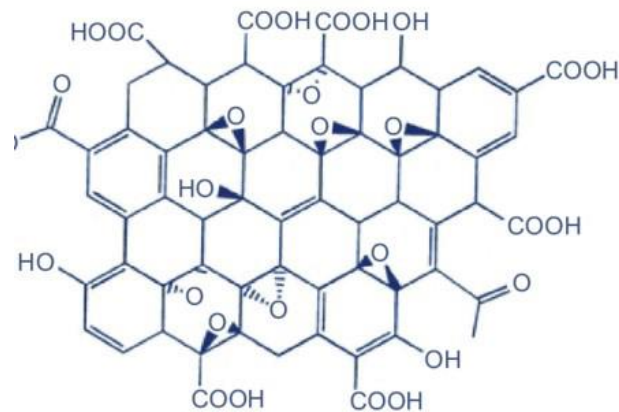
Karbon (nomor atom 6, massa atom 12,010) memiliki keistimewaan yang membedakannya dengan seluruh elemen lainnya. Salah satu keistimewaannya adalah tidak hanya dapat membentuk beberapa jenis ikatan dengan dirinya sendiri, tetapi juga dengan elemen-elemen lain seperti oksigen, nitrogen, sulfur dan hidrogen. Karbon dapat berikatan dengan dirinya sendiri dalam ikatan tunggal, ikatan rangkap dua atau rangkap tiga. Karbon juga dapat membentuk berbagai variasi rantai, cincin serta bentuk tiga dimensi yang saling berhubungan (Mukhopadhyay *and* Gupta, 2013). Karbon memiliki dua alotrop dengan bentuk kristalin, yakni grafit dan intan.

Struktur grafit tersusun dalam bentuk lembaran planar yang bertumpuk atau disebut juga sebagai lapisan grafena (Mukhopadhyay *and* Gupta, 2013). Material grafit bersifat lembut karena interaksi yang lemah di antara lembaran-lembarannya (Skakalova *and* Kaiser, 2021). Grafit dan grafena memiliki perbedaan dalam strukturnya seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafit dan grafena (Bai *et al.*, 2019)

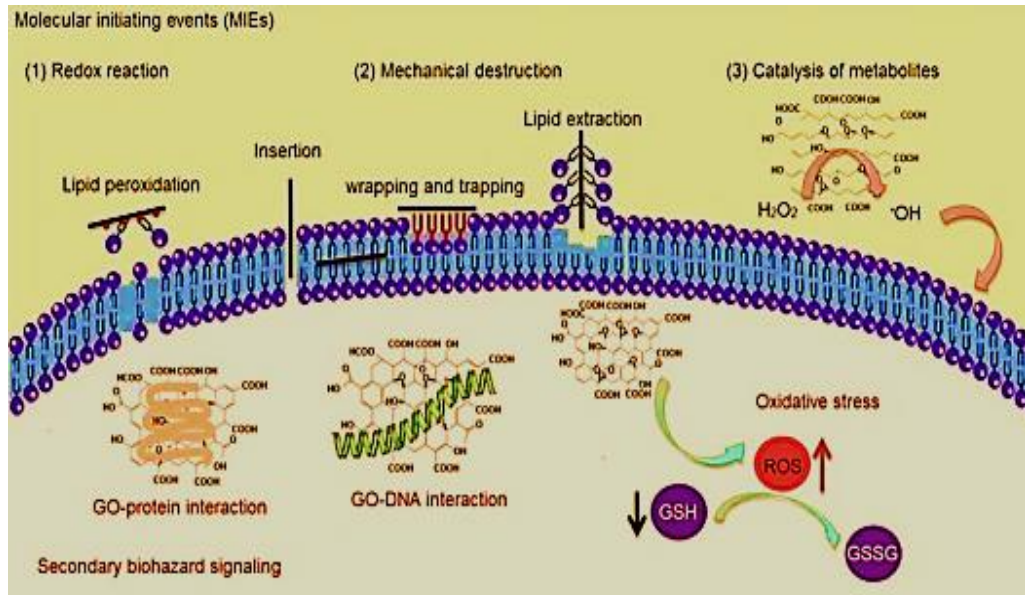
Sementara itu, grafena oksida adalah turunan dari grafena yang mengandung sejumlah gugus fungsional seperti gugus epoksi, gugus asam karboksilat serta hidroksil pada bagian tepi dan basalnya (Gao, 2015). Struktur grafena oksida dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafena oksida (Bai *et al.*, 2019)

Grafena oksida merupakan antibakteri yang paling efektif jika dibandingkan dengan turunan grafena lainnya. Hal ini ditunjukkan oleh penelitian Liu *et al* (2011) di mana kemampuan keempat turunan grafena seperti grafit (Gt), grafena oksida tereduksi (rGO), grafit oksida (GtO) dan grafena oksida (GO) sebagai antibakteri terhadap bakteri *E. coli* dibandingkan satu sama lain. Hasilnya, setelah diuji pada konsentrasi, waktu inkubasi serta kondisi yang sama, grafena oksida memiliki aktivitas antibakteri yang lebih besar dibanding ketiga turunan grafena lainnya (Liu *et al.*, 2011).

Mekanisme perusakan bakteri oleh GO menurut Zheng *et al* (2018) terdiri dari tiga mekanisme, yakni (1) mekanisme reaksi redoks, (2) mekanisme perusakan mekanis dan (3) mekanisme katalisis metabolisme ekstraseluler. Pada mekanisme reaksi redoks, GO melakukan interaksi dengan membran bakteri melalui karbon radikal pada permukaannya yang menginduksi peroksidasi lipid. Sementara itu, pada perusakan mekanis, GO menginduksi dan menyebabkan cedera mekanik atau fisik melalui interaksinya dengan membran sel bakteri. Pemotong, pisau atau disebut juga *nanoknives* pada ujung-ujung GO yang tajam dapat menyebabkan kerusakan pada membran sel dalam mode penetrasi atau ketika GO secara spontan menembus ke dalam membran sel. Terakhir, pada mekanisme katalisis metabolisme ekstraseluler, terjadi katalisis dekomposisi H_2O_2 oleh *graphene quantum dots* (GQDs) untuk menghasilkan OH yang menyebabkan kematian bakteri.



Gambar 4. Mekanisme perusakan bakteri oleh GO (Zheng *et al.*, 2018)

Pada Gambar 4, ditunjukkan tiga mekanisme perusakan bakteri tersebut. Permukaan GO pada mekanisme reaksi redoks juga dapat mengganggu reaksi redoks pada bakteri melalui interaksinya dengan biomolekul selain lipid seperti protein (interaksi GO-protein) dan DNA (interaksi GO-DNA). Interaksi fisik pada mekanisme perusakan mekanis termasuk menembus membran, adhesi permukaan, pembungkusan dan ekstraksi lipid. Ekstraksi lipid oleh *nanosheet* grafena dapat mengakibatkan kerusakan membran sehingga berdampak kematian pada sel. Walaupun terdapat mekanisme antibakteri yang berbeda pada grafena oksida, ketiga mekanisme tersebut sama-sama memicu jalur persinyalan toksisitas seperti generasi ROS (*Reactive Oxygen Species*), penipisan GSH (*glutathione*) dan kerusakan protein serta DNA yang berujung pada kematian bakteri (Zheng *et al.*, 2018).

Sementara itu, mekanisme kerja antibakteri seperti GO menurut Volk and Wheeler (1990) yang dikutip oleh Mawaddah dkk (2018) diawali dengan rusaknya dinding sel bakteri, di mana dinding sel bakteri tersusun oleh peptidoglikan. Protein yang terdapat pada dinding sel bakteri memiliki keterkaitan dengan kerusakan dinding sel bakteri oleh antibakteri, yakni antibakteri dapat menyebabkan denaturasi protein yang menyebabkan perubahan struktur protein.

Perubahan struktur ini disebabkan oleh ikatan hidrogen intermolekul yang lemah pada protein sehingga mudah lepas dan berikatan dengan senyawa lainnya (Siswandono dan Soekardjo, 1995; Mawaddah dkk., 2018). Dalam hal ini, atom H pada protein berikatan dengan atom O pada antibakteri. Kerusakan pada dinding sel dapat menurunkan permeabilitas membran sel sehingga memengaruhi lalu lintas ion-ion penting, enzim-enzim serta asam amino yang dapat mengganggu metabolisme sel. Keluarnya enzim-enzim dari dalam sel akan mengganggu proses pembentukan ATP sehingga proses pertumbuhan bakteri terhambat.

2.3 Nano Grafena Oksida (nGO)

Nanomaterial merupakan material berukuran nano (1-100 nm) yang memiliki aplikasi dalam berbagai bidang. Salah satunya adalah aplikasinya dalam bidang biomedis. Nano grafena oksida (nGO) merupakan kelas baru dari material berbasis karbon yang diusulkan dalam aplikasi biomedis karena ukurannya yang kecil, sifat optik intrinsik, luas permukaan spesifik yang besar, dan mudah untuk difungsikan (Goncalves *et al.*, 2014). Dalam aplikasi biomedis, nano grafena oksida dapat digunakan dalam sistem penghantaran obat ataupun pencitraan sel. Selain itu, nano grafena oksida juga dapat diaplikasikan sebagai antibakteri.

Dalam grafena oksida berskala nano, dapat dihasilkan sifat-sifat baru dan peningkatan massal dari sifat-sifat yang sudah dimiliki. Seperti pada grafena, atom-atom karbon pembentuk struktur dua dimensi dengan lebar sisinya yang berada di bawah 100 nm dan ketebalan atomik menghasilkan reaktivitas kimia yang lebih tinggi dan luas permukaan spesifik yang lebih luas. Morfologi tersebut sangat berguna dalam interaksi dengan sistem biologis (Yue *et al.*, 2012; Goncalves *et al.*, 2014). Sjahriza dan Herlambang (2021) berhasil mensintesis grafena oksida berukuran partikel dominan 33,79 nm melalui metode Hummers, menandakan grafena oksida yang dihasilkan adalah nanopartikel.

2.4 Cangkang Telur

Cangkang telur merupakan bagian telur yang mengandung kalsit, yakni bentuk kristalin dari kalsium karbonat (CaCO_3). Limbah cangkang telur tidak dapat didegradasi oleh mikroba tanah sehingga dapat mencemari lingkungan. Oleh karena itu, limbah cangkang telur dimanfaatkan sebagai bahan kerajinan tangan oleh masyarakat. Namun, pemanfaatan tersebut belum mencapai tingginya nilai ekonomis dari limbah cangkang telur itu sendiri. Selain dimanfaatkan sebagai kerajinan tangan, limbah cangkang telur juga dimanfaatkan sebagai pakan ternak (Evanuarini dkk., 2021).



Gambar 5. Cangkang telur

Dalam cangkang telur terkandung sebesar 94% CaCO_3 , 1% MgCO_3 , 1% $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ dan 4% sisanya dari bahan organik. CaCO_3 dari cangkang telur yang dikalsinasi dapat membentuk senyawa CaO . Senyawa CaO ini dapat digunakan sebagai bahan katalis (Haryono dkk., 2018).

2.5 Kalsium Oksida (CaO)

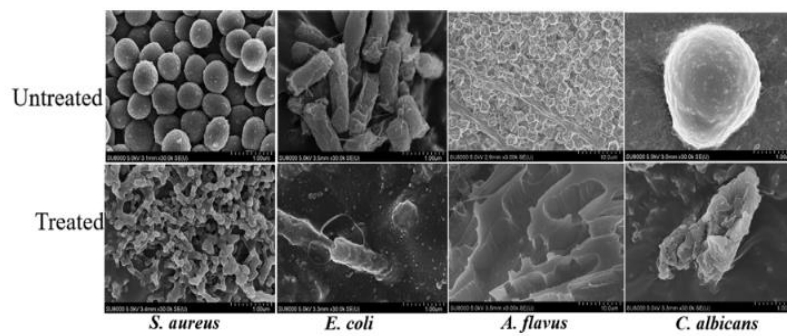
Kalsium merupakan elemen umum yang terdapat dalam kerak bumi sebagai silikat, yang mana dapat memberikan ion Ca^{2+} bebas. Mineral-mineral dari kalsium antara lain adalah gipsum dan $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ yang mengendap dari penguapan pedalaman danau dan laut, serta CaCO_3 . CaCO_3 tersebut terbentuk sebagai sedimen kerang atau karang dan melalui pengendapan langsung kalsium karbonat dari air laut (Ebbing and Gammon, 2017). CaCO_3 yang dikalsinasi menjadi CaO dapat dimanfaatkan dalam berbagai macam sintesis material. CaO murni tanpa pengotor memiliki warna putih.

Dalam bidang biomedis, CaO digunakan sebagai antibakteri terhadap bakteri *E. coli*, *S. typhimurium*, *S. aureus* dan *B. subtilis* (Yamamoto *et al.*, 2010; Dizaj *et al.*, 2014). Mekanisme antibakteri CaO-NPs terjadi karena superoksida yang terbentuk pada permukaan partikel-partikel CaO serta nilai pH yang meningkat karena hidrasi CaO dengan air (Dizaj *et al.*, 2014). CaO adalah senyawa logam oksida dengan luas permukaan besar dalam skala nano. Besarnya luas permukaan dapat meningkatkan permeabilitas senyawa partikel nano yang berukuran kecil ini. Senyawa logam berskala nano juga dapat mengakibatkan dinding sel mikroba mengalami denaturasi. Denaturasi tersebut menyebabkan sel mikroba rusak dan mati (Sharmila *et al.*, 2018).

2.6 Sulfur (S)

Sulfur (S) atau disebut juga dengan nama belerang merupakan unsur nonlogam dalam periode 3 golongan VIA yang memiliki banyak valensi (S^{2-} sampai S^{6+}) dengan sifatnya yang tidak berbau dan berasa. Sulfur berperan dalam berbagai proses biokimia dan geokimia karena multivalensinya (Mandeville, 2010). Dalam kesehatan, sulfur dapat bersumber dari protein yang terkandung dalam makanan dan berperan dalam reaksi oksidasi-reduksi, bagian dari hormon insulin, tiamin dan biotin serta membantu dalam detoksifikasi (Arianto *et al.*, 2022). Selain itu, sulfur juga telah lama digunakan sebagai sediaan untuk kulit atau sediaan topikal, juga digunakan pada terapi penyakit kulit seperti rosasea, dermatitis, skabies dan jerawat (Adlia *et al.*, 2019).

Sulfur diketahui memiliki aktivitas antibakteri. Penelitian yang dilakukan oleh Saedi *et al* (2020) telah mensintesis nanopartikel sulfur orthorombik berbentuk batang (α -SNP). Nanopartikel ini disintesis menggunakan unsur belerang dan natrium sulfida untuk produksi nanopartikel sulfur skala besar (SNP_{ES}). Hasil FE-SEM mikroorganisme setelah diberi perlakuan SNP_{ES} dapat ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil FE-SEM berbagai mikroorganisme setelah diberi perlakuan nanopartikel sulfur (SNP_{ES}) (Saedi *et al.*, 2020).

2.7 Metode

2.7.1 Metode *Catalytic Graphitization*

Metode *Catalytic Graphitization* merupakan metode sintesis grafit di mana kristalinitas karbon ditingkatkan hingga terbentuk material grafit. Metode ini melibatkan reaksi kimia antara karbon dan logam transisi yang digunakan sebagai katalis dalam proses grafitisasi. Metode ini memiliki beberapa kelebihan yakni dari segi prosesnya yang mudah, biaya yang dibutuhkan lebih ekonomis dan mampu dilakukan pada suhu *moderate* atau relatif rendah. Oleh karena itu, metode *catalytic graphitization* ini dapat diterapkan untuk sintesis skala besar (Thambiliyagodage *et al.*, 2018). Seperti namanya, metode ini memanfaatkan peran katalis dalam proses grafitisasi yang menghasilkan grafit sintesis.

Katalis yang digunakan dalam sintesis grafit dengan metode ini adalah logam transisi. Salah satu logam transisi yang digunakan adalah Fe. Fe yang biasa disebut besi ini dapat berasal dari $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang berwarna kuning kemerahan. Prekursor yang digunakan dalam metode ini adalah karbon, contohnya dalam penelitian ini adalah karbon yang dihasilkan dari proses karbonisasi bonggol jagung.



Gambar 7. $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

2.7.2 Metode Hummers

Metode Hummers merupakan metode yang umum digunakan dalam oksidasi grafit karena efektivitas kekuatan oksidasinya menjadi grafena oksida. Metode Hummers dilakukan dengan mereaksikan kalsium permanganat (KMnO_4) dan NaNO_3 dalam larutan asam sulfat (Syakir dkk., 2015). Reaksi tersebut menghasilkan oksidator kuat berupa ion permanganat yang mengoksidasi grafit. Oksidasi ini menyebabkan kekuatan ikatan *Van der Waals* antar lapisan grafena pada grafit menurun sehingga dapat memudahkan proses pengelupasan oksida grafena (Sjahriza dan Herlambang, 2021). Proses oksidasi dihentikan oleh penambahan H_2O_2 (Suwandana dan Susanti, 2015).

Setelah penambahan H_2O_2 , campuran disentrifugasi dan dicuci dengan HCl serta akuades secara berulang untuk menetralkan pH dan mengurangi sisa ion SO_4^{2-} . Untuk memastikan kandungan SO_4^{2-} di dalam campuran, dilakukan uji BaCl_2 dengan menambahkan BaCl_2 ke dalam sampel dan uji berhasil apabila tidak terdapat endapan putih BaSO_4 (Suwandana dan Susanti, 2015). Kelebihan dari metode Hummers adalah tidak mengeluarkan gas berbahaya seperti ClO_2 , proses berlangsung lebih cepat dengan suhu lebih rendah, bahan-bahan yang digunakan lebih mudah didapat dan produk akhirnya memiliki tingkat oksidasi yang lebih tinggi dibanding dengan metode lainnya (Syakir dkk., 2015).

2.7.3 Metode Sonikasi

Metode sonikasi adalah metode yang digunakan untuk mendispersikan partikel dan memotong ukurannya menjadi nano pada media cair. Pada metode ini terjadi kavitasi. Kavitasi yakni munculnya gelembung-gelembung dalam aliran fluida yang disebabkan oleh menurunnya tekanan pada fluida hingga berada di bawah tekanan uap jenuhnya (Wijianto dan Effendy, 2010). Inti gelembung ini lalu tumbuh dengan cepat melalui difusi dan koalesensi. Setelah mencapai ukuran kritis, gelembung-gelembung tersebut jatuh dan menciptakan medan aliran hidrodinamik yang kuat pada cairan sekitarnya. Kavitasi ini dapat menjelaskan efisiensi dari sonikasi dalam mengganggu agregat nanopartikel dan bahkan pada pengelupasan (*exfoliation*) atau pemotongan nanomaterial. Sonikasi dapat mengurangi ukuran grafena oksida (GO) dari 1.573 μm menjadi 400 nm setelah 4 menit sonikasi, lalu sonikasi yang berlanjut akan mengurangi ukurannya menjadi 170 nm (Aliofkhazraei *et al.*, 2016).

Metode sonikasi dilakukan dengan menggunakan alat yang dinamakan *ultrasonic washer* atau *ultrasonic cleaner*. Sonikasi merupakan metode yang memanfaatkan gelombang ultrasonik. Kelebihan metode ini yakni prosesnya yang mudah dan cepat. Selain itu, metode ini juga tidak memerlukan banyak penambahan bahan kimia. Metode ini pun juga tidak menyebabkan perubahan signifikan pada struktur kimia dari partikel serta senyawa bahan baku yang digunakan (Arifin, 2012).

2.7.4 Metode Impregnasi

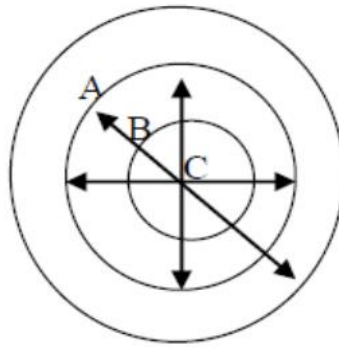
Metode impregnasi secara luas didefinisikan sebagai suatu proses penjenuhan secara total zat tertentu. Prinsip metode ini adalah memasukkan secara paksa katalis logam ke dalam rongga-rongga *support*, dilakukan dengan merendam *support* ke dalam prekursor logam aktif. Proses ini akan membuat pori-pori *support* terisi dengan larutan logam aktif melalui adsorpsi logam. Dalam hal ini, fungsi *support* adalah penyedia permukaan yang luas agar lebih mudah untuk menyebarkan situs aktif. Metode impregnasi digunakan apabila tidak terdapat

anion atau kation pada *support* yang dapat bertukar dengan fasa aktif logam (Munnik *et al.*, 2015).

Metode ini umum digunakan dalam sintesis katalis heterogen. Kelebihannya antara lain adalah lebih praktis, biayanya lebih murah dan tingkat keberhasilan lebih besar dengan sedikit limbah (Munnik *et al.*, 2015). Metode impregnasi dibedakan menjadi metode impregnasi langsung (*co-impregnation*) dan impregnasi bertahap (*sequential*). Impregnasi langsung dilakukan dengan dimasukkannya prekursor atau larutan komponen aktif secara bersama-sama dalam pori dan sampel. Sementara itu, impregnasi bertahap dilakukan dengan dimasukkannya prekursor atau larutan komponen aktif secara terpisah (Lestari dkk., 2006). Selain itu, metode impregnasi juga terdiri dari metode impregnasi kering dan metode impregnasi basah. Metode impregnasi kering dilakukan dengan menyebarkan partikel atom logam melalui penyemprotan kering (*spray dryer*) ataupun pencampuran langsung material logam dengan pengemban/*support* secara mekanik (*blending*) melalui pengadukan dalam fase padat-padat (Trisunaryanti, 2018). Sementara itu, metode impregnasi basah dilakukan dengan prinsip difusi untuk dimasukkannya bahan seperti surfaktan atau logam aktif ke dalam pori sampel (Regalbuto, 2007).

2.7.5 Metode Difusi

Metode difusi agar adalah salah satu metode yang digunakan dalam uji antibakteri. Jenis metode difusi agar yang umum dilakukan adalah metode difusi cakram dan sumuran. Metode difusi memiliki prinsip kerja di mana prinsipnya adalah senyawa antibakteri yang terdifusi ke dalam media padat di mana telah diinokulasikan mikroba uji. Metode difusi cakram menghasilkan ada atau tidaknya daerah bening yang terbentuk di sekeliling kertas cakram yang menunjukkan zona hambat pertumbuhan bakteri (Nurhayati dkk., 2020). Metode difusi dengan cara ini menggunakan kertas cakram yang direndam dalam antibakteri, lalu diletakkan pada cawan berisi bakteri.



Gambar 8. Pengamatan zona bening; A : cawan petri; B : zona hambat; C : kertas cakram; $\leftarrow \rightarrow$: pengukuran zona hambat (Nurhayati dkk., 2020)

Sementara itu, metode sumuran dilakukan dengan membuat lubang pada agar padat yang telah diinokulasikan mikroba uji secara tegak lurus. Lalu, lubang yang telah dibuat diisi dengan sampel uji. Setelah diinkubasi, dilihat ada atau tidaknya daerah hambatan di sekeliling lubang untuk mengamati pertumbuhan bakteri (Pelczar *and* Chan, 2006; Nurhayati dkk., 2020). Metode sumuran ini memiliki kelebihan yakni lebih mudah untuk diukur luas zona hambat yang dihasilkan karena bakteri juga beraktivitas sampai ke dalam permukaan nutrisi. Namun, di sisi lain, terdapat kesulitan dalam pembuatan sumuran seperti adanya sisa-sisa agar yang digunakan untuk membuat sumuran, juga terhambatnya proses peresapan antibiotik ke media yang disebabkan oleh besarnya kemungkinan media agar retak atau pecah di sekitar lokasi sumuran. Hal ini akan memengaruhi diameter zona bening yang dihasilkan (Nurhayati dkk., 2020).

2.8 Instrumentasi

2.8.1 X-Ray Diffraction (XRD)

Analisis XRD menggunakan prinsip radiasi sinar-X dan difraksi yang ditimbulkannya, di mana sinar-X tersebut adalah bentuk dari radiasi elektromagnetik berenergi tinggi dan panjang gelombang pendek sesuai dengan jarak antar atom pada padatan. Difraksi terjadi saat gelombang bertemu dengan serangkaian hambatan yang dapat menghamburkan gelombang serta memiliki jarak yang sebanding dengan nilai panjang gelombang. Saat sebuah padatan disinari oleh sinar-X, sinar-X tersebar ke segala arah serta terdifraksi atau

terhambur oleh elektron yang mengelilingi inti atom (Callister *and* Rethwisch, 2010).

Difraksi sinar-X terjadi apabila sinar-X mengenai atom kristal. Apabila sinar-X mengenai kristal, maka bidang kisi pada kristal dianggap sebagai cermin. Sementara itu, kristal itu sendiri dianggap sebagai kisi pemantul (Snyder, 1999; Anggita dan Setiawan, 2021). Pola difraksi sinar-X dirumuskan dengan Hukum Bragg dalam Persamaan (2.1).

$$n\lambda = 2d \sin \theta \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

n : orde difraksi

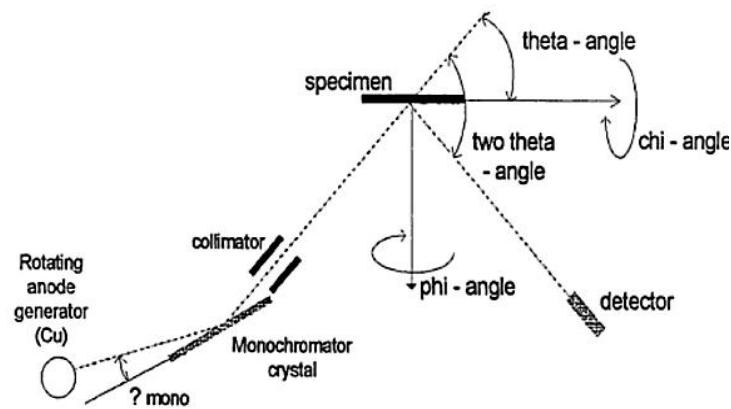
d : jarak antar kisi

θ : sudut difraksi

λ : panjang gelombang sinar-X

(Snyder, 1999; Anggita dan Setiawan, 2021).

Sementara itu, analisis menggunakan XRD dapat menentukan apakah sampel yang dianalisis merupakan kristal atau amorf.

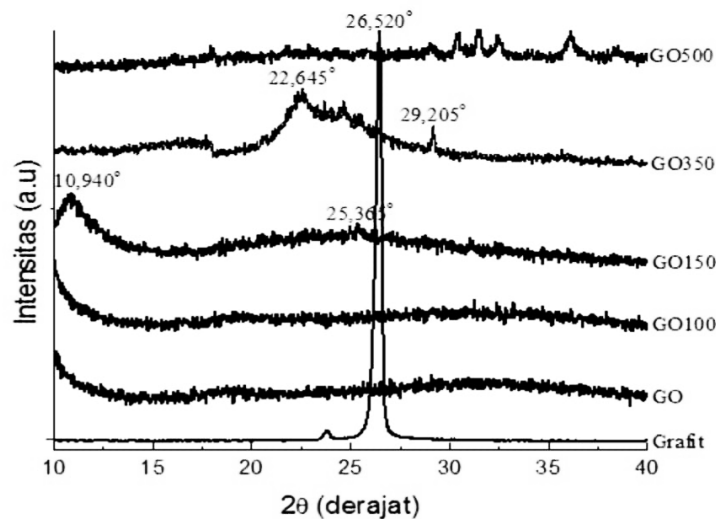


Gambar 9. Skema XRD (Snyder, 1999)

Alat XRD terdiri dari generator sinar-X dengan anoda tembaga (Cu), sebuah monokromator kristal, tempat spesimen, juga detektor. Cara kerjanya yakni

generator anoda diputar agar menghasilkan sinar-X. Lalu, sinar-X didispersikan oleh monokromator kristal. Monokromator ini berfungsi untuk mengatur sudut sinar-X dengan garis $\text{CuK}\alpha$ agar dilewatkan oleh kolimator dan sinar-X $\text{CuK}\alpha$ dapat mengenai spesimen. Setelah spesimen dikenai sinar-X, terjadi difraksi sinar-X yang ditangkap oleh detektor dengan sudut 2θ (Anggita dan Setiawan, 2021).

Contoh dari analisis XRD adalah analisis XRD dari grafena oksida yang dilakukan oleh Syakir dkk (2015). Pada penelitian tersebut diperlihatkan difraktogram dari grafit dan grafena oksida yang diberi perlakuan pemanasan dengan variasi suhu. Difraktogram tersebut dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Difraktogram XRD sampel GO dibandingkan dengan grafit dan sampel GO yang diberi perlakuan pemanasan dari uji XRD yang dilakukan oleh Syakir dkk (2015).

Berdasarkan Gambar 10, terlihat puncak mengalami pergeseran seiring pemanasan yang dilakukan. Grafit menunjukkan puncak difraksi pada $2\theta = 26,5^\circ$ dan setelah dioksidasi puncak tersebut menghilang. Grafena oksida menunjukkan puncak difraksi di dekat 10° yang diperkuat oleh sampel yang diberi perlakuan pemanasan. Ketika sampel dipanaskan 100°C , bentuk difraktogramnya sama dengan sampel tanpa pemanasan. Setelah dipanaskan dengan suhu yang lebih tinggi, terjadi pergeseran puncak ke arah puncak difraksi grafit hingga pada suhu

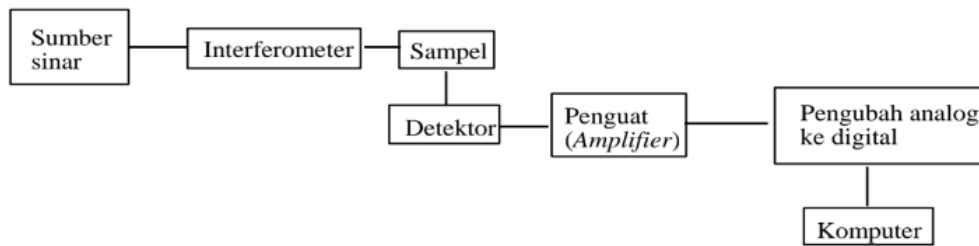
500° struktur sampel tidak bisa diidentifikasi. Kemungkinan hal ini berkaitan dengan kondisi degradasi dari sampel grafena oksida (Syakir dkk., 2015).

2.8.2 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) adalah spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi Fourier untuk mendeteksi serta menganalisis hasil spektrumnya, dengan intinya yakni interferometer Michelson yang digunakan untuk menganalisis frekuensi dalam sinyal gabungan (Anam dkk., 2007). Prinsip dari FTIR adalah interaksi senyawa kimia dengan radiasi elektromagnetik yang menghasilkan vibrasi/getaran dari gugus fungsional senyawa kimia atau sebuah ikatan kimia poliatomik. Kelebihan dari spektroskopi ini adalah cepat dalam menganalisis, tidak merusak dan hanya dibutuhkan preparasi sampel secara sederhana (Moros *et al.*, 2010).

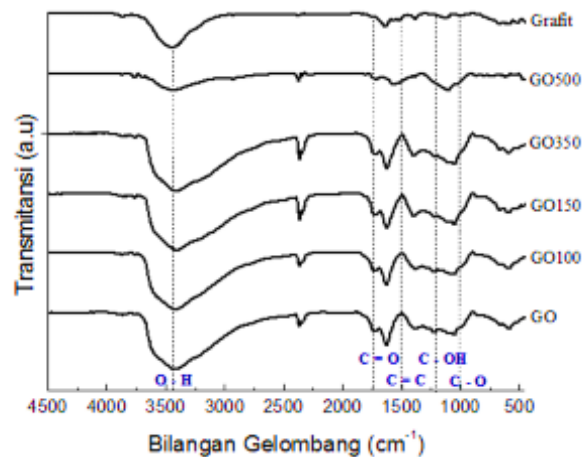
Daerah spektrum yang dihasilkan dari FTIR dibagi menjadi dua, yakni daerah frekuensi gugus fungsional dan daerah sidik jari (*fingerprint*). Daerah frekuensi gugus fungsional adalah daerah yang terletak pada rentang frekuensi 4000-1400 cm^{-1} . Sebagian besar puncak absorpsi pada daerah ini mudah dikenal dan berasal dari gugus fungsional yang khas. Sementara itu, daerah sidik jari (*fingerprint*) terletak pada 1400-400 cm^{-1} . Pita-pita absorpsi pada daerah ini memiliki keterkaitan dengan vibrasi molekul secara keseluruhan dan setiap atom pada molekul akan saling memengaruhi sehingga dihasilkan pita-pita absorpsi yang khas (Mudasir dan Candra, 2008).

Pada Gambar 11 ditunjukkan secara skematis komponen dasar dari spektrofotometer FTIR. Radiasi dari sumber sinar dilewatkan ke sampel melalui interferometer sebelum mencapai detektor. Lalu, selama penguatan sinyal di mana kontribusi-kontribusi frekuensi tinggi telah dihilangkan melalui filter, terdapat perubahan bentuk data dari analog ke digital dan dipindahkan ke komputer untuk menjalani transformasi Fourier (Rohman, 2021).



Gambar 11. Komponen utama yang digunakan dalam spektrofotometer FTIR (Rohman, 2021).

Contoh dari analisis FTIR adalah analisis FTIR dari grafena oksida (GO), GO yang dipanaskan pada berbagai suhu yaitu 100°C, 150°C, 350°C dan 500°C masing-masing selama 3 jam serta grafit. Hasil spektrum FTIR dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Spektrum FTIR sampel GO dibandingkan dengan grafit dan sampel GO yang diberi perlakuan pemanasan dari uji FTIR yang dilakukan oleh Syakir dkk (2015)

Gugus-gugus fungsi oksigen pada produk GO muncul pada puncak-puncak transmitansi sekitar bilangan gelombang 3400 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi ikatan O-H, menandakan adanya molekul air dan gugus hidroksil pada GO hasil sintesis. Vibrasi pada sekitar bilangan gelombang 1700 cm^{-1} berkaitan dengan ikatan C=O yang berkaitan dengan gugus karboksil pada tepi lapisan GO.

Lalu, vibrasi pada bilangan gelombang 1200 cm^{-1} dan 1050 cm^{-1} berkaitan dengan kehadiran ikatan C-OH dan C-O. Setelah diberi perlakuan panas 100°C dan 150°C , GO masih memiliki struktur yang mirip dan hampir tidak ada perubahan struktur yang signifikan. Namun, setelah suhu pemanasan ditingkatkan hingga 350°C , ikatan C-OH menghilang dan ketika pemanasan ditingkatkan hingga 500°C muncul ikatan C=C yang menandakan bahwa ikatan oksigennya terlepas dan karbon kembali membentuk ikatan rangkap karbon dengan struktur aromatiknya (Syakir dkk., 2015).

2.8.3 Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS)

Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS) merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui *band gap energy* atau energi celah pita dari suatu material. Hasil pengukuran suatu panjang gelombang serapan menentukan besar energi celah pita, di mana hubungan antara panjang gelombang dengan energi celah pita ditunjukkan pada Persamaan (2.2).

$$E = h * C / \lambda \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

E = Energi celah pita ($1\text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19}\text{ joule}$)

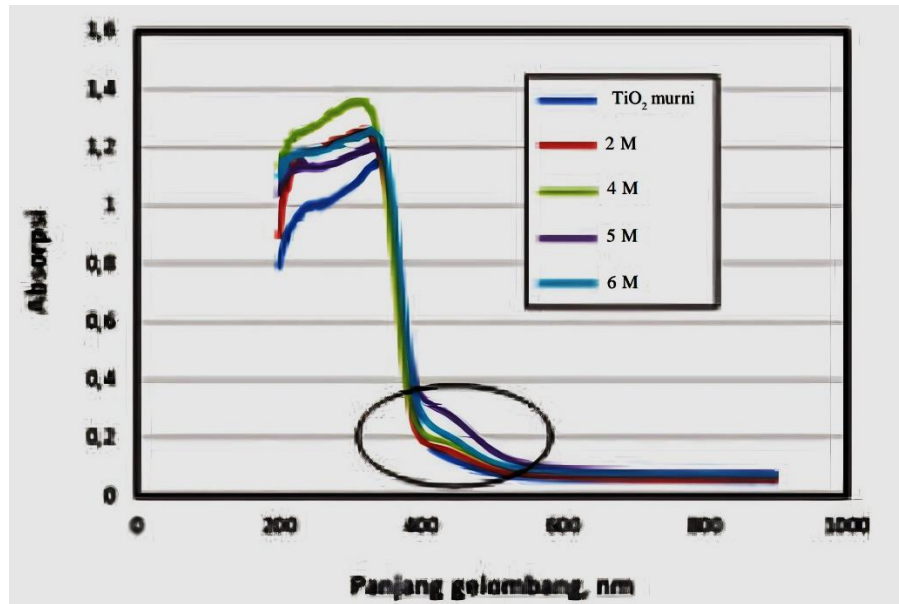
h = Konstanta Planck ($6,626 \times 10^{-34}\text{ joule detik}$)

C = Kecepatan cahaya ($3,0 \times 10^8\text{ meter/detik}$)

λ = Panjang gelombang pada titik belokan kurva serapan

(Wardiyati dkk., 2015).

Contoh dari analisis DRS adalah pada analisis DRS yang ditunjukkan oleh spektra UV-DRS seperti pada Gambar 13.



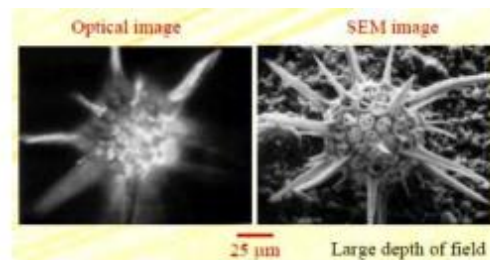
Gambar 13. Serapan TiO_2 pada berbagai konsentrasi $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ hasil pengukuran *UV-Vis Diffuse Reflectance Spectra* (Wardiyati dkk., 2015).

Berdasarkan Gambar 13 pada penelitian yang dilakukan oleh Wardiyati dkk (2015), terlihat bahwa dengan bertambahnya konsentrasi garam $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ terjadi pergeseran serapan ke arah panjang gelombang lebih tinggi. Pergeseran dari serapan berpengaruh terhadap besarnya nilai energi *band gap*. Semakin lebar daerah serapan maka nilai energi *band gap* semakin kecil, sesuai dengan hubungan antara lebar daerah serapan dengan energi *band gap* dalam Persamaan (2.2). Nilai energi celah pita terkecil dicapai pada konsentrasi garam $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ yaitu 2,4375 eV dari serapan pada panjang gelombang 510 nm (Wardiyati dkk., 2015).

2.8.4 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan salah satu jenis mikroskop elektron yang menggambar spesimen melalui suatu pemindaian. Pemindaian spesimen ini dilakukan menggunakan sinar elektron berenergi tinggi dalam *scan* pola raster. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya yakni

bisa sampai 0,1-0,2 nm, sementara itu cahaya hanya mampu mencapai 200 nm. Sinyal informasi yang dihasilkan spesimen disebabkan oleh interaksi antara elektron dengan atom-atom. Informasi tersebut berupa topografi permukaan spesimen, komposisi dan karakteristik lain seperti konduktivitas listrik (Wijayanto dan Bayuseno, 2014). Berikut ini perbandingan hasil gambar mikroskop cahaya dengan elektron yang ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Hasil mikroskop cahaya dan elektron (Wijayanto dan Bayuseno, 2014)

Peralatan utama yang terdapat pada mikroskop elektron SEM antara lain adalah pistol elektron, lensa untuk elektron dan sistem vakum. Prinsip kerja SEM yakni yang pertama, pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda. Kedua, lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel. Ketiga, sinar elektron memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan koil pemindai. Terakhir, sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT) (Wijayanto dan Bayuseno, 2014).

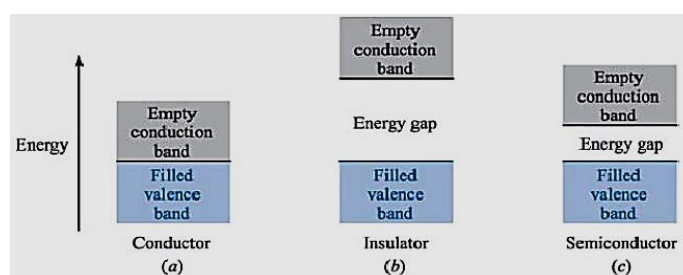
2.9 Fotokatalis

Fotokimia adalah proses perubahan secara kimiawi dengan menggunakan cahaya, sedangkan katalis adalah media yang dapat mempercepat reaksi perubahan secara kimiawi (Anggita dan Setiawan, 2021). Fotokatalis memiliki keterkaitan yang erat dengan material semikonduktor, di mana material semikonduktor berperan besar dalam reaksi fotokatalis. Material semikonduktor memiliki sifat-sifat yang mendukung perannya tersebut, yakni (1) memiliki sifat fotoaktif, (2) dapat mengabsorpsi cahaya tampak (*visible*) atau ultraviolet, (3) memiliki sifat inert atau lambat secara kimiawi dan biologis, juga (4) stabil terhadap cahaya atau

bersifat fotostabil. Elektron-elektron pada material padat yang dikenai medan listrik akan menghasilkan suatu konduktivitas listrik, di mana untuk mengetahui besarnya konduktivitas listrik harus diketahui dulu istilah pita energi (*energy band*) (Hindryawati, 2020).

Nilai-nilai energi pada elektron-elektron dikelompokkan menjadi pita-pita energi, di mana setiap pita merupakan sekumpulan energi diskrit dengan jumlah yang sangat banyak dan jaraknya berdekatan. Pengisian elektron pada atom dari kristalin padat dimulai dari kulit energi terendah yang dekat dengan inti hingga ke kulit-kulit berikutnya secara berturut-turut. Elektron-elektron dengan tingkat energi tertinggi disebut elektron valensi dan menduduki pita energi yang disebut pita valensi. Ketika ada tingkat-tingkat energi yang cukup tinggi pada pita valensi atau pita valensi berseberangan langsung dengan pita konduksi, maka lebih sedikit energi kinetik tambahan untuk melepaskan elektron-elektron valensi dari inti atom dan menciptakan aliran elektron. Kristalin tersebut dinamakan sebagai konduktor listrik (Hayt and Buck, 2006).

Selanjutnya, ketika ada sebuah elektron dengan energi terbesar yang menduduki tingkat energi tertinggi dalam pita valensi, namun ada celah lebar (*band gap*) di antara pita valensi serta pita konduksi, maka kristalin dinamakan sebagai *isolator*. Pada isolator, elektron valensi tidak akan mudah lepas hanya dengan sedikit energi (Hayt and Buck, 2006). Sementara itu, pada semikonduktor, jarak antara pita valensi dan pita konduksi tidak begitu jauh sehingga memungkinkan terjadinya tumpang tindih apabila dipengaruhi oleh energi dari luar seperti panas, medan magnet dan tegangan tinggi.



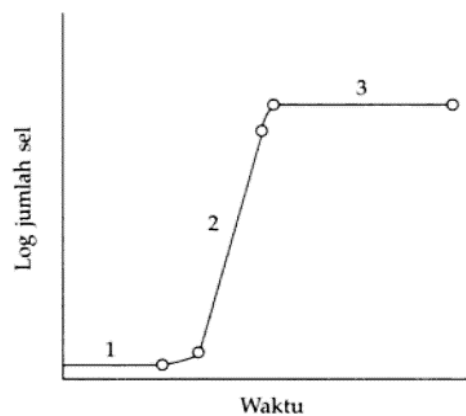
Gambar 15. Perbedaan celah energi (a) konduktor; (b) isolator dan (c) semikonduktor (Hindryawati, 2020)

Pada Gambar 15 terdapat perbedaan antara konduktor, isolator dan semikonduktor. Pada konduktor, terlihat tidak terdapat celah energi. Isolator memiliki celah energi yang besar dan semikonduktor memiliki celah energi yang lebih kecil. Semakin besar celah energi, semakin kecil kemampuan elektron untuk bereksitasi sehingga dapat menurunkan aktivitas fotokatalis (Hindryawati, 2020).

2.10 Bakteri

2.10.1 Fase Pertumbuhan Bakteri

Fase pertumbuhan bakteri dapat digambarkan dalam kurva pertumbuhan bakteri yang ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Kurva pertumbuhan mikrobial, (1) fase adaptasi (fase *lag*); (2) fase pertumbuhan eksponensial; (3) fase stasioner (Yuwono, 2016).

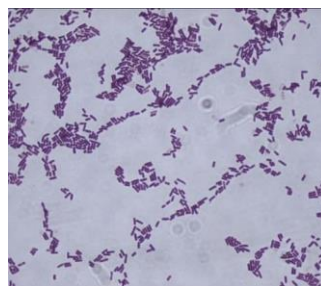
Pada awal pertumbuhan, grafik yang relatif datar menunjukkan bahwa sel akan beradaptasi dengan medium pertumbuhannya terlebih dahulu. Fase pertumbuhan ini disebut fase *lag* atau fase adaptasi. Panjang fase *lag* bergantung pada jenis dan kondisi pertumbuhan bakteri seperti komposisi medium, faktor lingkungan dan sebagainya. Setelah melalui fase adaptasi, bakteri pun mulai memasuki fase logaritmik (fase eksponensial). Dalam fase ini, bakteri sudah dapat beradaptasi secara baik dengan lingkungannya sehingga memiliki waktu penggandaan yang lebih singkat dibanding dalam fase sebelumnya. Waktu penggandaan merupakan waktu yang diperlukan sel untuk tumbuh menjadi dua kali lipatnya

(Yuwono, 2016). Waktu penggandaan pada fase eksponensial berkisar antara 20 sampai 60 menit (Machdar, 2018).

Konsentrasi nutrisi akan semakin berkurang karena digunakan secara terus-menerus untuk pertumbuhan sehingga pertumbuhan sel menjadi lambat. Setelah itu, sel memasuki fase pertumbuhan stasioner. Dalam fase ini, jumlah sel seimbang di antara sel hidup dan sel mati. Oleh karena itu, grafiknya terlihat mendatar. Apabila fase ini diteruskan, maka jumlah sel mati akan menjadi lebih besar daripada jumlah sel hidup sehingga sel akan memasuki fase kematian (Yuwono, 2016).

2.10.2 *Bacillus subtilis*

Bakteri *B. subtilis* adalah bakteri yang tergolong dalam Gram positif. Sebagai Gram positif, dinding sel bakteri ini hanya terdiri dari satu lapisan tebal sehingga lebih memudahkan zat antibakteri untuk masuk dibandingkan dengan bakteri Gram negatif yang terdiri dari tiga lapis dinding sel (Pringgenies *et al.*, 2017). Bakteri ini dapat mengakibatkan penyakit seperti endokarditis, infeksi mata dan lain-lain. Selain itu, bakteri ini dapat mengakibatkan penyakit yang membuat fungsi imun seseorang terganggu seperti meningitis dan gastroenteritis akut (Jawetz *et al.*, 2005).



Gambar 17. *B. subtilis* (Jawetz *et al.*, 2005)

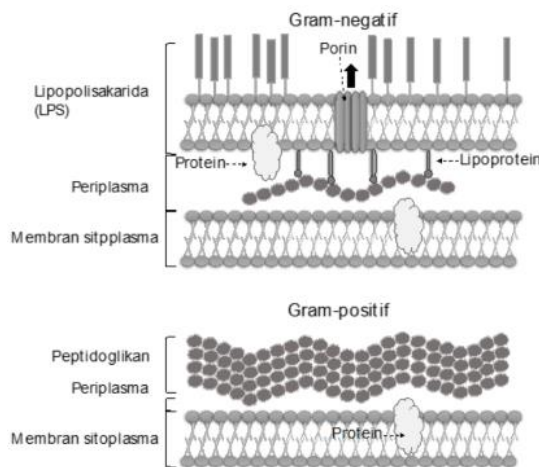
2.10.3 *Escherichia coli*

Bakteri *E. coli* adalah bakteri yang bersifat Gram negatif dan menjadi indikator pada makanan serta air. Indikasi adanya bakteri patogen di dalam air dapat

diketahui melalui analisis bakteriologi dengan hasil positif pada bakteri *E. coli* dalam jumlah spesifik sejak diketahuinya penyebaran bakteri tersebut dalam seluruh individu (Suriawiria, 2005; Khakim dan Rini, 2018). Tidak seperti bakteri Gram positif, bakteri Gram negatif memiliki membran luar yang memberikan perlindungan dari kondisi lingkungan di luar sel dan perubahannya. Fosfolipid dan lipopolisakarida (LPS) merupakan penyusun membran ini. Lipopolisakarida mempunyai aktivitas endotoksik serta memiliki peran sebagai antigen yang spesifik dari spesies bakteri (Koentjoro dan Prasetyo, 2020).



Gambar 18. *E. coli* (Khakim dan Rini, 2018)



Gambar 19. Perbedaan Gram negatif dan Gram positif (Koentjoro dan Prasetyo, 2020)

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan November 2022 sampai dengan Mei 2023. Sintesis S/CaO/nGO dilakukan di Laboratorium Anorganik/Fisik, Jurusan Kimia dan uji antibakteri dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Jurusan Biologi di Fakultas MIPA Universitas Lampung. Karakterisasi menggunakan FTIR dilakukan di Laboratorium Kimia Institut Teknologi Bandung (ITB) dan XRD dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Gadjah Mada (UGM), sementara itu karakterisasi menggunakan DRS dilakukan di Laboratorium UI-Chem, Universitas Indonesia. Karakterisasi menggunakan SEM dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT), Universitas Lampung.

3.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yakni bonggol jagung, akuades, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (MerckTM), HCl 1 M, HCl 5%, H_2SO_4 1 M dan H_2SO_4 95% (MerckTM), KMnO_4 , NaNO_3 (MerckTM), H_2O_2 30%, $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (MerckTM), cangkang telur, dan media agar *nutrient broth* (NB) serta *nutrient agar* (NA) (MerckTM).

Sementara itu, alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas beaker (100-1000 mL), gelas ukur (10-100 mL), labu ukur (10-100 mL), pipet tetes, tabung sentrifus 15 mL, batang pengaduk, spatula, termometer, corong pisah 75 mm, erlenmeyer 250 mL, *plastic wrap*, kain kasa, kapas, benang, aluminium foil,

kertas saring Whattman No. 42, plastik tahan panas, kertas pembungkus, karet gelang, cawan krus, mortar, cawan petri, tabung durham, jarum ose bulat, bunsen, mikrotip dan mikropipet, pinset, neraca analitik (*Ainsworth AA-160 Denver Instrument Company*TM), tabung reaksi, botol vial, oven (*Innotech*), *furnace*, desikator, *hotplate magnetic stirrer* (CB162 StuartTM), *spin bar*, sentrifus (17250-10-Centrifuge Cole ParmerTM), pH meter (MetroHMTM 827), *ice bath*, *ultrasonic cleaner* (D68H), autoklaf (*OSK Class I ALP Co., Ltd*), inkubator (*Heraeus B6120*), kertas cakram, *cotton bud* steril, *stopwatch*, lampu *visible*, *Biological Safety Cabinet* (BSC) (*ESCO Class II*), instrumen XRD (*Bruker AXS D8 Advance*), FTIR (*Shimadzu IR Prestige-21*), DRS (*Shimadzu UV-3600*) dan SEM (*Zeiss EVO MA10*).

3.3 Sintesis S/CaO/nGO

3.3.1 Karbonisasi Serbuk Bonggol Jagung

Limbah bonggol jagung dipotong-potong dan digiling hingga berbentuk serbuk halus. Selanjutnya, serbuk halus bonggol jagung dikeringkan selama 2 jam pada suhu 100°C di dalam oven. Setelah dikeringkan, serbuk dimasukkan ke dalam cawan krus untuk dipanaskan pada suhu 350°C dalam *furnace* selama 2 jam hingga menjadi arang. Arang tersebut diletakkan di dalam desikator selama 15 menit, kemudian dihaluskan dengan mortar. Arang yang telah dihaluskan akan digunakan dalam tahap berikutnya yaitu sintesis grafit (Dewi, 2020).

3.3.2 Sintesis Grafit

Sebanyak 5 g arang hasil karbonisasi dilarutkan dalam 500 mL akuades, lalu diaduk selama 30 menit. Setelah itu, FeCl₃.6H₂O ditambahkan sebanyak 4 mL ke dalam larutan dan larutan diaduk kurang lebih selama 15 menit dengan kecepatan pengadukan yang sama. pH larutan dibuat ~2 dengan penambahan HCl 1 M, lalu pengadukan dilakukan kembali pada suhu 60°C selama 5 jam. Hasil endapan dinetralkan dan dimasukkan ke dalam oven pada suhu 50°C selama semalaman, kemudian dilanjutkan pada suhu 110°C selama 5 jam. Hasilnya dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit (Dewi, 2020).

3.3.3 Sintesis Nano Grafena Oksida (nGO)

Tahap ini terdiri dari dua langkah, yakni oksidasi grafit dengan menggunakan metode Hummers dan pengelupasan grafit oksida menjadi lembaran grafena oksida secara mekanik dengan sonikasi (Sjahriza dan Herlambang, 2021). Sebanyak 5 g grafit dan 2,5 g NaNO_3 dicampurkan ke dalam 120 mL H_2SO_4 , lalu diaduk dalam *ice bath* selama 10 menit hingga suhu mencapai 5°C . Setelah itu, sebanyak 15 g KMnO_4 ditambahkan secara hati-hati sambil mempertahankan suhu di bawah 5°C dan campuran diaduk selama 3 jam di dalam *ice bath*. Selanjutnya, campuran dikeluarkan dari *ice bath* dan dilakukan pengadukan tanpa *ice bath* selama 1 jam sehingga proses reaksi berlangsung selama 4 jam. Setelah itu, suhu dinaikkan dengan menambahkan air sampai volume campuran mencapai 400 mL. Terakhir, 15 mL H_2O_2 ditambahkan secara hati-hati ke dalam campuran untuk menghentikan reaksi.

Hasil endapan dari campuran disentrifugasi dengan HCl 5% dan setelah itu dilakukan tes dengan barium klorida. Selanjutnya, endapan disentrifugasi dengan akuades sampai pH netral. Setelah netral, endapan didispersikan dengan 450 mL akuades dan disonikasi selama 2 jam. Setelah itu, endapan hasil sonikasi dimasukkan ke dalam oven pada suhu 60°C hingga diperoleh *nanosheets* GO (Paulchamy *et al.*, 2015).

3.3.4 Sintesis Kalsium Oksida (CaO)

Cangkang telur dicuci dengan memisahkan membrannya dari cangkang. Setelah itu, cangkang dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 2 jam. Selanjutnya, cangkang yang sudah kering dihancurkan dengan mortar dan dikalsinasi pada suhu 700°C untuk mengubah CaCO_3 menjadi CaO. CaO yang dihasilkan dari kalsinasi dimasukkan ke dalam desikator (Oko dan Feri, 2019).

3.3.5 Pencampuran S/CaO

Sintesis S/CaO dilakukan dengan dua variasi perbandingan yakni 0,25/1 dan 0,75/1. Sebanyak 1 g CaO dicampurkan dengan masing-masing 0,25 g S dan 0,75

g S dari larutan H_2SO_4 1 M yang volumenya telah disesuaikan dengan masing-masing massa S dalam gram melalui perhitungan stoikiometri (Lampiran 4). Setelah itu, campuran diaduk pada suhu 60°C hingga larutan menguap. Hasil yang diperoleh kemudian dikalsinasi pada suhu 250°C selama 2 jam dan 450°C selama 5 jam (Dewi dkk., 2021).

3.3.6 Pencampuran S/CaO/nGO

S/CaO 0,25/1 hasil sintesis sebanyak 0,25 g dan 0,75/1 sebanyak 0,75 g masing-masing dicampurkan dengan 1 g nGO hasil sintesis dan didispersikan ke dalam 25 mL etanol. Setelah itu, campuran diaduk dan disonikasi menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 50 menit. Hasil endapan S/CaO/nGO 0,25/1 dan 0,75/1 dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C hingga mengering.

3.4 Karakterisasi

3.4.1 Karakterisasi Menggunakan XRD

Karakterisasi XRD digunakan untuk mengetahui fasa kristalin S/CaO/nGO melalui prinsip radiasi sinar-X yang menghasilkan pola difraksi sinar-X. S/CaO/nGO dimasukkan ke dalam difraktogram dengan rentang $2\theta = 5^\circ\text{-}90^\circ$ dan radiasi $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1,54060$) (Taufantri dkk., 2016). Hasilnya diolah dengan *software* Match dan Origin untuk mengidentifikasi puncak-puncak difraktogramnya.

3.4.2 Karakterisasi Menggunakan FTIR

Karakterisasi FTIR digunakan untuk mengetahui gugus fungsi pada S/CaO/nGO melalui vibrasi/getaran yang menunjukkan gugus fungsionalnya. *Range* panjang gelombang (λ) yang digunakan yakni $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$. Hasilnya diolah dengan menggunakan *software* origin untuk melihat pita serapan atau absorpsi yang muncul pada daerah serapan tertentu. Selanjutnya, pita serapan atau absorpsi yang terbentuk pada spektrum FTIR tersebut dibandingkan dengan menggunakan tabel korelasi (Anam dkk., 2007).

3.4.3 Karakterisasi Menggunakan DRS

Karakterisasi DRS digunakan untuk mengetahui energi *band gap* dari S/CaO/nGO dan dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer Shimadzu UV-3600 yang diintegrasikan pada tabung berdiameter 15 cm. Senyawa BaSO₄ digunakan sebagai referensi. Semua sampel yang telah mengandung BaSO₄ (1:50) digunakan untuk perhitungan (Tatarchuk *et al.*, 2017).

3.4.4 Karakterisasi Menggunakan SEM

Karakterisasi SEM digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan S/CaO/nGO. Sampel S/CaO/nGO diambil sedikit, lalu diletakkan dalam *chamber*. Pistol anoda pada SEM akan memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda, lalu lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel. Sinar elektron memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Saat elektron mengenai sampel, sampel mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (Wijayanto dan Bayuseno, 2014).

3.5 Uji Antibakteri

3.5.1 Peremajaan Bakteri

Bakteri yang telah ditumbuhkan pada media *nutrient agar* (NA) miring diinokulasikan kembali ke media agar yang baru. Sebelum dilakukan inokulasi, media agar yang baru tersebut terlebih dahulu disterilkan menggunakan autoklaf. Setelah steril, media dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan pengerjaannya dilakukan di dalam *Biological Safety Cabinet* (BSC). Media didiamkan hingga mengeras, lalu diambil satu ose bakteri dari media NA miring yang lama dan di-*streak* ke media baru. Setelah itu, tepi tabung dipijarkan dengan bunsen dan diberi sumbat serta dilapisi dengan *plastic wrap*. Selanjutnya, dilakukan inkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C.

3.5.2 Pengambilan Bakteri

Bakteri *B. subtilis* dan *E. coli* yang telah dikembangbiakkan pada media agar lalu diinokulasikan ke media *nutrient broth* (NB). Selanjutnya, bakteri di dalam media cair tersebut diinkubasi selama 4 jam pada suhu 37°C. Setelah itu, bakteri diambil dengan menggunakan mikropipet 0,1 mL dan diinokulasikan ke dalam tabung atau botol vial berisi media untuk uji MIC. Untuk uji menggunakan metode difusi cakram, bakteri di dalam media cair di-*swap* pada media agar dalam cawan petri dengan menggunakan *cotton bud* steril pada keadaan lingkungan yang telah disesuaikan (Hayati dkk., 2019).

3.5.3 Perlakuan Sampel Antibakteri Terhadap Bakteri

Pada tahap ini, dilakukan uji *Minimum Inhibitory Concentration* (MIC) untuk mengetahui konsentrasi minimum sampel antibakteri yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri sesudah 18-24 jam setelah masa inkubasi (Soelama dkk., 2015). Pada uji MIC, pertama-tama disiapkan larutan stok antibakteri nGO, CaO, S/CaO 0,25/1 dan 0,75/1 serta S/CaO/nGO 0,25/1 dan 0,75/1 dengan beberapa variasi konsentrasi. Setelah itu, masing-masing larutan antibakteri dimasukkan sebanyak 0,1 mL ke dalam tabung uji yang berisi media dan bakteri. Selanjutnya, dilakukan inkubasi selama 18 jam pada suhu 37° C (Huang *et al.*, 2020).

Setelah uji MIC, dilakukan uji zona hambat menggunakan metode difusi cakram. Kertas cakram direndam dan diletakkan pada media agar yang sudah di-*swap* bakteri. Penyinaran dilakukan dengan sinar *visible* pada variasi waktu 15, 30, 45 dan 60 menit. Inkubasi dilakukan selama 72 jam pada suhu 37°C dengan pengamatan 24 jam sekali (Madigan *et al.*, 2003; Rait dkk., 2021).

3.6 Pengamatan

Pengamatan dalam uji MIC dilakukan dengan mengamati kekeruhan pada hasil uji untuk mengetahui konsentrasi minimum sampel antibakteri yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri. Sementara itu, uji zona hambat dilakukan dengan mengamati daerah bening yang ada di sekitar kertas cakram dan diameter

zona hambat dengan mengukur zona terluar kertas cakram hingga batas terluar zona hambat.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Penelitian ini berhasil memperoleh sampel antibakteri S/CaO/nGO 0,25/1 dan 0,75/1 dengan ukuran partikel masing-masing 30,53 nm dan 44,58 nm dengan energi *band gap* masing-masing sebesar 1,06 eV dan 0,98 eV serta mikrograf hasil SEM partikel sampel menunjukkan persebaran yang tidak merata dan terjadi aglomerasi.
2. Terdapat aktivitas antibakteri S/CaO/nGO terhadap bakteri *B. subtilis* dengan munculnya zona hambat yang berkisar di antara 2-4 mm.
3. Terdapat aktivitas antibakteri S/CaO/nGO terhadap bakteri *E. coli* dengan munculnya zona hambat yang berkisar di antara 2-3 mm
4. Terdapat pengaruh penyinaran sinar *visible* terhadap aktivitas antibakteri pada sampel S/CaO/nGO dengan variasi waktu penyinaran optimum 45 menit penyinaran pada uji terhadap *B. subtilis* dan 30 menit penyinaran pada uji terhadap *E. coli* dengan munculnya zona hambat masing-masing 4 mm dan 3 mm.

5.2 Saran

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

1. Penggunaan konsentrasi untuk setiap sampel antibakteri utama dan sampel lainnya pada uji antibakteri dengan menggunakan metode difusi cakram sebaiknya lebih besar dari konsentrasi yang didapatkan dari uji MIC dan sama untuk seluruh sampel agar memperoleh zona hambat yang lebih besar dan data yang dihasilkan lebih mudah untuk diinterpretasikan.
2. Memastikan untuk lebih memerhatikan kebersihan diri dan lingkungan sekitar saat melakukan pekerjaan dengan mikroba untuk meminimalisir terjadinya kontaminasi dalam uji antibakteri.
3. Lebih memerhatikan suhu saat sintesis untuk meminimalisir terjadinya *bumping* pada saat sintesis nano grafena oksida dan aglomerasi atau penggumpalan yang disebabkan oleh suhu yang tidak konstan saat pencampuran dengan pemanasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adlia, A., Aljuffrie, S., Adi, A.C., Regitasari, D.A., Rahmasari, V.A dan Rachmawati, H. 2019. Pemberdayaan Masyarakat Melalui Pelatihan Pembuatan Sabun Sulfur Untuk Pencegahan Dermatitis. *Journal of Community Service and Engagements*. **1**(2): 45-49.
- Aliofkhazraei, M., Ali, N., Milne, W.I., Ozkan, C.S., Mitura, S and Gervasoni, J.L. 2016. *Graphene Science Handbook: Size-Dependent Properties*. CRC Press. Boca Raton.
- Anam, C., Sirojudin dan Firdausi, K. S. 2007. Analisis Gugus Fungsi pada Sampel Uji, Bensin dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FTIR. *Berkala Fisika*. **10**(1): 79-85.
- Andrijanto, E., Shoelarta, S., Subiyanto, G and Rifki, S. 2016. Facile Synthesis of Graphene from Graphite Using Ascorbic Acid as Reducing Agent. *AIP Conference Proceedings*. **1725**: 1-4.
- Anggita, S. R dan Setiawan, H. 2021. *Fotokatalis ZnO:Ag dan Aplikasinya*. Alinea Media Dipantara. Pati.
- Arianto, S., Sari, A.W., Akbar, H., Sulistiawati, F., Sylvia, D., Komara, N.K., Luthfiah, S., Radhina, A., Sari, M.P., Belanita, P.M dan Asman, A. 2022. *Teori dan Aplikasi Biomedik Dasar*. Yayasan Penerbit Muhammad Zaini. Kabupaten Pidie.
- Arifin, Z. 2012. Pemanfaatan Teknologi Sonikasi Tak Langsung dalam Rangka Produksi Kitosan. *Konversi*. **1**(1): 1-6.
- Bai, R. G., Muthoosamy, K., Manickam, S and Hilal-Alnaqbi, A. 2019. Graphene-based 3D Scaffolds in Tissue Engineering: Fabrication, Applications, and Future Scope in Liver Tissue Engineering. *International Journal of Nanomedicine*. **14**: 5753-5783.
- Bousiakou, L.G., Qindeel, R., Omar, M.A and 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*. **34**: 1-6.
- Bradder, P., Ling, S.K., Wang, S and Liu, S. 2011. Dye Adsorption on Layered Graphite Oxide. *Journal of Chemical and Engineering Data*. **56**(1): 138-141.
- Callister, W and Rethwisch, D. 2010. *Materials Science and Engineering*. 8th ed. John Wiley & Sons. New York.
- Demir, D., Ceylan, S., Ofkeli, F., Sen, D and Bolgen, N. 2017. Eggshell Derived Nanohydroxyapatite Reinforced Chitosan Cryogel Biocomposites for Tissue Engineering Applications. *Journal of the Turkish Chemical Society*. **1**(1): 77-88.
- Dewi, K. 2020. *Sintesis dan Karakterisasi Natural Graphite dan Graphite Oxide (GO) dari Limbah Tongkol Jagung*. (Skripsi). Universitas Pertamina. Jakarta.
- Dewi, A.P., Manurung, P dan Syafriadi. 2021. Pengaruh Waktu Penambahan Doping Sulfur terhadap Luas Permukaan dan Struktur Kristal Nanotitania Menggunakan Metode Sol Gel. *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*. **2**(2): 66-71.
- Dizaj, S. M., Mennati, A., Jafari, S., Khezri, K and Adibkia, K. 2014. Antimicrobial Activity of the Metals and Metal Oxide Nanoparticles. *Materials Science and Engineering C*. **44**: 278-284.
- Ebbing, D. D and Gammon, S. D. 2017. *General Chemistry*. 11th ed. Cengage Learning. Boston.
- Evanuarini, H., Thohari, I dan Safitri, A. R. 2021. *Industri Pengolahan Telur*. UB Press. Malang.
- Fadhilah, R., Rizmahardian, A dan Margarita, M. 2015. Sintesis Hidroksiapatit dari Cangkang Kerang Ale-Ale (*Meretrix Spp*) Sebagai Material Graft Tulang. *Jurnal Majalah Ilmiah Al Ribaath*. **12**(1): 44-60.
- Faticha, S.I. 2023. Konversi Selulosa dari Kulit Pisang Kepok (*Musa paradisiaca* L) Menjadi Gula Alkohol Menggunakan Katalis Cr₂O₃/nGO. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Gao, W. 2015. The Chemistry of Graphene Oxide. *Graphene Oxide*. **6**(1): 61-95.
- Goncalves, G., Vila, M., Bdikin, I., Andres, A., Emami, N., Ferreira, R.A.S., Carlos, L.D., Gracio, J and Marques, P.A.A.P. 2014. Breakdown into Nanoscale of Graphene Oxide: Confined Hot Spot Atomic Reduction and Fragmentation. *Scientific Report*. **4**(6735): 1-8.

- Habiburahman, R., Darwati, S., Sumantri, C dan Rukmiasih. 2020. Produksi Telur dan Kualitas Telur Ayam IPB D-1 G7 serta Pendugaan Nilai Ripitabilitasnya. *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan*. **8**(2): 97-101.
- Habte, L., Shiferaw, N., Mulatu, D., Thenepalli, T., Chilakala, R and Ahn, J.W. 2019. Synthesis of Nano-Calcium Oxide from Waste Eggshell by Sol-Gel Method. *Sustainability*. **11**(3196): 1-10.
- Hartanto, S dan Ratnawati. 2010. Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. **12**(1): 12-16.
- Haryono, Natanael, C. L., Rukiah dan Yulianti, Y. B. 2018. Kalsium Oksida Mikropartikel dari Cangkang Telur Sebagai Katalis pada Sintesis Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*. **8**(1): 8-15.
- Hayati, L. N., Tyasningsih, W., Praja, R.N., Chusniati, S., Yunita, M.N dan Wibawati, P.A. 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.
- Hayt, W. H and Buck, J. A. 2006. *Elektromagnetika*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Hindryawati, N. 2020. *Fotokatalisis dalam Pengolahan Limbah Tekstil*. Deepublish. Yogyakarta.
- Honorisal, M.B.P., Huda, N., Partuti, T dan Sholehah, A. 2020. Sintesis dan Karakterisasi Grafena Oksida dari Tempurung Kelapa dengan Metode Sonikasi dan Hidrotermal. *Jurnal Sains dan Teknologi*. **16**(1): 1-11.
- Huang, X., Chang, L., Lu, Y., Li, Z., Kang, Z., Zhang, X., Liu, M and Yang, D.P. 2020. Plant-Mediated Synthesis of Dual-Functional Eggshell/Ag Nanocomposites Towards Catalysis and Antibacterial Applications. *Materials Science & Engineering C*. **113**: 1-10.
- Jadhav, V., Bhagare, A., Wahab, S., Lokhande, D., Vaidya, C., Dhayagude, A., Khalid, M., Aher, J., Mezni, A and Dutta, M. 2022. Green Synthesized Calcium Oxide Nanoparticles (CaO NPs) Using Leaves Aqueous Extract of *Moringa oleifera* and Evaluation of Their Antibacterial Activities. *Journal of Nanomaterials*. **2022**: 1-7.
- Jawetz, M and Adelberg. 2005. *Mikrobiologi Kedokteran*. Salemba Medika. Jakarta.
- Khaira, K. 2011. Pengaruh Temperatur dan Waktu Kalsinasi Batu Kapur Terhadap Karakteristik *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC). *Jurnal Saintek*. **3**(1): 33-43.

- Khakim, L dan Rini, C. S. 2018. Identifikasi *Escherichia coli* dan *Salmonella* sp. pada Air Kolam Renang Candi Pari. *Medicra (Journal of Medical Laboratory Science/Technology)*. **1**(2): 84-93.
- Koentjoro, M. P dan Prasetyo, E. N. 2020. *Dinamika Struktur Dinding Sel Bakteri*. Jakad Media Publishing. Surabaya.
- Komariah, L. N., Ahdiat, S dan Sari, N. D. 2013. Pembuatan Karbon Aktif dari Bonggol Jagung Manis (*Zea mays saccharata sturt*) dan Aplikasinya pada Pemurnian Air Rawa. *Jurnal Teknik Kimia*. **19**(3): 1-8.
- Kusrini, E., Ramadhani, I., Alhamid, M.I., Voo, N.Y and Usman, A. 2022. Synthesis and Adsorption Performance of Graphene Oxide-Polyurethane Sponge for Oil-Water Separation. *Engineering Journal*. **26**(1): 1-9.
- Lesbani, A., Sitompul, S.O.C., Mohadi, R and Hidayati, N. 2016. Characterization and Utilization of Calcium Oxide (CaO) Thermally Decomposed from Fish Bones as a Catalyst in the Production of Biodiesel from Waste Cooking Oil. *Makara J. Technol.* **20**(3): 121-126.
- Lestari, H. D., Subagjo dan Makertihartha, I. 2006. Sintesis Katalis NiMo untuk *Hydrotreating Coker Nafta*. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*. **5**(1): 365-373.
- Liu, S., Zeng, T.H., Hofmann, M., Burcombe, E., Wei, J., Jiang, R., Kong, J and 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.
- Machdar, I. 2018. *Pengantar Pengendalian Pencemaran: Pencemaran Air, Pencemaran Udara, dan Kebisingan*. Deepublish. Yogyakarta.
- Madigan, M., Martinko, J and Parker, J. 2003. *Brock Biology of Microorganism*. 10th ed. Prentice Hall. New Jersey.
- Maisyarah, A.O., Shofiyani, A dan Rudiyanayah. 2019. Sintesis CaO dari Cangkang Kerang Ale-Ale (*Meretrix meretrix*) Pada Suhu Kalsinasi 900°C. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*. **8**(1): 32-35.
- Mandeville, C. W. 2010. Sulfur: A Ubiquitous and Useful Tracer in Earth and Planetary Sciences. *Elements*. **6**: 75-80.
- Martins, P.M., Ferreira, C.G., Silva, A.R., Magalhaes, B., Alves, M.M., Pereira, L., Marques, P.A.A.P., Melle-Franco, M and Lanceros-Mendez, S. 2018. TiO₂/Graphene and TiO₂/Graphene Oxide Nanocomposites for Photocatalytic Applications: A Computer Modeling and Experimental Study. *Composites Part B: Engineering*. **145**: 39-46.

- Masruroh, Manggara, A.B., Papilaka, T dan Triandi, R. 2013. Penentuan Ukuran Kristal (*Crystallite size*) Lapisan Tipis PZT dengan Metode XRD Melalui Pendekatan Persamaan Debye-Scherrer. *Erudio Journal of Educational Innovation*. **1**(2): 24-29.
- Mawaddah, N., Fakhrurrazi dan Rosmaidar. 2018. Aktivitas Antibakteri Ekstrak Tempe Terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus*. *JIMVET*. **2**(3): 230-241.
- Melo, H.P., Cruz, A.J., Candeias, A., Mirao, J., Cardoso, A., Oliveira, M.J and Valadas, S. 2014. Problems of Analysis by FTIR of Calcium Sulphate-Based Preparatory Layers: The Case of a Group of 16th-Century Portuguese Paintings. *Archaeometry*. **56**(3): 1-14.
- Moros, J., Garrigues, S and de la Guardia, M. 2010. Vibrational Spectroscopy Provides a Green Tool for Multi-Component Analysis. *Trends in Analytical Chemistry*. **29**: 578-591.
- Mudasir dan Candra, M. 2008. *Spektrometri*. Penerbit FMIPA UGM. Yogyakarta.
- Mukhopadhyay, P and Gupta, R. K. 2013. *Graphite, Graphene and Their Polymer Nanocomposite*. CRC Press. Boca Raton.
- Munnik, P., Petra, E and Krijin, P. 2015. Recent Developments in The Synthesis of Supported Catalyst. *American Chemical Society*. **155**: 6687-6718.
- Nasseri, M. A., Allahresani, A and Raissi, H. 2014. A New Application of Nano-Graphene Oxide as a Heterogeneous Catalyst in Crossed-Aldol Condensation Reaction Under Solvent-Free Conditions. *Iranian Journal of Catalysis*. **4**(1): 33-40.
- Nurhayati, L. S., Yahdiyani, N dan Hidayatulloh, A. 2020. Perbandingan Pengujian Aktivitas Antibakteri Starter Yogurt dengan Metode Difusi Sumuran dan Metode Difusi Cakram. *Jurnal Teknologi Hasil Peternakan*. **1**(2): 41-46.
- Nurlia, Asfar, A.M.I.T., Asfar, A.M.I.A., Ridwan, M.I., Nurwahyuni dan Rahayu, A.S. 2020. *Mix Sekam Padi, Bonggol Jagung dan Tempurung Kelapa Sebagai Pestisida Alami*. CV Jejak. Kabupaten Sukabumi.
- Oko, S dan Feri, M. 2019. Pengembangan Katalis CaO dari Cangkang Telur Ayam dengan Impregnasi KOH dan Aplikasinya Terhadap Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jarak. *Jurnal Teknologi*. **11**(2): 103-110.
- Paulchamy, B., Arthi, G and Lignesh, B.D. 2015. A Simple Approach to Stepwise Synthesis of Graphene Oxide Nanomaterial. *Journal of Nanomedicine & Nanotechnology*. **6**(1): 1-4.

- Pelczar, M. J and Chan, E. 2006. *Dasar-Dasar Mikrobiologi Jilid 2*. UI Press. Jakarta.
- Pratiwi, R. 2017. Perbedaan Daya Hambat Terhadap *Streptococcus mutans* dari Beberapa Pasta Gigi yang Mengandung Herbal. *Majalah Kedokteran Gigi*. **38**(2): 64-67.
- Pringgenies, Delianis, Sar, D. A., Ria A. T. N., Yudiati, E., Susilo, E. S dan Satriadi., A. 2017. Determinasi Bakteri Simbion Luminesensi Cumi *Loligo edulis* serta Analisis Potensinya Sebagai Antibakteri. *Jurnal Kelautan Tropis*. **20**(2): 78-83.
- Rait, A. S., Nurhasanah dan Kiswandono, A. A. 2021. Analisis Aktivitas Antibakteri Ekstrak Daun Sirih Hijau (*Piper betle* Linn) pada Handsoap Menggunakan Metode Cakram. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. **6**(2): 122-133.
- Regalbuto, J. 2007. *Catalyst Preparation Science and Engineering*. CRC Press. Boca Raton.
- Rifdah, Herawati, N dan Dubron, F. 2017. Pembuatan Biobriket dari Limbah Tongkol Jagung Pedagang Jagung Rebus dan Rumah Tangga Sebagai Bahan Bakar Energi Terbarukan dengan Proses Karbonisasi. *Distilasi*. **2**(2): 39-46.
- Rohman, A. 2021. *Spektroskopi Vibrasional : Teori dan Aplikasinya Untuk Analisis Farmasi*. UGM Press. Yogyakarta.
- Roy, A., Gauri, S. S., Bhattacharya, M and Bhattacharya, J. 2013. Antimicrobial Activity of CaO Nanoparticles. *J. Biomed. Nanotechnol*. **9**: 1-8.
- Saedi, S., Shokri, M and Rhim, J.W. 2020. Antimicrobial Activity of Sulfur Nanoparticles: Effect of Preparation Methods. *Arabian Journal of Chemistry*. **13**: 6580-6588.
- Shankar, S., Pangei, R., Park, J. W and Rhim, J.W. 2018. Preparation of Sulfur Nanoparticles and Their Antibacterial Activity and Cytotoxic Effect. *Material Science and Engineering C*. **92**: 508-517.
- Sharmila, G., Pradeep, R.S., Sandiya, K., Santhiya, S., Muthukumar, C., Jeyanthi, J., Kumar, N.M and Thirumarimurugan, M. 2018. Biogenic Synthesis of CuO Nanoparticles Using Bauhinia tomentosa Leaves Extract: Characterization and Its Antibacterial Application. *Journal of Molecular Structure*. **1165**: 288-292.
- Sirait, G.F.S. 2023. Konversi Nanoselulosa dari Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa x paradisiaca* L.) Menjadi Gula Alkohol Menggunakan Nanokomposit nGO/TiO₂ di Bawah Irradiasi Sinar UV. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.

- Siswandono dan Soekardjo, B. 1995. *Kimia Medisinal*. Airlangga University Press. Surabaya.
- Sjahriza, A dan Herlambang, S. 2021. Sintesis Oksida Grafena dari Arang Tempurung Kelapa untuk Aplikasi Antibakteri dan Antioksidan. *al-Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*. **8**(2): 51-58.
- Skakalova, V and Kaiser, A. B. 2021. *Graphene: Properties, Preparation, Characterization, and Application*. 2nd ed. Elsevier. London.
- Snyder, R. L. 1999. X-Ray Diffraction. In: E. Lifshin, ed. *X-Ray Characterization of Materials*. Wiley-VCH. Weinheim: 1-103.
- Soelama, H. J. J., Kepel, B. J dan Siagian, K. V. 2015. Uji *Minimum Inhibitory Concentration* (MIC) Ekstrak Rumput Laut (*Eucheuma cottonii*) Sebagai Antibakteri Terhadap *Streptococcus mutans*. *Jurnal e-GiGi*. **3**(2): 374-379.
- Suleiman, M., Al-Masri, M., Ali, A.A., Aref, D., Hussein, A., Saadeddin, I and Warad, I. 2015. Synthesis of Nano-sized Sulfur Nanoparticles and Their Antibacterial Activities. *Journal of Materials and Environmental Science*. **6**(2): 513-518.
- Sunardi, Krismawati, E.D dan Mahayana, A. 2020. Sintesis dan Karakterisasi Nanokalsium Oksida dari Cangkang Telur. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*. **16**(2): 250-259.
- Supriyanto, G., Rukman N.K., Nisa, A.K., Jannatin, M., Piere, B., Abdullah., Fahmi, M.Z and Kusuma, H.S. 2018. Graphene Oxide from Indonesian Biomass: Synthesis and Characterization. *BioResources*. **13**(3): 1-9.
- Suriawiria, U. 2005. *Mikrobiologi Dasar*. Papas Sinar Sinanti. Jakarta.
- Suwandana, R. F dan Susanti, D. 2015. Analisis Pengaruh Massa Reduktor Zinc Terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Material Graphene. *Jurnal Teknik ITS*. **4**(1): 2337-3539.
- Syakir, N., Nurlina, R., Anam, S., Aprilia, A., Hidayat, S dan Fitrilawati. 2015. Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena dalam Jumlah Besar. *Jurnal Fisika Indonesia*. **19**(55): 26-29.
- Syukri, Ferdian, F., Rilda, Y., Putri, Y.E., Efdi, M and Septiani, U. 2021. Synthesis of Graphene Oxide Enriched Natural Kaolinite Clay and Its Application for Biodiesel Production. *Int. Journal of Renewable Energy Development*. **10**(2): 307-315.
- Tatarchuk, T., Bouoadina, M and Macyk, W. 2017. Structural, Optical and Magnetic Properties of Zn-doped Cole O Nanoparticles. *Nanoscale Res Lett*. **12**(1): 141-151.

- Taufantri, Y., Irdhawati, Raka, I. A dan Asih, A. 2016. Sintesis dan Karakterisasi Grafena dengan Metode Reduksi Grafit Oksida Menggunakan Pereduksi Zn. *Jurnal Kimia VALENSI: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia*. **2**(1): 17-23.
- Thambiliyagodage, C. J., Ulrich, S., Araujo, P.T and Bakker, M.G. 2018. Catalytic Graphitization in Nanocast Carbon Monoliths by Iron, Cobalt, and Nickel Nanoparticles. *Carbon*. **134**: 452-463.
- Trisunaryanti, W. 2018. *Material Katalis dan Karakternya*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Tsai, W.T., Chang, C.Y., Wang, S.Y., Chang, C.F., Chien, S.F and Sun, H.F. 2001. Cleaner Production of Carbon Adsorbents by Utilizing Agricultural Waste Corn Cob. *Resources, Conservation and Recycling*. **32**(1): 43-53.
- Volk and Wheeler. 1990. *Mikrobiologi Dasar 2*. Erlangga. Jakarta.
- Wardiyati, S., Adi, W. A dan Syahbani, E. 2015. Pengaruh Konsentrasi $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ Terhadap Karakteristik TiO_2 Hasil Sintesis dengan Metode Sol Gel. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. **16**(4): 193-199.
- Wierzbicki, M., S. Jaworski, E. Sawosz, A. Jung, G. Gielerak, H. Jaremek, W. Lojkowski, B. Wozniak, L. Stobinski, A. Malolepszy and A. Chwalibog. 2019. Graphene Oxide in a Composite with Silver Nanoparticles Reduces the Fibroblast and Endothelial Cell Cytotoxicity of an Antibacterial Nanoplatform. *Nanoscale Res. Lett.* **14**(1): 320.
- Wijayanto, S. O dan Bayuseno, A. 2014. Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian: Mikrografi dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin S-1*. **2**(1): 33-39.
- Wijianto dan Effendy, M. 2010. Aplikasi Response Getaran Untuk Menganalisis Fenomena Kavitasasi pada Instalasi Pompa Sentrifugal. *Jurnal Penelitian Sains & Teknologi*. **11**(2): 191-206.
- Xu, Y., Zhu, L., Cui, X., Zhao, M., Li, Y., Chen, L., Jiang, W., Jiang, T., Yang, S and Wang, Y. 2020. Graphitizing N-doped Mesoporous Carbon Nanospheres via Facile Single Atom Iron Growth for Highly Efficient Oxygen Reduction Reaction. *Nano Research*. **13**: 752-758.
- Yamamoto, O., Ohira, T., Alvarez, K and Fukuda, M. 2010. Antibacterial Characteristic of CaCO_3 -MgO Composites. *Materials Science and Engineering B*. **173**(1-3): 208-212.

Yue, H., Wei, W., Yue, Z., Wang, B., Luo, N., Gao, Y., Ma, D., Ma, G and Su, Z. 2012. The Role of The Lateral Dimension of Graphene Oxide in The Regulation of Cellular Responses. *Biomaterials*. **33**(16): 4013-4021.

Yuwono, T. 2016. *Biologi Molekular*. Erlangga. Jakarta.

Zheng, H., Ma, R., Gao, M., Tian, X., Li, Y.Q., Zeng, L and Li, R. 2018. Antibacterial Application of Graphene Oxides: Structure-Activity Relationships; Molecular Initiating Events and Biosafety. *Science Bulletin*. **63**: 133-142.

Zulkarni, Syofyan dan Zola T. 2020. Gambaran Perilaku Keluarga dalam Menyimpan dan Membuang Obat Antibiotik di Kecamatan Pariangan, Kabupaten Tanah Datar. *Jurnal Sains Farmasi dan Klinis*. **7**(2): 172-179.