

**SINTESIS KOMPOSIT TiO₂/GRAFENA OKSIDA TEREDUKSI
MENGUNAKAN EKSTRAK KULIT PISANG KEPOK (*Musa
paradisiaca L.*) UNTUK DEGRADASI FOTOKATALITIK
BAKTERI *Escherichia coli***

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Sains
(S.Si) Program Studi Kimia pada Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta**



diajukan oleh:

FAUSTINE NAOMI DHETAYA

No Mhs: 19612078

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2023**

**SINTESIS KOMPOSIT TiO₂/GRAFENA OKSIDA TEREDUKSI
MENGUNAKAN EKSTRAK KULIT PISANG KEPOK (*Musa
paradisiaca L.*) UNTUK DEGRADASI FOTOKATALITIK
BAKTERI *Escherichia coli***

SKRIPSI

Yang diajukan oleh:

FAUSTINE NAOMI DHETAYA

No Mhs: 19612078

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Penguji Skripsi Prodi Kimia Fakultas
Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia
Tanggal: 10 April 2023

Dewan Penguji

Dr. Maisari Utami, S.Si.

Dr. Habibi Hidayat, S.Pd., M.Si.

Febi Indah Fajarwati, M.Sc.

M. Miqdam Musawwa, M.Sc.

Tanda Tangan

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia



Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D.



PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Faustine Naomi Dhetaya

NIM : 19612078

Program studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“Sintesis Komposit TiO_2 /Grafena Oksida Tereduksi Menggunakan Ekstrak Kulit Kepok (*Musa paradisiaca L.*) untuk Degradasi Fotokatalitik Bakteri *Escherichia coli*”** bersifat asli dan tidak berisi material yang diterbitkan sebelumnya kecuali referensi yang disebutkan didalam skripsi ini. Apabila terdapat kontribusi dari penulisan lain, maka penulisan tersebut secara eksplisit telah disebutkan dalam skripsi ini.

Apabila dikemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan penuh tanggung jawab.

Yogyakarta, 20 Maret 2023

Yang Menyatakan,

A 10,000 Rupiah Indonesian postage stamp with a signature over it. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'SEPUHLIH RIBU RUPIAH', '10000', 'METAL TEMPEL', and the serial number '4068AAJX014111699'.

Faustine Naomi Dhetaya

NIM. 19612078

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“Sintesis Komposit TiO₂/Grafena Oksida Tereduksi Menggunakan Ekstrak Kulit Pisang Kepok (*Musa paradisiaca L.*) untuk Degradasi Fotokatalitik Bakteri *Escherichia. coli*”** dengan sebaik – baiknya. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat mata kuliah skripsi pada Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, sebagai tugas akhir studi dan laporan hasil penelitian.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapat bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT karena atas segala berkah dan rahmatnya penulis masih diberikan kesabaran dan kemampuan untuk dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Kedua orang tua dan adik saya, serta keluarga besar yang senantiasa memberikan dukungan do'a dan kasih sayang tiada hentinya
3. Bapak Prof. Riyanto, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Gani Purwiandono, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia.
5. Ibu Dr. Maisari Utami, S.Si. selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan, doa dan juga dukungannya selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Habibi Hidayat, S.Pd., M.Si. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan, doa dan juga dukungannya selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini.

7. Segenap Dosen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia Yogyakarta yang sudah memberikan ilmu kepada penulis.
8. Segenap civitas laboran laboratorium penelitian kimia dan laboratorium mikrobiologi Universitas Islam Indonesia Yogyakarta yang telah membantu pra kegiatan penelitian dalam penyusunan skripsi dengan baik.
9. Kepada Siva Nur Salsabilla selaku teman satu penelitian, terimakasih atas kerjasamanya, dukungan, dan bantuannya hingga akhir penyusunan skripsi ini.
10. Kepada sahabat-sahabat saya (Talitha, Alma, Maharani, Manda, dan Tania) saya ucapkan terimakasih atas motivasi, kebersamaan, dan dukungan semangat yang telah kalian berikan.
11. Teman–teman Ilmu Kimia 2019 yang selalu memberikan semangat.
12. Semua pihak yang tentunya tidak dapat disebutkan satu persatu atas dukungan dan motivasinya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan masih harus disempurnakan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran, guna penyempurnaan di masa mendatang. Akhir kata dengan segala harapan dan doa semoga skripsi ini dapat bermanfaat semua orang yang membacanya.

Aamiin Ya Rabbal'alamiin

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, 9 Maret 2023



Faustine Naomi Dhetaya

**SINTESIS KOMPOSIT TiO₂/GRAFENA OKSIDA TEREDUKSI
MENGUNAKAN EKSTRAK KULIT PISANG KEPOK (*Musa
paradisiaca L.*) UNTUK DEGRADASI FOTOKATALITIK
BAKTERI *Escherichia coli***

INTISARI

Faustine Naomi Dhetaya

19612078

Penelitian sintesis komposit TiO₂/grafena oksida tereduksi (TiO₂/rGO) menggunakan ekstrak kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca L.*) untuk degradasi fotokatalitik bakteri *Escherichia coli* (*E. coli*) telah dilaksanakan. Penelitian dimulai dengan sintesis grafit oksida (GO) menggunakan metode Tour. Sintesis grafena oksida tereduksi (rGO) dengan metode sonikasi menggunakan ekstrak kulit pisang sebagai agen pereduksi. Sintesis TiO₂/rGO untuk mengembangkan TiO₂ pada rGO dengan metode hidrotermal. Karakterisasi dengan XRD menghasilkan komposit berada pada fasa rutil, puncak difraksi $2\theta = 27,481^\circ$ dan ukuran kristal 83,375 nm. Hasil GSA menunjukkan TiO₂/rGO tergolong tipe IV (mesopori) dengan rentang ukuran 2-50 nm, kurva BJH menunjukkan penyebaran pori heterogeny dan luas permukaan sebesar 22,664 m²/g. Hasil FTIR didapatkan serapan khas untuk TiO₂ yaitu vibrasi Ti-O-Ti pada bilangan gelombang 648,96 cm⁻¹ dan pergeseran pada TiO₂/rGO pada bilangan gelombang 510,50 cm⁻¹ yang menunjukkan vibrasi Ti-O-C. Hasil DRS-UV didapatkan energi *band gap* TiO₂ sebesar 3,15 eV dan TiO₂/rGO sebesar 3,052 eV. Hasil dari SEM-EDX menunjukkan morfologi TiO₂/rGO seperti gumpalan putih, halus, dan ukurannya tidak seragam. Komposisi penyusun TiO₂/rGO terdiri dari karbon, oksigen, titanium, dan aluminium. Uji fotodegradasi *E. coli* dengan metode cakram didapatkan hasil optimal pada penyinaran sinar matahari dengan lama penyinaran 6 jam dan dihasilkan diameter zona hambat sebesar 35 mm.

Kata kunci: fotokatalis, fotodegradasi, TiO₂/rGO, dan *E. coli*.

**SYNTHESIS OF TiO₂/REDUCED GRAPHENE OXIDE
COMPOSITE USING KEPOK BANANA PEELS EXTRACT
(*Musa paradisiaca L.*) FOR PHOTOCATALYTIC
DEGRADATION OF *Escherichia coli***

ABSTRACT

Faustine Naomi Dhetaya

19612078

Synthesis of TiO₂/reduced graphene oxide composites (TiO₂/rGO) using banana peels extract (*Musa paradisiaca L.*) for photocatalytic degradation of *Escherichia coli* (*E. coli*) has been carried out. The research begins with the synthesis of graphite oxide (GO) using tour method. Synthesis of reduced graphene oxide (rGO) by sonication method using banana peels extract as a reducing agent. Synthesis of TiO₂/rGO to expandi TiO₂ on rGO by hydrothermal method. Characterization with XRD show that composite was in the rutile phase, the diffraction peak was $2\theta = 27.481^\circ$ and the cristal size was 83.375 nm. GSA result showed that TiO₂/rGO was classified as type IV (mesopore) with size ranges of 2-50 nm, the BJH curve shows heterogeneous pore distribution and a surface area of 22.664 m²/g. The FTIR results obtained a typical absorption for TiO₂, named the Ti-O-Ti vibration at wave number 648.96 cm⁻¹ and a shift in TiO₂/rGO at wave number 510.50 cm⁻¹ which indicate a Ti-O-C vibration. The DRS-UV obtained band gap energy for TiO₂ of 3.15 eV and TiO₂/rGO of 3.052 eV. SEM-EDX images show the morphology of TiO₂/rGO as white lumps, smooth, and non-uniform in sizes. The compositions of TiO₂/rGO consists carbon, oxygen, titanium, and aluminium. *E. coli* photodegradation test using disc method obtained optimal in irradiation using sunlight for 6 hours and produced an clear zone diameter of 35 mm.

Keywords: photocatalyst, photodegradation, TiO₂/rGO, and *E. coli*.

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| INTISARI | vi |
| ABSTRACT | vii |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 4 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.4 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Sintesis grafena oksida tereduksi (rGO)..... | 5 |
| 2.2 Sintesis TiO ₂ /rGO..... | 7 |
| 2.3 Uji fotodegradasi bakteri <i>E.coli</i> menggunakan TiO ₂ | 9 |
| BAB III DASAR TEORI | 11 |
| 3.1 Grafit..... | 11 |
| 3.2 Limbah kulit pisang..... | 12 |
| 3.3 Fotokatalisis titanium dioksida (TiO ₂)..... | 13 |
| 3.4 <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)..... | 15 |
| 3.5 Grafit oksida (GO) dan grafena oksida tereduksi (rGO)..... | 16 |
| 3.6 Metode hidrotermal..... | 17 |
| 3.7 X-Ray Diffractometer (XRD)..... | 18 |

| | |
|--|----|
| 3.8 <i>Fourier Transform InfraRed Spectrophotometer</i> | |
| (FTIR)..... | 18 |
| 3.9 <i>Gas Sorption Analyzer (GSA)</i> | 19 |
| 3.10 <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i> | 20 |
| 3.11 <i>Transmission Electron Microscopy (TEM)</i> | 21 |
| 3.12 <i>Spectrophotometer Diffuse Reflectance-UV (DRS-UV)</i> | 22 |
| BAB IV METODE PENELITIAN | 23 |
| 4.1 Alat dan Bahan Penelitian..... | 23 |
| 4.1.1 Alat Penelitian..... | 23 |
| 4.1.2 Bahan Penelitian..... | 23 |
| 4.2 Cara Kerja..... | 23 |
| 4.2.1 Ekstraksi kulit pisang..... | 23 |
| 4.2.2 Sintesis grafit kksida (GO)..... | 24 |
| 4.2.3 Sintesis grafena oksida tereduksi (rGO)..... | 24 |
| 4.2.4 Sintesis TiO ₂ /rGO..... | 24 |
| 4.2.5 Karakterisasi TiO ₂ /rGO..... | 25 |
| 4.2.6 Uji fotodegradasi bakteri..... | 25 |
| BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN | 27 |
| 5.1 Ekstrak kulit pisang..... | 27 |
| 5.2 Sintesis GO..... | 28 |
| 5.3 Sintesis rGO..... | 29 |
| 5.4 Sintesis TiO ₂ /rGO..... | 30 |
| 5.5 Karakterisasi XRD..... | 31 |
| 5.6 Karakterisasi GSA..... | 34 |
| 5.7 Karakterisasi FTIR..... | 38 |
| 5.8 Karakterisasi DRS-UV..... | 40 |
| 5.9 Karakterisasi SEM-EDX..... | 42 |

| | |
|---|-----------|
| 5.10 Karakterisasi TEM..... | 45 |
| 5.11 Uji fotodegradasi bakteri..... | 46 |
| 5.11.1 Variasi konsentrasi TiO ₂ /rGO..... | 48 |
| 5.11.2 Variasi jenis sinar..... | 49 |
| 5.11.3 Lama waktu penyinaran..... | 52 |
| BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN..... | 54 |
| 6.1 Kesimpulan..... | 54 |
| 6.2 Saran..... | 55 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 56 |
| LAMPIRAN..... | 64 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Grafit dan GO..... | 6 |
| Gambar 3.1 Struktur grafit..... | 11 |
| Gambar 3.2 Struktur molekul pektin..... | 13 |
| Gambar 3.3 Mekanisme fotokatalisis TiO ₂ | 14 |
| Gambar 3.4 Struktur GO menjadi rGO..... | 17 |
| Gambar 3.5 Ilustrasi difraksi sinar x pada XRD..... | 18 |
| Gambar 3.6 Skema alat FTIR..... | 19 |
| Gambar 4.1 Reaktor fotokatalisis..... | 26 |
| Gambar 5.1 Ekstrak kulit pisang..... | 27 |
| Gambar 5.2 Serbuk GO..... | 29 |
| Gambar 5.3 Serbuk rGO..... | 29 |
| Gambar 5.4 Serbuk TiO ₂ /rGO..... | 31 |
| Gambar 5.5 Difraktogram GO, rGO, TiO ₂ , dan TiO ₂ /rGO..... | 31 |
| Gambar 5.6 Kurva isoterm GO, rGO, TiO ₂ , dan TiO ₂ /rGO..... | 35 |
| Gambar 5.7 Kurva BJH GO, rGO, TiO ₂ , dan TiO ₂ /rGO..... | 36 |
| Gambar 5.8 Kurva BET GO, rGO, TiO ₂ , dan TiO ₂ /rGO..... | 37 |
| Gambar 5.9 Spektra FTIR GO, rGO, TiO ₂ , dan TiO ₂ /rGO..... | 38 |
| Gambar 5.10 Spektra DRS-UV TiO ₂ dan TiO ₂ /rGO..... | 41 |
| Gambar 5.11 Hasil uji SEM GO, rGO, TiO ₂ , dan TiO ₂ /rGO..... | 43 |
| Gambar 5.12 Hasil uji TEM GO, rGO, TiO ₂ , dan TiO ₂ /rGO..... | 45 |
| Gambar 5.13 Histogram TiO ₂ , dan TiO ₂ /rGO..... | 46 |
| Gambar 5.14 Bakteri <i>E. coli</i> | 47 |
| Gambar 5.15 Variasi konsentrasi TiO ₂ /rGO..... | 48 |
| Gambar 5.16 Variasi jenis sinar..... | 49 |
| Gambar 5.17 Variasi jenis sinar..... | 50 |
| Gambar 5.18 Variasi jenis sinar..... | 50 |

| | |
|--|----|
| Gambar 5.19 Lama waktu penyinaran..... | 52 |
| Gambar 5.18 Ilustrasi fotodegradasi <i>E. coli</i> menggunakan TiO ₂ /rGO..... | 53 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 5.1 Analisis ukuran kristal pada GO, rGO, TiO ₂ , dan TiO ₂ /rGO | 33 |
| Tabel 5.2 Analisis FTIR GO, rGO, TiO ₂ , dan TiO ₂ /rGO..... | 39 |
| Tabel 5.3 Nilai <i>band gap</i> TiO ₂ dan TiO ₂ /rGO | 41 |
| Tabel 5.4 Presentase unsur material GO, rGO, TiO ₂ , dan TiO ₂ /rGO..... | 44 |
| Tabel 5.5 Zona hambat berdasarkan variasi jenis sinar..... | 51 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bakteri patogen adalah suatu mikroorganisme yang dapat menjadi salah satu sumber dari beberapa jenis penyakit yang diderita oleh makhluk hidup dan merupakan salah satu bakteri yang keberadaannya sangat tersebar luas di alam. Bakteri ini akan bekerja dalam tubuh makhluk hidup dengan cara menginfeksi yang mengakibatkan munculnya gejala-gejala yang tidak normal atau disebut sebagai gejala penyakit. Bakteri patogen terbagi menjadi dua jenis, yang pertama yaitu bakteri yang sangat patogen sehingga menyebabkan penyakit serius seperti *human immunodeficiency virus* (HIV) dan flu burung. Jenis lainnya yaitu bakteri patogen yang jarang mengakibatkan penyakit serius atau dikenal sebagai bakteri patogen oportunistik. Bakteri jenis ini hanya akan mengakibatkan dampak yang serius apabila menginfeksi makhluk hidup yang kekebalan tubuhnya rendah (Pratiwi, 2017).

Salah satu bakteri patogen yang umum ditemukan dalam tubuh makhluk hidup adalah *Escherichia coli* (*E. coli*) yang mana berada di dalam usus manusia yang memiliki peranan untuk menjaga kesehatan sistem pencernaan manusia. Beberapa jenis bakteri *E. coli* yang terdapat dalam usus manusia memang tidak berbahaya, namun beberapa jenis *E. coli* lainnya akan menghasilkan racun yang membuat infeksi pada bagian yang diserang (Tania *et al.*, 2018). Bakteri *E. coli* merupakan salah satu bakteri patogen yang dapat menghasilkan racun sehingga akan menimbulkan infeksi serius, tempat utama bakteri ini akan berkembang dengan baik yaitu terdapat pada hewan yang memakan rumput. Hal ini dikarenakan bisa saja kotoran hewan tersebut telah mencemari makanannya sendiri dan air di sekitarnya karena lingkungan hidup mereka yang bebas, penyebab utama manusia terinfeksi oleh bakteri tersebut yaitu berasal dari makanan yang dikonsumsi sehari-hari yang sudah terkontaminasi dari lingkungan luar (Wassenaar, 2018). Saat bakteri *E. coli* menginfeksi makhluk hidup, awalnya akan ada masa inkubasi yang berlangsung selama kurang lebih 3-4 hari, di sini mulai terlihat gejala-gejala seperti diare yang diikuti dengan darah dengan konsistensi ringan hingga berat. Beberapa

jenis bakteri ini akan menyebabkan diare, infeksi saluran kandung kemih, mengganggu sistem pernafasan, dan *pneumonia*. Bakteri ini tergolong bakteri patogen yang dapat menyebabkan penyakit enterik (penyakit yang disebabkan bakteri) dan sistemik (penyakit yang berkaitan dengan adanya kelainan dalam sistem metabolisme tubuh) pada makhluk hidup (Kraupner *et al.*, 2021).

Di era saat ini, berbagai teknik dan metode untuk menghasilkan suatu material yang ditujukan sebagai antibakteri mulai dikembangkan, salah satunya yaitu menggunakan metode fotokatalitik dan pemanfaatan bahan komposit. Material titanium dioksida (TiO_2) merupakan material semikonduktor yang umum digunakan dalam aplikasi proses fotokatalisis. Hal ini dikarenakan TiO_2 mempunyai beberapa keunggulan diantaranya yaitu bersifat *inert*, non toksik, memiliki kestabilan termal yang tinggi, mudah untuk dipreparasi, dan mempunyai luas permukaan yang besar. TiO_2 juga memiliki kelemahan berupa nilai *band gap* yang tinggi (3,2 eV) dan dapat mempengaruhi keefektifitasan dalam proses fotokatalisis. Berdasarkan nilai *band gap* tersebut, TiO_2 akan lemah dalam menangkap cahaya sehingga dapat menyebabkan terjadinya rekombinasi elektron saat proses fotokatalisis (Rakhmawaty *et al.*, 2017).

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi kelemahan TiO_2 , dapat dilakukan dengan cara memodifikasi TiO_2 dengan material berbasis karbon. Modifikasi ini akan menekan terjadinya rekombinasi elektron sehingga elektron yang tereksitasi tidak kembali menuju pita valensi. Hal ini disebabkan karena ikatan antara material berbasis karbon dengan TiO_2 dapat membuat nilai *band gap* berubah. Awalnya berada di daerah sinar UV maka akan bergeser ke arah sinar tampak, sehingga membuat proses fotokatalisis akan berjalan dengan baik (Wardhani *et al.*, 2016). Material yang digunakan sebagai sumber karbon dan berfungsi juga sebagai agen pereduksi dalam sintesis adalah limbah kulit pisang. Senyawa dalam kulit pisang yang dapat dimanfaatkan sebagai agen pereduksi adalah pektin, dalam kulit pisang terkandung 24,08% pektin. Pektin merupakan senyawa biodegradabel (senyawa yang dapat terurai secara alami) yang dapat

digunakan sebagai agen pereduksi yang baik untuk biosintesis (Khamsucharit *et al.*, 2018).

Ekstrak kulit pisang memiliki banyak manfaat seperti antioksidan, antiinflamasi, dan antimikroba. Selama ini kulit pisang hanya dianggap sebagai limbah organik biasa yang sudah tidak memiliki nilai guna sama sekali, padahal di dalam kulit pisang terdapat berbagai kandungan yang apabila dimanfaatkan dengan benar bisa digunakan dalam beberapa proses, salah satunya yaitu pektin yang dapat digunakan dalam sintesis TiO₂ sebagai agen pereduksi. Agen pereduksi merupakan suatu zat yang dalam reaksi reduksi-oksidasi (redoks) berperan untuk menyumbangkan elektronnya untuk zat lainnya, dimana zat yang menerima elektron akan mengalami reduksi sedangkan zat pereduksinya akan menjadi teroksidasi (Adhayanti *et al.*, 2018).

Grafena merupakan suatu material berbasis karbon dan hingga saat ini pemanfaatan grafena terus mengalami perkembangan untuk proses fotokatalisis. Grafena oksida tereduksi (rGO) merupakan hasil reduksi dari grafit oksida (GO). Kelebihan dari rGO yang membuat material ini memiliki banyak potensi untuk dikembangkan dan mempunyai banyak manfaat. rGO melalui proses transfer elektron dapat digunakan untuk menyimpan elektron, memiliki sifat yang mirip dengan grafena karena rGO merupakan hasil proses reduksi dari atom-atom oksigen dan hidrogen grafena yang mengalami oksidasi, selain itu rGO juga memiliki peranan pada proses aktivitas dalam reaksi fotokatalitik (Hidayah *et al.*, 2017).

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan di atas, masih belum ada penelitian yang secara khusus dilakukan dalam pemanfaatan ekstrak kulit pisang yang berpotensi sebagai suatu material sintesis, sehingga pada penelitian ini akan membahas mengenai sintesis komposit TiO₂/grafena oksida tereduksi menggunakan ekstrak kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca L.*) untuk degradasi fotokatalitik bakteri *E. coli*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara sintesis komposit TiO₂/grafena oksida tereduksi menggunakan ekstrak kulit pisang kepok?
2. Bagaimana karakteristik komposit TiO₂ pada grafena oksida tereduksi ekstrak kulit pisang kepok?
3. Bagaimana kemampuan TiO₂/grafena oksida tereduksi ekstrak kulit pisang kepok sebagai fotokatalis pada degradasi bakteri *E. coli*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui cara sintesis komposit TiO₂/grafena oksida tereduksi menggunakan ekstrak kulit pisang kepok.
2. Mengetahui karakteristik komposit TiO₂ pada grafena oksida tereduksi ekstrak kulit pisang kepok.
3. Mengetahui kemampuan TiO₂/grafena oksida tereduksi ekstrak kulit pisang kepok sebagai fotokatalis pada degradasi bakteri *E. coli*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat menjadi sumber inovasi terbaru untuk degradasi bakteri *E. coli* melalui proses fotokatalitik.
2. Dengan memanfaatkan limbah kulit pisang, diharapkan dapat mengurangi kuantitas limbah di lingkungan.
3. Mendapatkan wawasan baru mengenai material grafena oksida tereduksi yang dapat dimanfaatkan pada berbagai bidang.

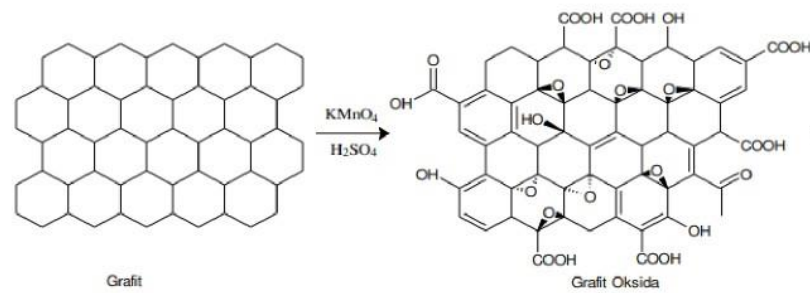
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sintesis grafena oksida tereduksi (rGO)

Sintesis grafena oksida tereduksi (rGO) hingga saat ini telah mulai banyak dikembangkan dalam penelitian-penelitian melalui berbagai metode. Metode yang biasa digunakan adalah metode Hummers yang merupakan suatu metode oksida kimia dengan mencampurkan bubuk grafit dengan natrium nitrat (NaNO_3) ke dalam larutan asam sulfat (H_2SO_4). Metode tersebut terbilang metode sederhana tetapi memiliki kelemahan yaitu menghasilkan gas toksik seperti nitrogen oksida (NO_2) dan nitrogen tetroksida (N_2O_4) karena adanya penggunaan NaNO_3 dan grafit oksida (GO) yang dihasilkan sedikit. Metode lainnya yaitu metode Tour. Pada metode ini, tidak menggunakan NaNO_3 , material yang digunakan juga tidak menghasilkan produk samping. GO yang dihasilkan lebih baik karena tidak banyak penyusutan, oleh karena itu, metode Tour lebih baik daripada metode Hummers (Hidayat *et al.*, 2019).

Penggunaan metode Tour perlu adanya pengaturan suhu oksida, selain itu juga material pendukung yang biasa digunakan meliputi asam sulfat (H_2SO_4), asam fosfat (H_3PO_4), dan kalium permanganat (KMnO_4) sebagai agen pengoksidasi yang kuat. GO yang diperoleh kemudian direduksi menggunakan ekstrak kulit pisang yang berperan sebagai agen pereduksi dan didapatkan rGO. Ekstrak kulit pisang baik digunakan sebagai bioreduktor karena mengandung senyawa pektin yang mana senyawa tersebut dapat digunakan sebagai agen pereduksi yang baik (Tuhuloula *et al.*, 2013). Titanium dioksida (TiO_2) apabila dimodifikasi dengan rGO maka keefektifitasannya dalam proses fotokatalisis akan meningkat, hal ini dikarenakan rGO dapat menekan proses rekombinasi dalam fotokatalisis. TiO_2 memiliki sifat sebagai sebuah pigmen dan penghambat UV, sehingga banyak digunakan sebagai prekursor dan katalis (Wang *et al.*, 2019). Gambar 2.1 merupakan perubahan struktur material pada grafit menjadi GO melalui proses oksidasi.



Gambar 2.1 Grafrit dan GO (Priyadarsini *et al.*, 2018)

Penelitian oleh Suryani, (2022) membahas mengenai sintesis rGO dengan ekstrak daun matoa sebagai agen pereduksi. Sintesis dilakukan menggunakan metode Hummers dan diaplikasikan untuk adsorpsi zat warna metilen biru. Penggunaan ekstrak tumbuhan menjadi salah satu cara terbaik untuk mendapatkan rGO tanpa menggunakan bahan kimia yang bersifat toksik. Tumbuhan yang digunakan pada sintesis biasanya mengandung senyawa metabolit seperti saponin, alkaloid, dan flavonoid. Daun matoa sendiri diketahui memiliki gugus fungsi saponin, flavonoid, dan fenol. Material hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan FTIR dan diperoleh gugus fungsi C=C, C-O, O-H, dan C-H. karakterisasi Raman diperoleh puncak D pada area 1354 cm^{-1} dan puncak G pada 1592 cm^{-1} . Material efektif mengadsorpsi metilen biru sebesar 58% pada konsentrasi 30 ppm dengan waktu kontak 45 menit.

Sintesis hijau rGO menggunakan reduktor ramah lingkungan berupa asam askorbat telah dilakukan oleh Putri *et al.*, (2023). Prekursor yang digunakan pada penelitian ini yaitu arang tempurung kelapa dan kayu. Sintesis rGO dilakukan menggunakan metode Hummers, hasil dikarakterisasi menggunakan spektroskopi Raman dan infra merah. Spektra Raman menunjukkan puncak khas pita D (modus vibrasi berkaitan dengan struktur normal grafit) di bilangan gelombang 1340 cm^{-1} dan pita G (modus vibrasi berkaitan dengan struktur normal grafit) pada bilangan gelombang 1590 cm^{-1} . Pada spektra IR yang terdeteksi berupa gugus fungsi C-O, C=C, C=O, dan O-H.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai rGO telah banyak dikembangkan, seperti penelitian oleh Kotsyubynsky *et al.*, (2021) mengenai

sintesis GO. Pada penelitian ini, proses sintesis menggunakan metode Hummers, Tour, dan modifikasi antara keduanya. Material dasar yang digunakan berupa bubuk grafit yang berwarna hitam pekat dan berkilau. Hasil penelitian dikarakterisasi menggunakan XRD dan didapatkan hasil untuk metode Hummers serta Tour ukuran kristal berkisar dari 6-7 nm, terdiri dari 4-5 lapisan grafit. Hasil dari metode modifikasi antara Tour dan Hummers partikel kristal berukuran 1,8 nm dengan 5-6 lapisan grafena.

Penelitian oleh Ruid *et al.*, (2020) membahas mengenai proses sintesis rGO-TiO₂ yang dilakukan dengan metode hidrotermal dan material diaplikasikan untuk degradasi etilparaben (EtP). Penelitian ini, dilakukan beberapa variasi konsentrasi rGO yaitu 4%, 7%, 10%, dan 30%. Hasil kemudian dianalisis menggunakan XRD, didapatkan ukuran partikel (17,6-19,7 nm) ukuran terkecil ada pada rGO dengan konsentrasi 7%. Hasil FTIR berupa gugus fungsi dalam sampel rGO yaitu C=O (1717 cm⁻¹), C-O-C (1035 cm⁻¹), gugus OH dan ikatan Ti-O-Ti. Untuk Aktivitas fotokatalitik yang paling optimal terjadi pada konsentrasi 7% rGO- TiO₂ dengan kemampuan degradasi sebesar 98,6% setelah 40 menit penyinaran di bawah radiasi UV.

Terdapat penelitian mengenai sintesis GO menggunakan metode Hummers dan diaplikasikan untuk pengujian antibakteri menggunakan metode difusi sumur. Penelitian ini dilakukan oleh Sjahriza & Herlambang (2021), hasil yang didapatkan dianalisis menggunakan PSA untuk mengetahui ukuran partikel dan didapatkan hasil sebesar 33,79 nm. Karakterisasi selanjutnya menggunakan spektrofotometer UV-Vis yang menunjukkan puncak serapan oksida grafena (232 nm) dan terdapat hasil FTIR yang menunjukkan adanya gugus fungsi C-H, C-O, O-H, dan C=O. Terakhir dikarakterisasi dengan XRD, menampilkan sampel GO mempunyai kristalinitas 6,85% (amorf).

2.2 Sintesis TiO₂/rGO

Sintesis suatu material untuk fotokatalisis banyak menggunakan material TiO₂ sebagai salah satu material semikonduktor oksida. Hal ini dikarenakan banyaknya keunggulan yang dimiliki oleh TiO₂ seperti mudah didapatkan,

harganya terjangkau, bersifat *inert*, tidak toksik, memiliki luas permukaan yang tinggi, dan kestabilan termalnya cukup tinggi. TiO₂ juga memiliki kelemahan yang dapat mengurangi keefektifitasannya sebagai material dalam proses fotokatalitik, kelemahan tersebut adalah besarnya nilai *band gap* material tersebut yaitu sebesar 3,2 eV dengan nilai tersebut akan membuat TiO₂ terbatas dalam pengaplikasiannya (Marjoni *et al.*, 2020). Upaya yang dapat dilakukan untuk memaksimalkan kerja TiO₂ adalah dengan cara memperkecil nilai celah pita atau *band gap* supaya penyerapan cahaya pada sinar tampak dapat dilakukan secara maksimal dan efisien. Salah satu caranya yaitu dengan penambahan suatu material berbasis karbon yang mana dalam penelitian ini menggunakan kulit pisang kepok. Melalui penambahan material tersebut diharapkan dapat memaksimalkan fungsi TiO₂ sebagai material dalam proses fotokatalisis (Rahmawati & Kusumawati, 2020).

Penelitian oleh Wahyuningsih *et al.*, (2020) membahas mengenai sintesis grafena oksida tereduksi yang tedoping dengan nitrogen dan sulfur sebagai elektroda lawan pada sistem *dye sensitized solar cell* (DSSC). Amonium thiosianat digunakan sebagai material untuk menghasilkan nitrogen dan sulfur sebagai suatu dopan. Manfaat dari dopan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah rGO yang dihasilkan terjadi pergeseran puncak difraktogram pada $2\theta=24,97^\circ$ (002) sehingga mempengaruhi struktur rGO. Hasil uji material rGO-NS sebagai suatu elektroda menunjukkan efektivitas mencapai 0,1268%.

Penelitian oleh Nainani & Thakur (2016) mengenai sintesis nanokomposit TiO₂/rGO menggunakan metode Hummers yang digunakan dalam degradasi zat warna metilen biru. Diperoleh hasil paling optimal untuk degradasi yaitu pada rasio 1:10 (rGO:TiO₂) dilihat dari hasil karakterisasi menggunakan spektrofotometri uv-vis. Material menghasilkan struktur dan sifat listrik yang baik. Hasil karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan terbentuknya fase anatase pada rasio tersebut. Selain itu, komposit TiO₂/rGO memberikan peningkatan penyerapan rentang cahaya tetapi tidak adanya perubahan nilai celah pita.

2.3 Uji fotodegradasi bakteri *E. coli* menggunakan TiO₂

Penelitian yang telah dilakukan oleh Suharko *et al.*, (2017) mengenai inaktivasi *Escherichia coli* (*E. coli*) dengan fotokatalitik TiO₂ untuk pengolahan air minum, menyatakan bahwa penggunaan fotokatalitik TiO₂ cukup efektif untuk menghilangkan berbagai komponen organik yang patogen. Selama ini untuk inaktivasi mikroorganisme dalam air menggunakan klorin. Penggunaan klorin menghasilkan zat toksik yaitu *chloro-organic disinfection* yang merupakan hasil samping dari reaksi klorin dengan *natural organic matter* (NOM). TiO₂ kontak langsung dengan bakteri, metode ini memiliki kelemahan yaitu perlu adanya pengadukan bertahap untuk kontak TiO₂ dan mikroorganisme yang digunakan menjadi efektif dan pada tahap akhir katalis TiO₂ yang terperangkap dalam cairan harus dipisahkan. Karakterisasi untuk mengetahui keberhasilan inaktivasi dilakukan melalui analisis SEM yaitu dihasilkan morfologi sel membran yang mengalami kerusakan.

Penelitian oleh Joost *et al.*, (2015) yang membahas mengenai aktivitas antibakteri fotokatalitik berbasis nano-TiO₂ film tipis pada bakteri *E. coli*, didapatkan hasil optimal setelah 20 menit penyinaran dengan lampu UV. Hasil karakterisasi menggunakan SEM menunjukkan adanya kerusakan pada sel bakteri yang telah disinari selama 20 menit, dengan adanya perubahan pada morfologi yang dihasilkan. Tetapi penggunaan metode ini tidak dapat diterapkan pada semua kondisi bakteri, paparan lampu UV dapat seketika langsung membunuh mikroorganisme yang di uji.

Berdasarkan beberapa penelitian di atas, dapat diketahui bahwa sintesis rGO dapat dilakukan melalui beberapa metode seperti Hummers, Tour, dan kombinasi antara keduanya. Hasil yang didapatkan menyatakan bahwa metode Tour lebih baik digunakan dalam sintesis grafena oksida. Grafena oksida tereduksi dapat diperoleh dari material dasar berupa bubuk grafit, untuk karakterisasi hasil sintesis dapat menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) yang digunakan untuk mengetahui ukuran partikel material, *Fourier Transform InfraRed Spectrophotometer* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam grafena oksida tereduksi seperti C-

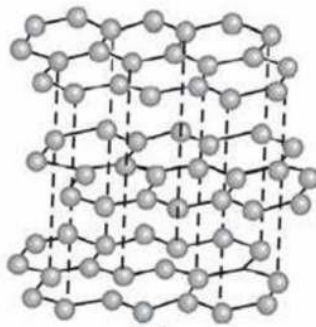
H, C-O, O-H, dan C=O, GSA digunakan dalam analisis untuk mengetahui ukuran partikel grafen oksida tereduksi, dan *Spectrophotometer Diffuse Reflectance-UV* (DRS-UV) yang digunakan untuk mengetahui nilai celah pita pada material TiO₂ dan TiO₂/rGO yang telah disintesis. Karakterisasi uji antibakteri dapat dilakukan melalui instrumen Scanning Elektron Microscope (SEM) guna mengetahui morfologi sel membran pada mikroorganisme yang mulai rusak.

BAB III

DASAR TEORI

3.1 Grafit

Grafit adalah salah satu mineral alami yang tersusun dari atom karbon (C). Merupakan nanomaterial yang berbentuk dua dimensi, grafena memiliki karakteristik meliputi titik lebur yang tinggi yaitu 4.026 °C yang mana akan melebur dari bentuk awal berupa padatan langsung berubah menjadi gas (sublimasi). Ciri-ciri yang dimiliki grafit yaitu seperti logam yang berkilau, berwarna hitam, merupakan konduktor listrik yang baik karena memiliki elektron bebas. Grafit tidak larut dalam air dan sebagian besar pelarut organik lainnya, selain itu grafit padat juga tidak dapat larut dalam pelarut polar atau non polar (Ailin *et al.*, 2017). Grafit menjadi salah satu alotrop (bentuk struktural lain dari suatu unsur) karbon yang terkenal dan merupakan alotrop karbon yang paling stabil karena elektron tidak terikat dalam struktur grafit terdelokalisasi disetiap atom karbon. Bentuk struktur grafit yaitu berlapis dengan ikatan yang lemah maka membuat antar lapisan mudah tergelincir. Grafit tersusun hanya dari atom karbon maka keelektronegatifannya sama dan tidak menunjukkan momen dipol, sehingga grafit termasuk molekul nonpolar (Tiwari *et al.*, 2020).



Gambar 3.1 Struktur grafit (Taufantri *et al.*, 2016)

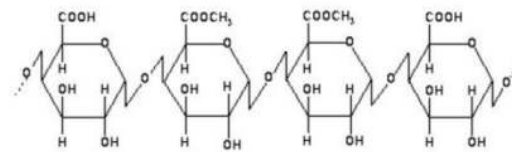
Pemanfaatan grafit meliputi sebagai bahan utama dari isi pensil, bahan baku pada baterai ion yang berperan sebagai tempat lithium-ion untuk anodanya, penangkap dan penyimpan energi (ultrakapasitor). Grafit juga banyak digunakan sebagai bahan pembuat rompi anti peluru, bahan campuran cat, bahan anti karat

karena grafit memiliki sifat tidak bereaksi dengan air, pelumas mesin karena dapat mengurangi adanya gesekan antara dua permukaan tanpa membutuhkan oli. Ikatan antaratom karbon yang terkandung dalam grafit sangat kuat maka banyak dimanfaatkan sebagai salah satu komponen dalam pembentukan komposit (Thebora *et al.*, 2020).

3.2 Limbah kulit pisang

Limbah kulit buah adalah salah satu residu dari buah-buahan yang menjadi sumber utama limbah padat organik dalam lingkungan, kulit pisang juga salah satu bagian didalamnya. Limbah kulit buah ini merupakan fitokimia bioaktif yang banyak mengandung senyawa antioksidan, senyawa fenolik, karotenoid, dan lain sebagainya. Kulit buah mengandung senyawa polifenol dan flavonoid terbesar pada buah apabila dibandingkan dengan bagian lainnya seperti biji dan daging buah itu sendiri (Mahmoudi *et al.*, 2020).

Kandungan komponen kimia yang terdapat dalam kulit pisang meliputi air (68,90%), karbohidrat (18,50%), dan sisanya yaitu lemak, protein, kalsium, kalium, fosfor, zat besi, vitamin B, serta vitamin C dengan jumlah yang sedikit (Masriatini *et al.*, 2020). Kulit pisang juga mengandung senyawa fenolik seperti tanin, katekin, dan flavonoid sehingga memiliki kemampuan reduksi yang baik. Kulit pisang menjadi salah satu alternatif untuk agen pereduksi organik dalam suatu proses sintesis. Senyawa fenolik merupakan senyawa yang terdapat dalam tumbuhan yang didalamnya memiliki gugus hidroksi yang terikat pada cincin aromatik. Senyawa tersebut bermanfaat sebagai antioksidan, antikanker, antikarsinogenik, dan antimikroba (Adhayanti *et al.*, 2018). Senyawa pektin yang terkandung dalam kulit pisang kepok sebanyak 1,92-3,25% dari jumlah total senyawa yang terkandung dalam kulit pisang. Pektin merupakan salah satu senyawa polisakarida, tersusun atas asam pektat, protopectin, dan asam pektinat. Gugus karbonil dalam kulit pisang menjadi salah satu gugus aktif yang dapat dimanfaatkan sebagai agen pereduksi. Karakteristik dari pektin dipengaruhi oleh metode ekstraksi, senyawa ini banyak digunakan dalam bidang farmasi dan sintesis kimia.



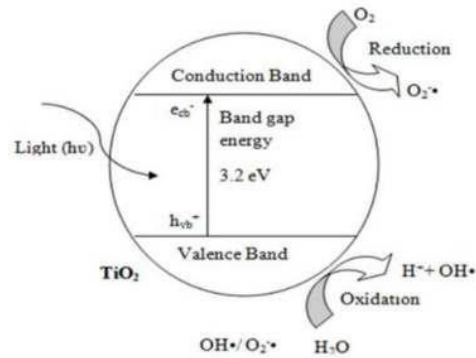
Gambar 3.2 Struktur molekul pektin (Widodo *et al.*, 2019)

3.3 Fotokatalisis titanium dioksida (TiO₂)

Fotokatalisis adalah suatu proses fotokimia yang memerlukan bantuan dari adanya radiasi sinar ultraviolet (UV) yang dibantu dengan sebuah katalis semikonduktor pada suatu reaksi transformasi kimia. Transformasi ini akan terjadi di permukaan material semikonduktor yang digunakan, dalam prosesnya reaksi tersebut berlangsung melalui reaksi reduksi dan oksidasi (Suryandari *et al.*, 2019). Material fotokatalisis dapat dinyatakan sebagai teknologi ramah lingkungan hal ini dikarenakan dapat memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber sinar UV (Aliah & Karlina, 2015). Fotokatalisis banyak diaplikasikan dalam proses sintesis kimia, degradasi limbah, pengolahan limbah baik anorganik maupun limbah organik, dan digunakan dalam penjernihan limbah tekstil (Skov *et al.*, 2021).

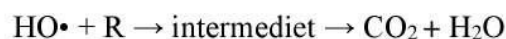
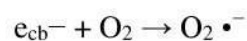
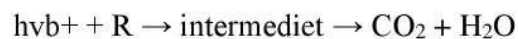
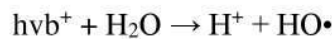
Material katalis semikonduktor yang paling banyak dan umum digunakan yaitu TiO₂. TiO₂ merupakan salah satu material semikonduktor yang memiliki sifat *inert* (material yang tidak bereaksi secara kimia), secara kimia sangat stabil, tidak beracun, mudah didapatkan, harganya terjangkau dan memiliki aktivitas fotokatalitik yang tinggi (Nur *et al.*, 2017). TiO₂ juga memiliki kelemahan sebagai suatu material katalis semikonduktor seperti nilai *band gap* yang cukup besar yaitu 3,2 eV. Nilai tersebut setara dengan panjang gelombang sinar UV yaitu < 400nm. TiO₂ yang berperan sebagai fotokatalis akan menjadi lemah dalam menangkap cahaya sehingga selama proses fotokatalisis berlangsung akan mengakibatkan terjadinya rekombinasi elektron. Hal ini akan mempengaruhi keefektivitasan fotokatalisis di bawah sinar matahari, oleh karena itu perlu adanya modifikasi material TiO₂. Modifikasi dapat dilakukan dengan suatu material yang berbasis karbon, dimana karbon dengan TiO₂ dapat membuat nilai *band gap* bergeser dari

yang awalnya pada serapan sinar UV akan bergeser menuju serapan sinar tampak (Hidayati *et al.*, 2021).



Gambar 3.3 Mekanisme fotokatalisis TiO₂ (Sujatha *et al.*, 2020)

Berdasarkan Gambar 3.3, mekanisme fotokatalisis akan melibatkan adanya penyerapan energi dari cahaya yang nilainya sama atau lebih besar dari energi *band gap* TiO₂ yang mengarah pada pembentukan *hole*. Proses mekanisme reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Mekanisme yang terjadi selama proses fotokatalisis yaitu terciptanya pasangan *electron-hole* yang berperan sebagai agen aktif pada permukaan katalis semikonduktor saat material tersebut terinduksi oleh radiasi sinar UV. OH radikal yang terbentuk memiliki peran sebagai komponen yang bertanggung jawab dalam oksidasi untuk mendegradasi selama fotokatalisis. Faktor penentu kemampuan TiO₂ sebagai material fotokatalis diantaranya yaitu muatan katalis, suhu, waktu radiasi UV, dan keberadaan material ionik.

3.4 *Escherichia coli* (*E. coli*)

Bakteri adalah suatu organisme uniseluler atau bersel tunggal yang keberadaanya dalam bumi sangat melimpah dan tersebar di berbagai lingkungan apabila dibandingkan dengan organisme lainnya. Spesies bakteri sangat banyak hingga dapat mencapai ratusan ribu, bakteri juga tidak memiliki membran inti sel, tetapi memiliki dinding sel walaupun tidak mengandung klorofil (Febriza *et al.*, 2021). Klasifikasi bakteri dapat dilakukan melalui berbagai sisi atau aspek, salah satu klasifikasi yang banyak digunakan yaitu melalui pewarnaan gram. Klasifikasi ini menjadi suatu prosedur dasar dalam mikrobiologi yang digunakan untuk mengidentifikasi suatu bakteri (Bulele *et al.*, 2019).

Melalui pewarnaan gram, bakteri dibedakan menjadi dua jenis yaitu bakteri gram positif dan gram negatif. Pada bakteri gram positif dengan adanya pewarnaan gram maka golongan bakteri ini akan menghasilkan warna ungu walaupun sudah dicuci dengan alcohol. Bakteri gram negatif tidak akan mengikat senyawa kristal ungu setelah dicuci dengan alkohol sehingga sel gram negatif akan mengikat warna kontras atau warna akhirnya berupa warna merah. Perbedaan lainnya terletak pada struktur penyusun dinding selnya yang tersusun dari peptidoglikan, yang mana peptidoglikan pada bakteri gram positif lebih tebal daripada milik bakteri gram negatif (Mukodiningsih *et al.*, 2019). Contoh dari bakteri gram positif meliputi genus *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Mycobacterium*, dan *Clostridium*. Bakteri gram negatif meliputi *Escherichia*, *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Neisseria*, *Treponema*, dan *Campylobacter* (Savitri *et al.*, 2019).

E. coli merupakan bakteri yang tergolong dalam spesies bakteri gram negatif dan masuk ke dalam kelompok bakteri *Enterobacteriaceae*. Beberapa bakteri ini juga merupakan bakteri patogen yaitu suatu mikroorganisme merugikan bagi manusia dan makhluk hidup lainnya karena dapat menjadi penyebab infeksi dalam tubuh. Bakteri patogen juga akan menyerang manusia sehingga menimbulkan penyakit saat sistem kekebalan tubuh manusia menurun. Bakteri menginfeksi dengan cara menghasilkan zat toksin, merusak jaringan tubuh atau bahkan akan berkembangbiak sehingga mengganggu pertumbuhan sel tubuh

(Burhanuddin , 2021). *E. coli* dapat hidup di dalam usus besar manusia dan merupakan bakteri enterik. Awalnya bakteri enterik tidak akan menimbulkan penyakit apabila tetap berada dalam usus besar. Apabila bakteri tersebut masuk ke dalam bagian tubuh lainnya maka akan menyebabkan penyakit berupa infeksi pada saluran pencernaan manusia dan menjadi penyebab penyakit diare, mual, dan sakit perut (Dewi *et al.*, 2021).

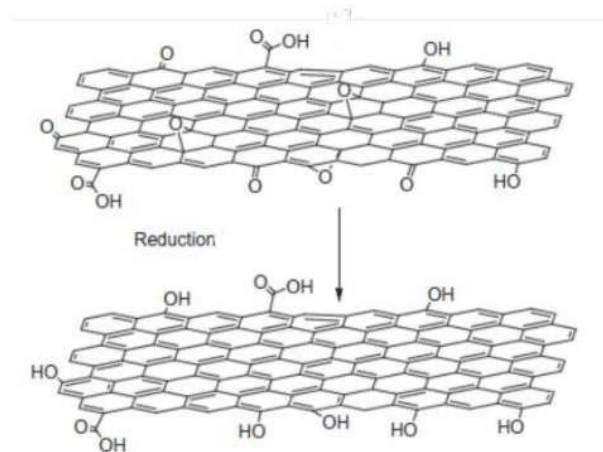
3.5 Grafit oksida (GO) dan grafena oksida tereduksi (rGO)

Grafit oksida (GO) adalah nanomaterial yang berlapis dan terdiri dari lembaran-lembaran *graphene* beroksigen hidrofilik yang mana didasarnya terdapat gugus fungsi epoksida dan hidroksil. Struktur berupa kristal *honeycomb* (sarang lebah) yang dihasilkan dari hibridisasi sp^2 oleh lapisan karbon, selain itu grafena oksida menjadi turunan grafena yang paling mudah disintesis (Jahriza & Erlambang, 2021). Sifat yang dimiliki GO dipengaruhi oleh adanya struktur kimianya yaitu berupa domain karbon sp^2 yang mana disekitarnya terdapat domain karbon sp^3 dengan oksigen yang memiliki gugus fungsi hidrofilik. Karakteristik utama yang dimiliki GO yaitu menghasilkan koloid berair yang cukup stabil sehingga dapat digunakan untuk memperkuat struktur makroskopik, sangat hidrofilik. Sintesis GO dapat memanfaatkan grafit yang murah untuk bahan dasarnya kemudian diolah melalui metode kimia yang hemat biaya akan tetapi tetap menghasilkan kemurnian yang tinggi (Riani *et al.*, 2020).

GO sudah banyak digunakan pada berbagai bidang, seperti sebagai pengganti oksida timah yang digunakan pada baterai kering. Luas permukaan GO cukup tinggi oleh karena itu dapat digunakan sebagai bahan elektroda kapasitor dan solar *cell*. Pengaplikasian yang lainnya yaitu digunakan untuk campuran material komposit, hal ini bertujuan untuk meningkatkan sifat material tersebut meliputi elastisitas, konduktivitas, dan kekuatan tariknya. (Idisi *et al.*, 2021).

Grafena oksida tereduksi (rGO) merupakan hasil reduksi yang berasal dari lembaran GO. Perbedaan diantara kedua material tersebut adalah apabila dalam GO memiliki gugus fungsi yang mengikat oksigen didalamnya maka pada rGO tidak

memuat suatu gugus fungsi yang berikatan dengan oksigen. Pada proses pembuatan rGO akan melalui proses reaksi oksidasi reduksi grafena (Marcelina *et al.*, 2017).



Gambar 3.4 Struktur GO menjadi rGO (Kusumattaqiin *et al.*, 2020)

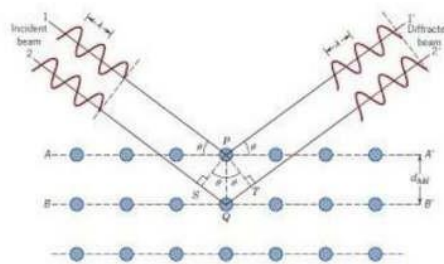
3.6 Metode hidrotermal

Sintesis menggunakan metode hidrotermal adalah suatu teknik untuk kristalisasi suatu material yang berasal dari fasa larutan dengan memanfaatkan suhu dan tekanan yang cukup tinggi. Metode ini menjadi salah satu metode yang mengandalkan kemampuan kelarutan suatu mineral dalam air dengan kondisi suhu dan tekanan tinggi (Manjunatha *et al.*, 2019). Proses pelarutan dan proses kristalisasi perlu dilakukan dalam suatu bejana khusus yang biasanya disebut autoklaf. Berupa suatu wadah berbahan dasar baja sehingga akan tahan terhadap tekanan dan suhu tinggi. Melalui metode ini, kristal bisa terbentuk karena adanya gradien temperatur yang sudah diatur dengan baik sehingga membuat bagian panas mengalami reaksi larutan dan untuk daerah yang lebih dingin akan mengalami proses pengendapan kristal yang akan terbentuk. Kelebihan dari metode hidrotermal yaitu menghasilkan partikel yang memiliki kristalinitas baik, mempunyai kemurnian tinggi, distribusi partikel homogen, dan temperatur akan relatif rendah untuk reaksi (Tadic *et al.*, 2019).

3.7 X-Ray Diffractometer (XRD)

X-Ray Diffractometer (XRD) merupakan salah satu teknik analisis cepat non destruktif yang banyak digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik kristal pada suatu material. Memberikan informasi mengenai dimensi unit sel, syarat material yang dapat dianalisis menggunakan XRD yaitu bahan berupa padatan bubuk (*powder*) atau berupa lembaran padatan (Sumari *et al.*, 2020). Informasi yang akan didapatkan dari analisis menggunakan XRD meliputi ukuran kristal, informasi mengenai struktur kristal material padatan termasuk geometri dan konstanta kisi, fasa yang terbentuk, dan identifikasi material yang belum diketahui (Christyaningsih, 2020).

Prinsip kerja XRD mengikuti prinsip hukum *bragg* yaitu mendifraksi cahaya yang akan melewati celah kisi, dimana difraksi tersebut dapat terjadi apabila radius panjang gelombang setara dengan jarak antar atom yang mana berkisar sebesar 1 \AA , pada instrument ini radiasi yang digunakan berasal dari radiasi sinar x, neutron, dan elektron (Rigel, 2019). Sinar x yang berinteraksi dengan suatu material, Sebagian berkasnya akan diabsorpsi, ditransmisikan, dan sebagian sisanya akan dihamburkan terdifraksi yang mana akan terdeteksi dalam XRD, untuk berkas yang dihamburkan apabila memiliki fasa yang sama maka akan saling menguatkan, sebaliknya apabila fasanya berbeda maka akan saling menghilangkan (Wicaksono *et al.*, 2017).

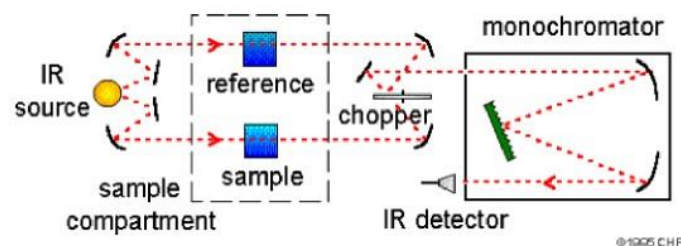


Gambar 3.5 Ilustrasi difraksi sinar x pada XRD (Christyaningsih, 2020)

3.8 Fourier Transform InfraRed (FTIR)

Fourier Transform InfraRed (FTIR) merupakan salah satu instrumen dalam laboratorium yang dapat digunakan untuk menganalisis gugus fungsi suatu material

dengan menjabarkan struktur senyawa kimianya, dapat melihat pergerakan antar molekul dengan radius elektromagnetik pada bilangan gelombang $13.000-10\text{ cm}^{-1}$, FTIR sering digunakan untuk analisis senyawa organik baik secara kuantitatif untuk mengetahui konsentrasi analit yang terdapat dalam sampel, maupun secara kualitatif yang berfungsi untuk identifikasi senyawa beserta gugus fungsi dalam suatu senyawa (Petit & Puskar, 2018). Prinsip kerja pada instrument FTIR yaitu adanya interaksi antara energi dan materi, dimana ketika FTIR beroperasi *infrared* akan menuju sampel melewati suatu celah yang berfungsi untuk mengontrol jumlah energi yang nantinya akan ditangkap oleh sampel, sebagian *infrared* akan terserap oleh sampel dan sebagian sisanya tidak terserap, maka *infrared* yang tidak terserap ini akan dipindahkan melalui permukaan sampel yang bertujuan agar sinar tersebut dapat masuk ke detektor untuk selanjutnya diukur dan direkam oleh komputer (Andriansyah *et al.*, 2021).



Gambar 3.6 Skema alat FTIR (Rifai *et al.*, 2019)

3.9 Gas Sorption Analyzer (GSA)

Gas Sorption Analyzer (GSA) adalah salah satu instrumen karakterisasi suatu material yang dapat memberikan berbagai informasi dalam pengukuran fisik meliputi luas permukaan, jari-jari pori, volume pori, dan distribusi pori padatan untuk mengetahui karakterisasi suatu material, syarat material agar dapat dianalisis menggunakan GSA yaitu material padatan berpori seperti silika, material organik, material karbon, zeolit, dan lain-lainnya (Saxena *et al.*, 2019). Prinsip dasar yang digunakan dalam instrumen GSA adalah dengan mekanisme adsorpsi gas dalam permukaan suatu material padat yang diatur dengan berbagai tekanan dan suhu yang konstan atau dalam keadaan *isotherm*, untuk gas yang umum digunakan dalam

GSA akan dibedakan berdasarkan ukuran porinya seperti helium yang digunakan untuk mikropori ($< 20\text{\AA}$), untuk mesopori ($20\text{-}500\text{\AA}$) menggunakan nitrogen, dan untuk makropori ($> 500\text{\AA}$) menggunakan gas argon (Koestiari, 2013).

Pada GSA terdapat dua komponen utama yang menyusun alat tersebut yaitu *degasser* dan *analyzer*, *degasser* memiliki fungsi dalam perlakuan awal terhadap sampel padatan yang diuji yaitu terjadi proses *degassing* dengan cara menghilangkan zat-zat pengganggu atau pengotor seperti air dan zat volatil yang masih terperangkap dalam permukaan material padatan tersebut, selanjutnya untuk proses analisis dilakukan dalam kondisi *isotherm* pada berbagai variasi tekanan dan suhu yang konstan, pada tahap ini *port gas* yang ada didalam *analyzer* akan dihubungkan dengan sampel sel yang berisi material uji yang telah melewati proses *degassing* (Memon *et al.*, 2020).

3.10 Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan salah satu jenis mikroskop elektron yang menghasilkan suatu gambar dari sampel yang dianalisis dengan sistem pemindaian permukaan sampel menggunakan sinar elektron yang akan terfokus pada perbesaran mencapai skala tertentu, nantinya elektron yang berinteraksi dengan atom yang terdapat dalam sampel akan menghasilkan sinyal-sinyal yang memuat informasi mengenai topografi permukaan, mengetahui mikrostruktur material padat, dan juga komposisi sampel (Koestiari, 2013). Analisis menggunakan SEM dapat menghasilkan karakteristik berbentuk tiga dimensi yang bermanfaat dalam penentuan struktur permukaan sampel yang dianalisis, data yang didapatkan dari analisis menggunakan SEM berupa jenis atau unsur-unsur mineral yang terdapat dalam sampel (Idris & El-Zahhar, 2019).

Prinsip analisis dengan SEM yaitu deteksi elektron yang akan dihamburkan oleh suatu material sampel padatan yang mana elektron akan dihasilkan dari tembakan elektron gun yang bersifat monokromatik dan pancaran dari elektron akan melewati lensa kondensor kemudian diteruskan menuju anoda yang berfungsi untuk membatasi pancaran elektron yang mempunyai sudut hamburan besar, berkas

elektron tersebut kemudian akan diteruskan ke dalam lensa *magnetic, scanning coils*, dan akan menembak tepat pada sampel (Ashfaq *et al.*, 2020).

Energy Dispersive X-Ray (EDX) adalah salah satu metode standar yang menjadi instrumen pendukung dalam SEM, berfungsi untuk menganalisis unsur kimia dalam suatu material yang sangat kecil atau berperan sebagai detektor, selama analisis menggunakan EDX partikel yang bermuatan tinggi baik elektron ataupun proton akan difokuskan ke dalam sampel yang sedang dianalisis, kemudian berkas elektron akan dibawa melewati sampel yang nantinya akan menghasilkan gambar elemen dalam sampel (Gniadek & Dąbrowska, 2019).

Analisis menggunakan EDX akan menghasilkan suatu spektrum yang menunjukkan puncak-puncak yang memiliki korelasi dengan komposisi unsur yang terkandung dalam sampel tersebut, keuntungan menggunakan EDX yaitu alat tidak merusak sampel yang digunakan, bisa menggunakan sedikit sampel, dan tidak perlu adanya preparasi sampel terlebih dahulu (Ellingham *et al.*, 2018).

3.11 Transmission Electron Microscopy (TEM)

Transmission Electron Microscopy (TEM) merupakan instrumen analitik berupa mikroskop elektron yang dapat melakukan suatu perbesaran hingga dua juta kali pada suatu objek, alat ini memanfaatkan elektron statik yang dikombinasikan dengan elektron magnetik dalam mengontrol pencahayaan serta tampilan gambar yang dihasilkan. TEM dapat menghasilkan gambar dengan resolusi yang tinggi, dikarenakan semakin besar *voltase* (V) yang digunakan saat mempercepat elektron maka panjang gelombang elektron (λ) akan semakin pendek. Panjang gelombang yang semakin pendek akan mudah menembus celah-celah kecil pada atom penyusun sampel yang sedang dianalisis (Kaschel *et al.*, 2020).

Prinsip kerja TEM yaitu menggunakan sifat dualisme elektron yang digunakan sebagai gelombang dan partikel. TEM akan menembakkan elektron ke arah sampel yang sedang dianalisis, gelombang yang menabrak elektron sebagian akan dibelokkan dan sisanya akan diteruskan. Semua elektron baik yang dibelokkan atau diteruskan akan ditangkap dan masuk dalam bidang gambar yang nantinya

akan membentuk pola objek untuk menghasilkan gambar yang memiliki perbesaran dengan resolusi tinggi. Keunggulan yang dimiliki TEM salah satunya yaitu TEM dapat menghasilkan berbagai macam data hasil analisis sampel seperti morfologi sampel, struktur kristal penyusun suatu material, dan juga dapat mengetahui komposisi suatu material yang dianalisis (Liu et al., 2018).

3.12 Spectrophotometer Diffuse Reflectance-UV (DRS-UV)

Spectrophotometer Diffuse Reflectance-UV (DRS-UV) adalah suatu metode yang didasarkan pada pengukuran intensitas UV-Vis yang nantinya akan direfleksikan oleh suatu material yang sedang dianalisis, prinsip dasar metode ini yaitu apabila suatu material mendapat sinar dengan gelombang elektromagnetik maka elektron dalam material tersebut akan menyerap foton yang terdeteksi, saat material dikenai cahaya maka sebagian akan diserap, sebagian lagi akan dipantulkan, dan sisanya lagi akan ditransmisikan (Torrent & Barrón, 2015). Terdapat tiga proses interaksi yang terjadi selama instrumen tersebut beroperasi diantaranya yaitu absorpsi, emisi spontan, dan emisi terimbas, instrumen DR-UV ini biasanya digunakan untuk mengukur besarnya energi celah pita dalam suatu material, energi celah pita merupakan suatu celah yang digunakan untuk mengetahui besarnya jarak anatar pita valensi dan pita konduksinya akan sebanding dengan energi yang akan dibutuhkan elektron untuk eksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi (Wang *et al.*, 2017).

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Alat dan Bahan Penelitian

4.1.1 Alat Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa alat yang digunakan meliputi seperangkat alat gelas seperti kaca arloji, cawan porselen, cawan petri, tabung reaksi, spatula, pengaduk kaca, penangas air, propipet, termometer alkohol, pipet ukur, pipet tetes, *magnetic stirrer*, *hot plate stirrer* (SH-2), neraca analitik (Ohaus), oven (Mettler), sonikator (Baue BK-2000), statif, klem, autoklaf, *x-ray diffractometer* (XRD) (Bruker D2 Phaser), *spektrophotometer fourier transform infraRed* (FTIR UATR Spectrum two Perkin Elmer), *gas sorption analyzer* (GSA), *scanning electron microscope-energy dispersive x-ray* (SEM-EDX) (JEOL JSM-6510LA), *spektrophotometer diffuse reflectance-UV* (DR-UV) (Shimadzu UV-2401 PC), *Transmission Electron Microscopy* (TEM), *laminar air flow* (Robust), tusuk sate, dan pinset.

4.1.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi serbuk grafit (Merck), Asam sulfat (H_2SO_4) 95-97% p.a, Kalium permanganat ($KMnO_4$) p.a (Merck), Hidrogen peroksida (H_2O_2) 30% p.a, Asam klorida (HCl) 37% p.a, etanol (C_2H_5OH) 99% p.a (Sigma-Aldrich), akuades, (H_2O), kertas saring, kertas saring *Whatman*, bakteri uji (*Escherichia coli*), *nutrient broth* (NB), *nutrient agar* (NA), *mueller hinton broth* (MHB), dan alkohol.

4.2 Cara Kerja

4.2.1 Ekstraksi kulit pisang kepok

Ekstrak kulit pisang kepok didapatkan melalui proses ekstraksi. Sebanyak 20 gram kulit pisang kepok ditambahkan dengan 100 mL akuades dan dipanaskan selama 2 jam pada suhu 95 °C. Setelah itu, hasil pemanasan disaring menggunakan kertas saring *Whatman*, filtrat yang dihasilkan yaitu berupa ekstrak kulit pisang

dimasukkan ke dalam lemari es selama semalaman (Mobeen Amanulla & Sundaram, 2019).

4.2.2 Sintesis grafit oksida (GO)

Sintesis GO didapatkan melalui metode Tour. Bahan dasar yang digunakan yaitu serbuk grafit yang ditimbang sebanyak 0,5 gram, kemudian dioksidasi menggunakan H_2SO_4 dan H_3PO_4 dengan perbandingan 9:1 (90 mL : 10 mL), larutan ditambahkan dengan $KMnO_4$ sebanyak 4,5 gram. Larutan kemudian diaduk selama 8 jam dengan temperatur dijaga pada suhu $50\text{ }^\circ\text{C}$, setelah diaduk selama 8 jam larutan di dinginkan pada suhu kamar. Larutan ditambahkan dengan akuades sebanyak 250 mL dan 10 mL H_2O_2 (30%) yang dilakukan secara tetes demi tetes. Larutan selanjutnya disaring dan didapatkan filtrat berwarna coklat serta endapan kuning pekat. Endapan kemudian dicuci dengan HCl 5% sebanyak 100 mL dan ditambahkan dengan 100 mL akuades yang selanjutnya diaduk selama 8 jam pada suhu $60\text{ }^\circ\text{C}$. Hasil pengadukan berupa pasta grafit oksida yang siap dioven, pasta dioven pada suhu $60\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam, dan didapatkan padatan grafena oksida (Habte *et al.*, 2019).

4.2.3 Sintesis grafena oksida tereduksi (rGO)

Sintesis rGO dilakukan menggunakan padatan grafena oksida sebanyak 0,1 gram yang dilarutkan dalam 30 mL akuades. Larutan yang dihasilkan disonikasi selama 30 menit. Hasil sonikasi ditambahkan dengan 2 mL ekstrak kulit pisang dan direfluks selama 5 jam dan suhu dijaga pada $95\text{ }^\circ\text{C}$. Hasil proses refluks disaring menggunakan kertas saring dan endapan yang dihasilkan berwarna hitam dicuci dengan 100 mL akuades. Endapan yang sudah dicuci selanjutnya dioven selama 6 jam pada suhu $60\text{ }^\circ\text{C}$ dan didapatkan padatan rGO (Mahendran *et al.*, 2020).

4.2.4 Sintesis TiO_2 /rGO

Sintesis TiO_2 /rGO dilakukan melalui metode hidrotermal. rGO hasil sintesis ditimbang sebanyak 0,04 gram, kemudian ditambahkan dengan 80 mL akuades dan 40 mL etanol sebagai pelarut organik. Larutan yang dihasilkan selanjutnya disonikasi selama 30 menit. Tahap berikutnya yaitu larutan ditambahkan dengan

0,4 gram TiO_2 , campuran diaduk menggunakan *stirrer* selama 2 jam. Setelah diaduk, larutan dimasukkan ke dalam autoklaf dan dioven selama 3 jam pada suhu 120 °C. Selanjutnya larutan diaduk di bawah sinar UV selama 2 jam yang. Hasil yang didapatkan disaring menggunakan kertas saring. Endapan yang didapatkan dari penyaringan dicuci sebanyak tiga kali menggunakan akuades, endapan dioven pada suhu 70°C selama 12 jam dan didapatkan padatan TiO_2/rGO (Pratama *et al.*, 2021).

4.2.5 Karakterisasi TiO_2/rGO

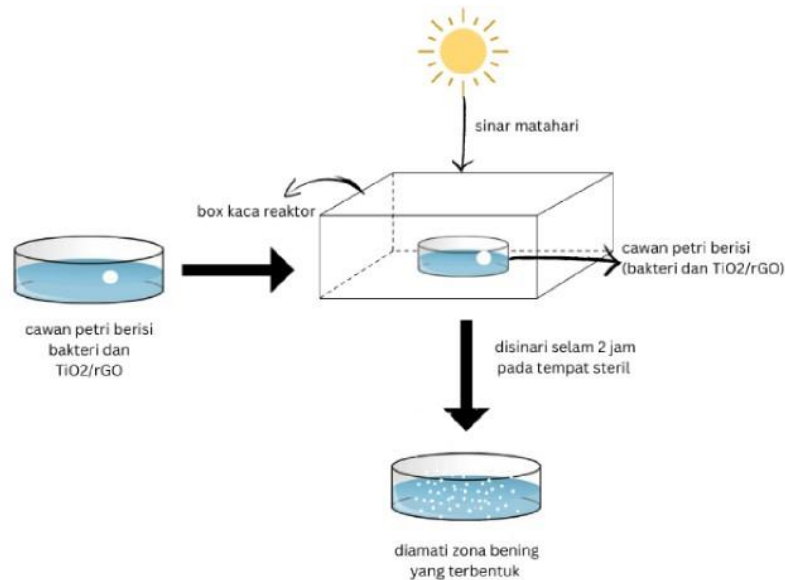
Karakterisasi material TiO_2/rGO menggunakan beberapa instrumen seperti XRD untuk identifikasi fasa kristal dalam material, FTIR untuk mengetahui macam-macam gugus fungsi dalam material, GSA untuk mengetahui bentuk fisik material meliputi luas permukaan, jari-jari pori, dan volume pori. Selanjutnya digunakan SEM-EDX untuk menganalisis morfologi dan bentuk permukaan material, Spektrofotometer DR-UV untuk mengukur besar energi celah pita material, dan *Transmission Electron Microscopy* (TEM) untuk menganalisis morfologi material hingga intinya serta ukuran partikel.

4.2.6 Uji fotodegradasi bakteri

Uji fotodegradasi bakteri dilakukan dengan metode cakram. Tahap pertama yang dilakukan yaitu menyiapkan sampel yang akan digunakan sebagai agen pendegradasi dan bakteri yang akan di uji dalam suatu medium yaitu *nutrient broth* (NB). Sampel dan bakteri masing-masing dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang sudah berisi *nutrient broth* (NB) dengan perbandingan 1:1. Tabung reaksi tersebut diinkubasi selama 3x24 jam pada suhu 37 °C.

Mueller hinton broth (MHB) dan *nutrient agar* (NA) dibuat larutan dengan jumlah total sebanyak 50 mL, dimana jumlah *nutrient agar* (NA) harus lebih banyak daripada jumlah *mueller hinton broth* (MHB). Larutan kemudian dimasukkan ke dalam autoklaf dan dituangkan ke dalam cawan petri yang sudah steril. Selanjutnya cawan petri berisi larutan didiamkan selama ± 30 menit hingga larutan mengeras atau berubah menjadi padatan. Selanjutnya bakteri dan sampel

dikeluarkan dari inkubator. Sebelum bakteri dan sampel diletakkan dalam medium, harus dimasukkan ke dalam alat *vortex* untuk menghomogenkan larutan. Setelah homogen, bakteri dimasukkan ke dalam cawan petri yang telah disiapkan hingga semua permukaan telah terkontaminasi bakteri, kemudian untuk uji bakteri menggunakan metode cakram. Pada metode cakram digunakan kertas kecil berbentuk bulat yang diletakkan di atas cawan petri tersebut, selanjutnya kertas ditetesi larutan sampel TiO_2/rGO hasil inkubasi. Cawan petri disinari menggunakan sinar alami dari matahari selama 2 jam untuk proses fotokatalisis, selanjutnya ditunggu selama 24 jam untuk mengetahui hasil uji inaktivasi dan setelah 24 jam diamati untuk zona bening yang terbentuk (Tahmasebizad *et al.*, 2020).



Gambar 4.1 Reaktor fotokatalisis

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini membahas mengenai sintesis dan karakterisasi komposit titanium dioksida/grafena oksida tereduksi (TiO_2/rGO) menggunakan ekstrak kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca L.*) yang diaplikasikan dalam proses degradasi fotokatalitik bakteri *Escherichia coli* (*E. coli*). Karakterisasi material TiO_2/rGO dilakukan menggunakan beberapa instrumen, seperti *X-Ray Diffractometer* (XRD), *Fourier Transform InfraRed Spectrophotometer* (FTIR), *Gas Sorption Analyzer* (GSA), *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), *Transmission Electron Microscopy* (TEM), dan *Diffuse Reflectance Spectrophotometer UV-Visible* (DRS-UV). Hasil sintesis rGO yang dimodifikasi dengan TiO_2 , digunakan untuk mendegradasi bakteri *E. coli* melalui proses fotokatalisis.

5.1 Ekstrak kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca L.*)

Pada penelitian ini, ekstrak kulit pisang kepok digunakan sebagai agen pereduksi untuk sintesis rGO. Senyawa yang digunakan sebagai agen pereduksi yaitu dengan memanfaatkan gugus asam karboksilat pada pektin yang terkandung dalam kulit pisang. Ekstrak kulit pisang kepok didapatkan melalui proses ekstraksi, yaitu salah satu proses pemisahan zat dengan menggunakan pelarut yang sesuai. Kulit pisang kepok dilarutkan dengan akuades, kemudian dipanaskan pada suhu $95\text{ }^\circ\text{C}$ untuk mendapatkan ekstrak kulit pisang kepok seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.1. Larutan disaring menggunakan kertas saring *Whatman* agar filtrat yang didapatkan bebas dari residu halus dari kulit pisang. Filtrat ekstrak kulit pisang kepok dimasukkan ke lemari es agar kualitas ekstrak tetap terjaga baik.

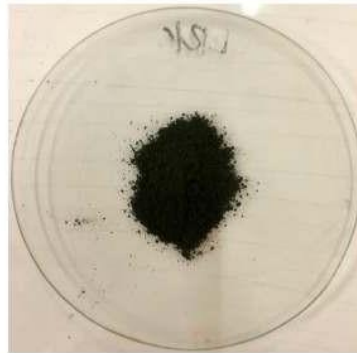


Gambar 5.1 Ekstrak kulit pisang

5.2 Sintesis GO

Sintesis grafit oksida (GO) dalam penelitian ini menggunakan metode Tour, metode ini merupakan salah satu metode yang dapat digunakan dalam sintesis GO. Kelebihan dari metode Tour itu sendiri yaitu tidak menghasilkan produk samping yang bersifat toksik, mudah dilakukan dan bahan yang digunakan mudah didapatkan (Habte *et al.*, 2019). Bahan dasar yang digunakan dalam sintesis GO yaitu serbuk grafit yang dioksidasi menggunakan H_2SO_4 sebagai pemberi suasana asam untuk memudahkan proses oksidasi dan H_3PO_4 yang digunakan untuk mencegah oksidasi berlanjut. Larutan yang dihasilkan ditambahkan dengan KMnO_4 sebagai zat pengoksidasi yang kuat, setelah penambahan KMnO_4 larutan berubah warna menjadi hitam pekat dan mengeluarkan asap ungu. Hal ini diakibatkan penambahan KMnO_4 yang secara fisik berupa serbuk ungu pekat. Saat penambahan dilakukan dalam keadaan dingin di bawah suhu $15\text{ }^\circ\text{C}$ untuk meminimalisir reaksi eksotermik agar tidak merusak sampel.

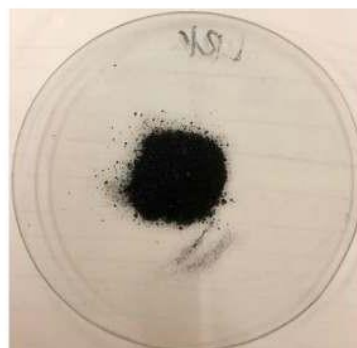
Campuran diaduk pada suhu $50\text{ }^\circ\text{C}$ untuk menghomogenkan campuran dan agar proses oksidasi terjadi secara sempurna. Setelah pengadukan, larutan ditambahkan akuades untuk menghentikan reaksi oksidasi dan penambahan H_2O_2 (30%) berfungsi untuk pemutusan ikatan menjadi satu lapisan atom dan mereduksi sisa permanganat selama proses reaksi sehingga larutan berubah menjadi warna coklat gelap setelah penambahan akuades dan H_2O_2 . Saat penambahan akuades terjadi proses eksotermik antara akuades dengan H_2SO_4 sehingga terjadi kenaikan temperatur. Kemudian, larutan disaring menggunakan kertas saring *Whatman* untuk menghilangkan logam sulfat berupa K_2SO_4 dan MnSO_4 . Hasil penyaringan diperoleh filtrat berwarna coklat serta endapan berwarna kuning tua. Endapan yang diperoleh dicuci menggunakan HCl 5% yang berfungsi untuk menghilangkan ion sulfat. Setelah endapan dicuci, endapan ditambahkan dengan akuades dan diaduk pada suhu $60\text{ }^\circ\text{C}$ atau hingga larutan berubah menjadi pasta GO. Pasta yang didapatkan dipanaskan pada suhu $60\text{ }^\circ\text{C}$ untuk menghilangkan sisa pelarut yang masih terkandung, sehingga diperoleh serbuk GO seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Serbuk GO

5.3 Sintesis rGO

Grafena oksida tereduksi (rGO) disintesis dengan melarutkan padatan GO dalam akuades dan disonikasi. Tujuan sonikasi adalah untuk pengelupasan GO melalui gelombang ultrasonik, di mana pengelupasan GO terjadi secara mekanik. Larutan yang dihasilkan berwarna hitam pekat. Setelah disonikasi, larutan ditambahkan dengan ekstrak kulit pisang kepok sebagai agen pereduksi dalam sintesis rGO. Larutan tersebut direfluks pada suhu 95 °C untuk mempercepat reaksi antara GO dan akuades melalui pemanasan dan tidak mengurangi zat yang terdapat dalam larutan. Setelah proses refluks, larutan disaring menggunakan kertas saring sehingga dihasilkan endapan berwarna hitam. Endapan dicuci menggunakan akuades untuk menghilangkan pengotor selama proses refluks. Endapan hitam hasil pencucian, dipanaskan pada suhu 60 °C untuk mendapatkan padatan rGO seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.3.

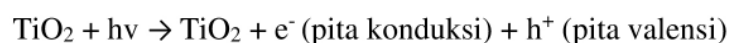


Gambar 5.3 Serbuk rGO

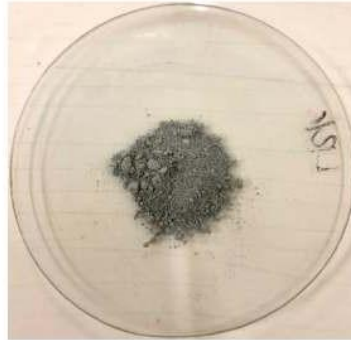
5.4 Sintesis TiO₂/rGO

Titanium dioksida/grafena oksida tereduksi (TiO₂/rGO) disintesis menggunakan metode hidrotermal. Metode ini menjadi salah satu metode yang biasa digunakan dalam proses kristalisasi material dari fasa larutan yang mana menggunakan suhu dan tekanan yang tinggi. Kelebihan yang dimiliki metode hidrotermal, yaitu menghasilkan material yang memiliki kristalinitas baik, kemurniannya cukup tinggi, dan distribusi partikel yang dihasilkan homogen (Rahmawati & Kusumawati, 2020). rGO hasil sintesis sebelumnya dilarutkan dengan akuades dan etanol sebagai pelarut organik. Larutan disonikasi untuk memecah partikel rGO agar dapat menempel dengan kuat dengan TiO₂. Larutan hitam hasil sonikasi ditambahkan dengan TiO₂ dan diaduk menggunakan *stirrer* untuk mendoping rGO pada TiO₂. Larutan yang diperoleh berwarna abu-abu, kemudian dimasukkan ke dalam autoklaf dan dipanaskan pada suhu 120 °C untuk mengikat rGO pada TiO₂.

Larutan hasil hidrotermal diaduk di bawah sinar UV untuk mendispersikan TiO₂ sehingga terikat kuat dengan rGO. Reaksi yang terjadi pada TiO₂ di bawah sinar UV, sebagai berikut:



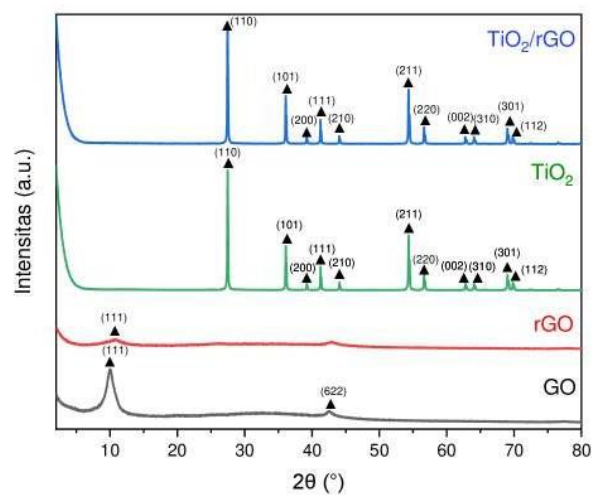
Sinar UV akan membuat TiO₂ menangkap energi untuk memperoleh pasangan elektron dan lubang, elektron akan tereksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi. Dihasilkan muatan negatif pada pita konduksi dan muatan positif pada pita valensi sehingga rGO akan menempel pada permukaan TiO₂ (Suharko *et al.*, 2017). Larutan kemudian disaring menggunakan kertas saring, endapan hasil penyaringan dicuci menggunakan akuades untuk menghilangkan pengotor. Selanjutnya, endapan dipanaskan pada suhu 70 °C dan dihasilkan padatan halus TiO₂/rGO berwarna abu-abu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Serbuk TiO₂/rGO

5.5 Karakterisasi XRD

X-Ray Diffractometer (XRD) adalah instrumen yang digunakan untuk menentukan fasa kristal (anatase atau rutil) untuk sampel TiO₂ dan menghitung ukuran kristal. Analisis fasa kristal dilakukan dengan mengidentifikasi struktur kisi pada material. Struktur kisi ditentukan dengan membandingkan nilai 2θ yang diperoleh dengan data pada *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS). Pada JCPDS akan memunculkan nilai *indeks miller* yang biasanya dinyatakan dalam hkl. Karakterisasi menggunakan XRD akan menghasilkan difraktogram dengan puncak-puncak khas setiap materialnya. Pengukuran pada GO, rGO, TiO₂, dan TiO₂/rGO dilakukan pada sudut difraksi pada rentang kisaran $2\theta = 2-80^\circ$. Hasil analisis yang menampilkan difraktogram semua sampel disajikan dalam gambar 5.5.



Gambar 5.5 Difraktogram GO, rGO, TiO₂, dan TiO₂/rGO

Berdasarkan difraktogram yang disajikan dalam Gambar 5.5 dapat dilihat bahwa untuk GO dan rGO memiliki intensitas rendah. Intensitas dari difraktogram yang dihasilkan akan menunjukkan tingkat kristalinitas suatu sampel. Semakin tinggi intensitas yang dihasilkan maka semakin tinggi pula kristalinitas dan struktur lapisan tersusun secara rapi serta teratur (Purwandari *et al.*, 2019). Pada GO puncak tertinggi pada $2\theta = 10,03^\circ$ (111) dengan jarak antar lapis sebesar 0,879 nm. Puncak kedua berupa puncak kecil melebar pada $2\theta = 42,53^\circ$ (622) dengan jarak antar lapis sebesar 0,2121 nm. Material rGO menunjukkan puncak melebar pada $2\theta = 10,768^\circ$ (111) dengan jarak antar lapis sebesar 0,2104 nm yang merupakan pergeseran dari GO. Puncak difraktogram pada GO dan rGO yang dihasilkan menandakan GO berubah menjadi rGO melalui proses reduksi sesuai data JCPDS No. 01-082-2261. Puncak difraksi pada material GO melebar apabila dibandingkan dengan rGO karena proses reduksi, hal ini menunjukkan bahwa lapisan pada GO mengalami eksfoliasi sehingga terbentuk rGO (Fauzi & Sunu, 2021).

Pada TiO_2 dan TiO_2/rGO puncak-puncak spesifik terlihat dengan jelas karena memiliki intensitas tinggi. Intensitas tertinggi pada TiO_2 terdapat pada $2\theta = 27,481^\circ$ (110) dengan jarak antar lapis sebesar 0,3243 nm dan intensitas tertinggi pada TiO_2/rGO merupakan hasil pergeseran dari TiO_2 . Perubahan yang terjadi hanya mengalami sedikit pergeseran yaitu pada $2\theta = 27,469^\circ$ (110) dengan jarak antar lapis sebesar 0,3244 nm. Puncak lainnya yang terbentuk pada TiO_2 dan TiO_2/rGO dilihat dari nilai 2θ yang diperoleh, hanya terjadi sedikit pergeseran. Hal ini dapat disebabkan karena komposisi untuk menghasilkan material TiO_2/rGO . TiO_2 mendominasi pada komposit TiO_2/rGO karena perbandingan dari kedua sampel cukup besar yaitu 1:10 ($\text{TiO}_2:\text{TiO}_2/\text{rGO}$). Difraktogram yang dihasilkan berdasarkan data JCPDS No. 00-021-1276 menunjukkan puncak khas untuk material TiO_2 fasa rutil. Pada TiO_2/rGO puncak khas dari rGO tidak terlihat, dikarenakan puncak dari rGO sendiri tergolong lemah sedangkan puncak pada TiO_2 intensitasnya tajam dan tinggi. Dengan demikian, puncak rGO dapat tertutup dengan adanya puncak khas dari TiO_2 pada $2\theta = 27,481^\circ$. Dilihat dari pola difraktogram pada TiO_2 dan TiO_2/rGO menunjukkan sampel berada pada fasa

kristalin karena intensitas puncak tajam dan teratur. Hasil XRD menunjukkan TiO₂/rGO berhasil disintesis dengan material TiO₂ berada pada fasa rutil.

Tabel 5.1 Analisis ukuran kristal pada GO, rGO, TiO₂, dan TiO₂/rGO

| Material | Jarak antar lapis (nm) | D (nm) | Rata-rata D (nm) |
|-----------------------|---------------------------|-----------|---------------------|
| GO | 0,8794 | 6,822 | 7,983 |
| | 0,2121 | 9,144 | |
| rGO | 0,2104 | 5,707 | 5,707 |
| TiO ₂ | 0,3243 | 64,952 | 83,375 |
| | 0,2484 | 54,556 | |
| | 0,2185 | 6,012 | |
| | 0,1687 | 116,476 | |
| | 0,1624 | 109,314 | |
| | 0,1360 | 86,939 | |
| TiO ₂ /rGO | 0,3244 | 64,952 | 88,505 |
| | 0,2485 | 56,655 | |
| | 0,2186 | 69,074 | |
| | 0,1687 | 109,286 | |
| | 0,1683 | 116,478 | |
| | 0,1624 | 113,518 | |
| | 0,1360 | 89,573 | |

Penentuan ukuran kristal dari sampel GO, rGO, TiO₂, dan TiO₂/rGO dapat dilakukan menggunakan rumus persamaan *Scherrer*.

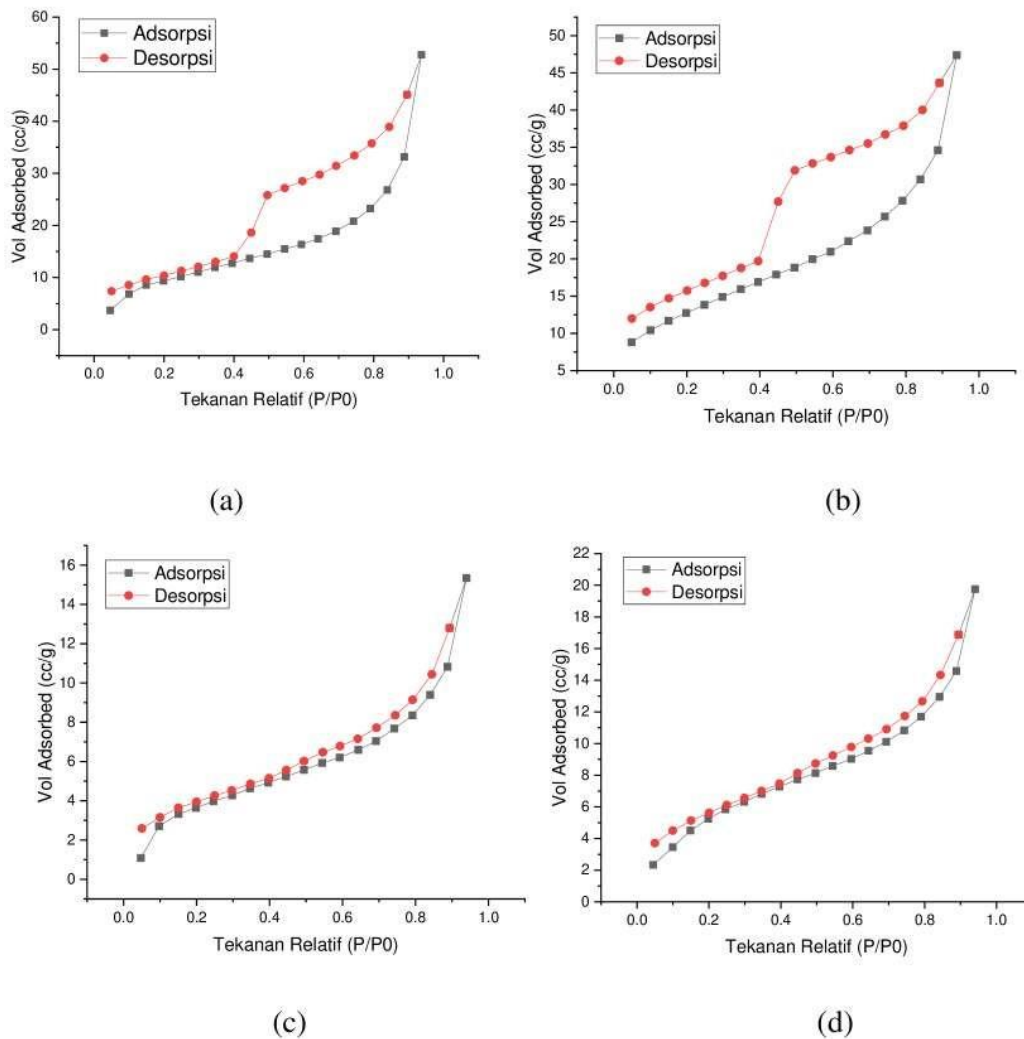
$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta}$$

Dimana D merupakan ukuran kristal, K yaitu faktor bentuk kristal (0,9-1), λ mewakili panjang gelombang dari sinar-X (0,15406 nm), untuk β yaitu nilai dari *Full Width at Half Maximum* (FWHM) (rad), dan θ adalah sudut difraksi (°) (Didik,

2020). Pada Tabel 5.1 disajikan data hasil pengolahan untuk ukuran kristal masing-masing sampel. Rata-rata ukuran kristal pada GO sebesar 7,983 nm dan rGO sebesar 5,707 nm, terlihat bahwa ukuran rGO lebih kecil dari GO. Salah satu alasan ukuran partikel rGO lebih kecil dari GO karena pada sintesis rGO terdapat tahap sonikasi yang memanfaatkan ultrasonik yang sangat tinggi untuk memperkecil ukuran partikel. Pada TiO₂ ukuran kristal rata-rata sebesar 83,375 nm dan TiO₂/rGO sebesar 88,505 nm. Berdasarkan hasil yang didapatkan, pada material TiO₂/rGO memiliki ukuran kristal yang lebih besar dari TiO₂. Kemungkinan penyebab terjadinya hal tersebut, dapat dikarenakan adanya penghambatan dalam pertumbuhan kristal karena kombinasi antara material TiO₂ dan rGO (Illahi *et al.*, 2020).

5.6 Karakterisasi GSA

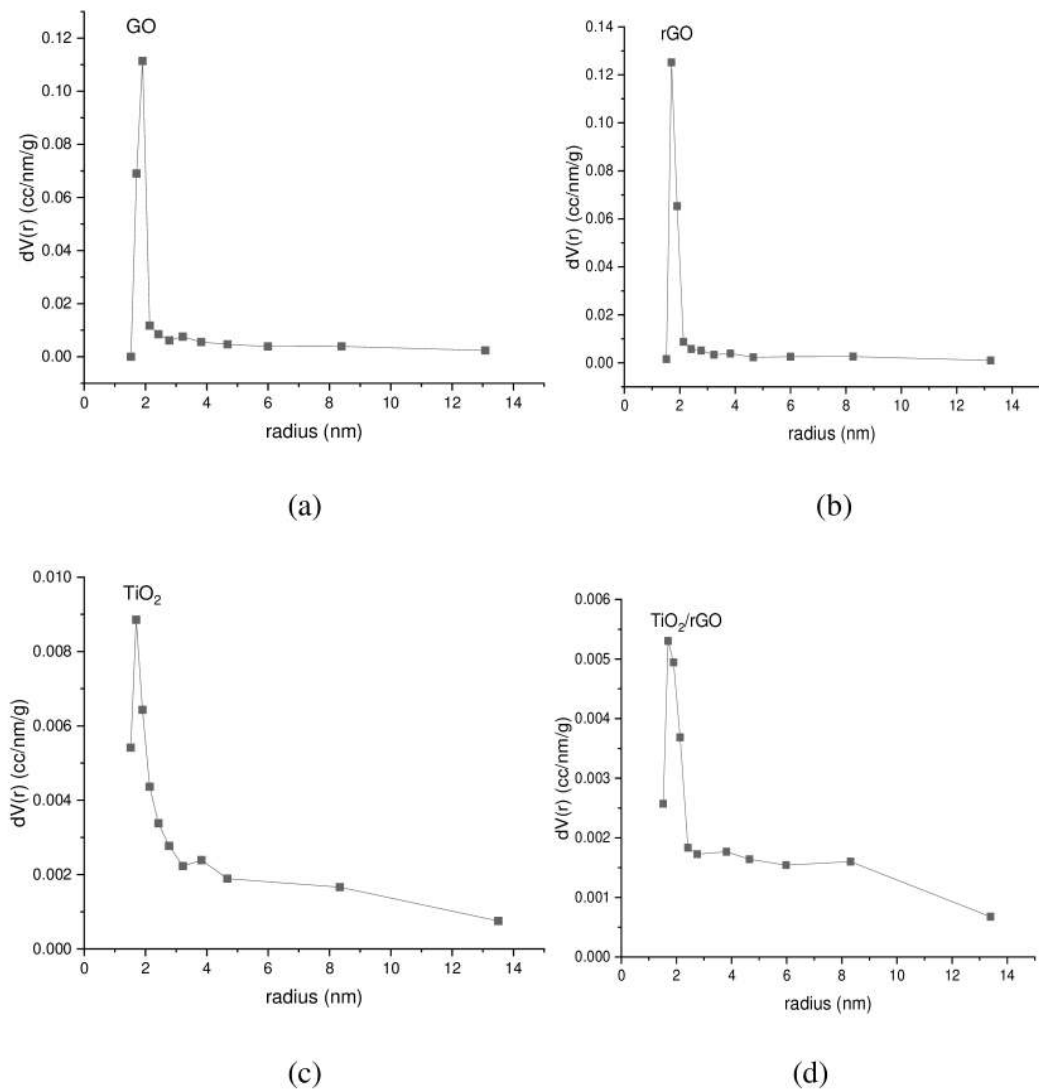
Karakterisasi material menggunakan *Gas Sorption Analyzer* (GSA) bertujuan untuk mengetahui informasi fisik material seperti luas permukaan, jari-jari pori, volume pori, dan distribusi pori. Analisis ini menjadi penting karena kemampuan material sebagai fotokatalis juga dipengaruhi oleh luas permukaan dan pori-porinya. Dalam proses analisis menggunakan GSA, digunakan gas dan cairan nitrogen untuk mengisi pori pada material sehingga proses isoterm terjadi dengan baik. Selama proses analisis terjadi mekanisme adsorpsi dan desorpsi, di mana adsorpsi merupakan keadaan saat terjadi pengisian gas nitrogen dari tekanan 1-0 atm. Desorpsi merupakan keadaan di mana terjadi pelepasan gas nitrogen dari tekanan 0-1atm (Aziz *et al.*, 2020). Analisis material menggunakan GSA akan mengalami dua proses pada bagian utama alat yaitu *degasser* dan *analyzer*. *Degasser* berfungsi untuk memberikan perlakuan awal pada material yaitu dengan cara menghilangkan zat-zat pengotor melalui pemanasan pada material yang akan dianalisis. *Analyzer* menjadi bagian utama untuk proses analisis yang terjadi pada kondisi isoterm. Hasil analisis menggunakan GSA didapatkan grafik isoterm untuk material GO, rGO, TiO₂, dan TiO₂/rGO yang disajikan melalui Gambar 5.6. Kurva isoterm diperoleh dari hubungan antara jumlah adsorbat yang teradsorpsi pada suatu adsorben melalui tekanan (P/P_0) pada suhu konstan.



Gambar 5.6 Kurva isoterm (a) GO, (b) rGO, (c) TiO₂, dan (d) TiO₂/rGO

Berdasarkan kurva pada Gambar 5.6, tipe pori yang dihasilkan untuk keempat sampel yaitu tipe IV atau mesopori dengan rentang ukuran pori sebesar 2-50 nm (Sitompul *et al.*, 2021). Untuk mengetahui penyebaran maksimal pori atau distribusi ukuran pori guna mendukung hasil isoterm, maka dapat dilihat melalui kurva distribusi ukuran pori berdasarkan hasil *Barrett Joyner Halenda* (BJH). Penggunaan metode BJH pada analisis material GO, rGO, TiO₂, dan TiO₂/rGO dikarenakan kurva isoterm pada Gambar 5.6 menunjukkan ukuran pori material yaitu mesopori. Metode BJH berfungsi untuk analisis material yang memiliki diameter pori sebesar 2-50 nm, sedangkan untuk diameter < 2 nm digunakan

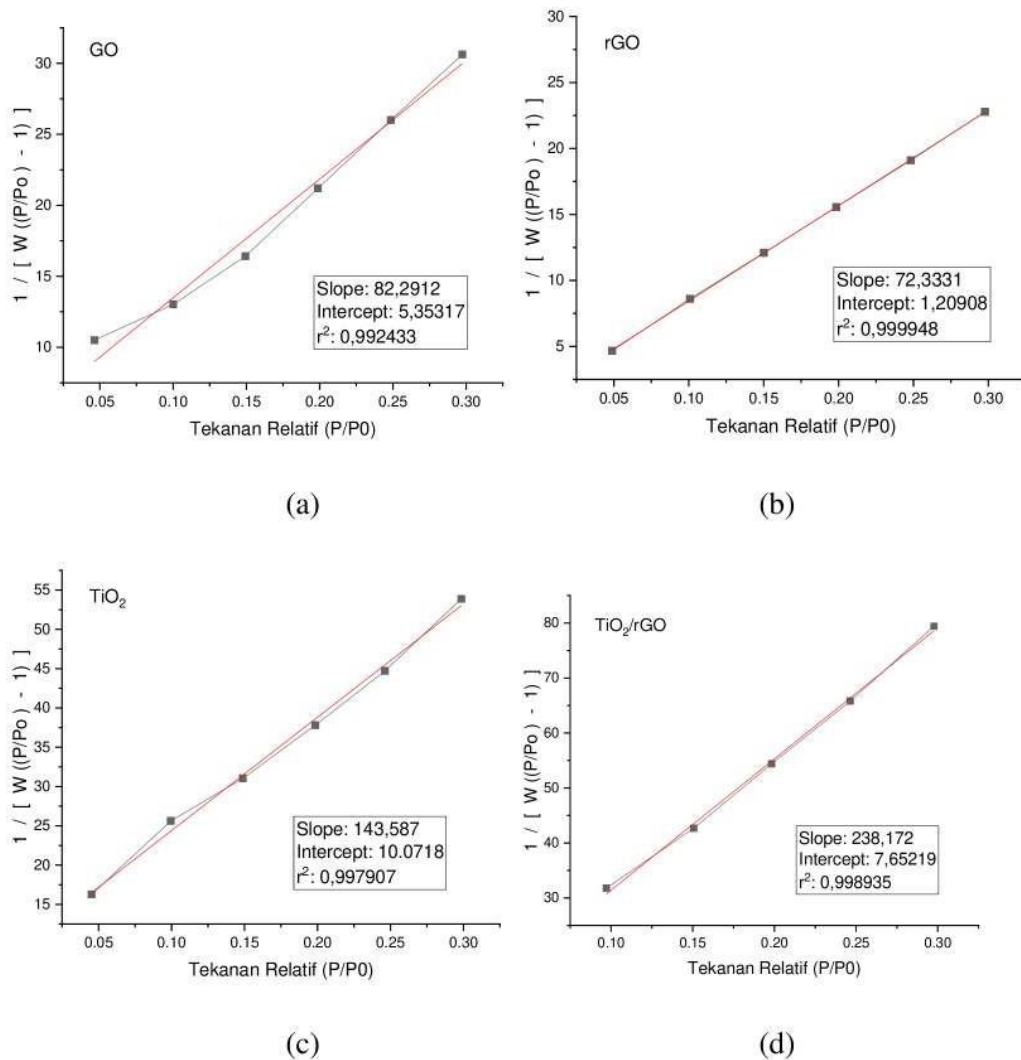
metode *Horvarty and Kavanzo*e (HK). Hasil analisis metode BJH disajikan dalam Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Kurva BJH (a) GO, (b) rGO, (c) TiO₂, dan (d) TiO₂/rGO

Dapat dilihat pada Gambar 5.7 bahwa penyebaran maksimal pori berada pada radius 2 nm, hal ini sesuai dengan ukuran pori yang didapatkan yaitu pada radius 2-50 nm. Berikutnya untuk mengetahui luas permukaan pori pada sampel, dapat dihitung melalui kurva *Brunauer Emmet Teller* (BET). Proses adsorpsi pada GSA digambarkan sebagai proses *layer by layer* pada material berpori. Metode BET cocok digunakan untuk material dengan ukuran pori mesopori karena

memberikan kapasitas adsorpsi terbaik dari sebuah adsorben. Hasil kurva BET disajikan pada Gambar 5.8.



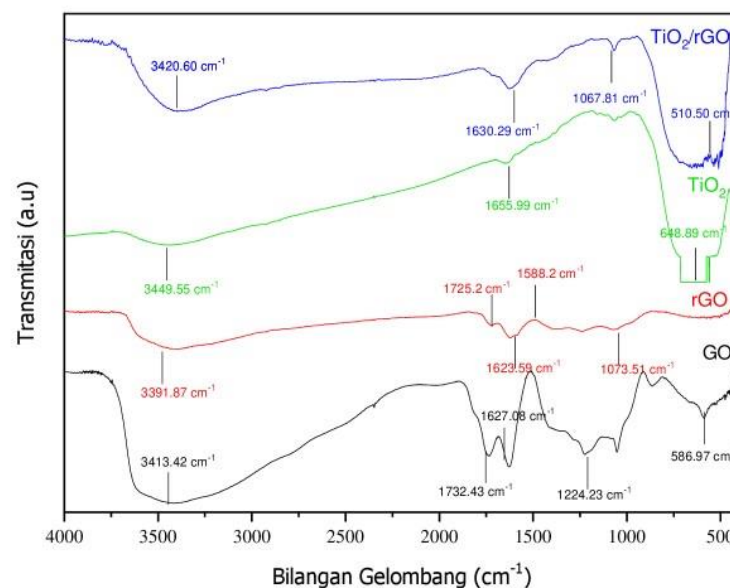
Gambar 5.8 Kurva BET (a) GO, (b) rGO, (c) TiO₂, dan (d) TiO₂/rGO

Hasil data dalam kurva BET pada Gambar 5.8 dihasilkan luas permukaan untuk sampel GO sebesar 39,735 m²/g, dan rGO sebesar 47,354 m²/g. Luas permukaan pada sampel rGO lebih besar dari sampel GO hal ini menandakan bahwa proses reduksi untuk mendapatkan rGO membuat nilai luas permukaan semakin besar. Oleh karena itu, rGO lebih baik untuk digunakan sebagai katalis untuk fotokatalisis dibandingkan dengan GO apabila dilihat dari luas permukaan kedua sampel. Pada material TiO₂ diperoleh hasil sebesar 14,167 m²/g dan untuk

TiO₂/rGO sebesar 22,664 m²/g. Penggabungan antara TiO₂ dengan rGO menghasilkan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan TiO₂. Apabila dihubungkan dengan hasil analisis menggunakan XRD maka diperoleh hasil bahwa semakin kecil nilai ukuran kristal maka semakin besar luas permukaan dari material tersebut (Nurhidayah *et al.*, 2022).

5.7 Karakterisasi FTIR

Karakterisasi sampel menggunakan *Fourier Transform InfraRed Spectrophotometer* (FTIR) bertujuan untuk mengetahui berbagai gugus fungsi melalui bilangan gelombang yang dihasilkan dalam spektra hasil FTIR. Spektra FTIR didapatkan melalui hubungan antara panjang gelombang dengan persen transmisi yang menyatakan perbandingan sinar inframerah yang tidak terserap oleh sampel terhadap sinar yang ditembakkan ke sampel. Penggunaan metode transmisi menjadi metode yang umum digunakan dalam karakterisasi menggunakan FTIR. Metode tersebut akan bergantung terhadap adanya absorpsi radiasi inframerah saat akan melewati sampel yang dianalisis. Dalam penggunaan metode ini sampel akan dicampurkan dengan KBr yang kemudian ditekan hingga membentuk sebuah lapisan tipis (Rahmat & Suwarno, 2020). Hasil analisis sampel disajikan dalam Gambar 5.9 di bawah ini.



Gambar 5.9 Spektra FTIR GO, rGO, TiO₂, dan TiO₂/rGO.

Berdasarkan Gambar 5.9, menunjukkan beberapa bilangan gelombang yang terdeteksi dalam sampel, untuk identifikasi lebih lanjut maka didapatkan pula gugus fungsi pada setiap bilangan gelombang yang disajikan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Analisis FTIR GO, rGO, TiO₂, dan TiO₂/rGO.

| Sampel | Bilangan Gelombang (cm ⁻¹) | Gugus Fungsi |
|-----------------------|--|--------------|
| TiO ₂ /rGO | 3420,60 | OH |
| | 1630,29 | C-C |
| | 1067,81 | C-O |
| | 510,50 | Ti-O-C |
| TiO ₂ | 3449,55 | OH |
| | 1650,99 | Ti-OH |
| | 648,96 | Ti-O-Ti |
| rGO | 3391,87 | OH |
| | 1725,20 | C=O |
| | 1623,59 | C-C |
| | 1588,20 | C=C |
| | 1073,51 | C-O |
| GO | 3413,42 | OH |
| | 1732,43 | C=O |
| | 1627,08 | C-C |
| | 1224,23 | C-OH |
| | 586,97 | C-O-C |

Data spektra FTIR TiO₂ dan TiO₂/rGO menunjukkan vibrasi ulur gugus O-H hidroksil dan air yang diserap oleh TiO₂ pada bilangan gelombang sekitar 3400 cm⁻¹. Terdapat serapan yang mengindikasikan bahwa sampel memang benar berupa TiO₂ yaitu pada bilangan gelombang 645,96 cm⁻¹ yang merupakan karakteristik vibrasi Ti-O-Ti. Menurut penelitian oleh Rahmawati & Kusumawati (2020) vibrasi Ti-O-Ti terdapat pada bilangan gelombang di bawah 1000 cm⁻¹. Adanya material rGO dalam TiO₂ membuat pergeseran puncak serapan pada vibrasi Ti-O-Ti pada TiO₂. Pergeseran bergerak ke arah bilangan gelombang 510,50 cm⁻¹ yang mana menggambarkan vibrasi Ti-O-C. Intensitas serapan untuk Ti-O-Ti menjadi menurun dikarenakan adanya pembentukan ikatan Ti-O-C pada TiO₂/rGO. Hasil

yang didapatkan menandakan bahwa rGO berhasil melekat pada permukaan TiO₂ untuk memaksimalkan kerja TiO₂ sebagai material fotokatalis.

Pada material GO dan rGO terdapat gugus O-H yang tergolong dalam gugus hidroksil dan karboksil. Gugus fungsi alkena pada rGO mengalami pergeseran dikarenakan proses reduksi dalam sintesis, puncak juga melebar apabila dibandingkan dengan puncak pada GO. Pada spektra GO terlihat jelas pita vibrasi untuk beberapa gugus fungsi yang mengikat oksigen. Penggunaan ekstrak kulit pisang pada sintesis rGO menyumbangkan karbon sehingga selama proses reduksi oksigen dalam GO digantikan oleh karbon.

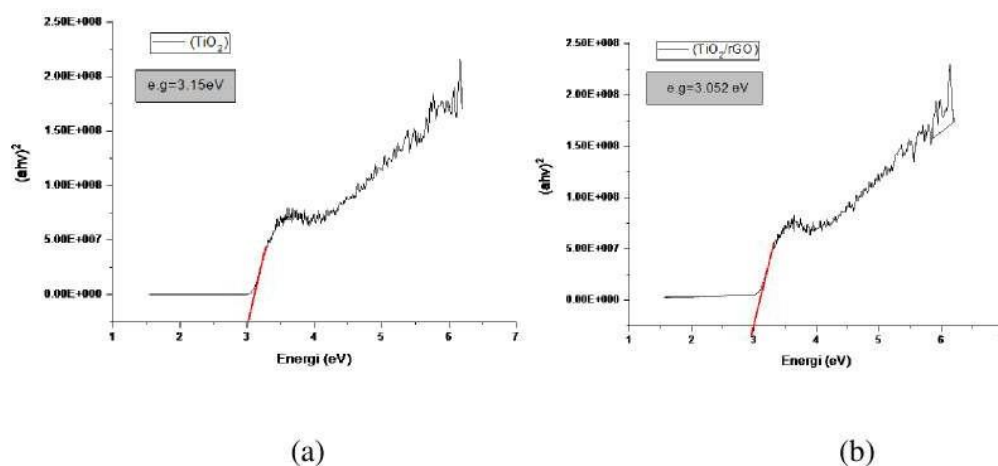
Keberadaan karbon pada struktur rGO dapat ditunjukkan dengan adanya serapan pada bilangan gelombang sekitar 1600 cm⁻¹. Data yang dihasilkan dari spektra FTIR menandakan bahwa terdapat perbedaan serapan setelah dilakukannya proses sintesis. Untuk mendukung hasil yang didapatkan telah dilakukan pula penelitian oleh Thakur *et al* (2015) menyatakan bahwa spektra dalam rGO tidak menunjukkan serapan yang tajam. Hal ini dikarenakan puncak tajam pada GO disebabkan oleh adanya oksigen, maka melalui spektra rGO dapat membuktikan keberhasilan sintesis untuk material rGO.

5.8 Karakterisasi DRS-UV

Karakterisasi menggunakan *Diffuse Reflectance Spectrophotometer UV-Visible* (DRS-UV) dilakukan pada panjang gelombang berkisar dari 200-800 nm. Tujuan dari karakterisasi menggunakan DRS-UV adalah untuk mengetahui besarnya energi celah pita atau *band gap* pada material TiO₂/rGO. Hasil nilai *band gap* yang didapatkan akan dibandingkan dengan nilai *band gap* dari TiO₂, di mana besarnya nilai *band gap* akan berpengaruh dalam proses kerja dari material semikonduktor tersebut. Besarnya nilai *band gap* dari suatu material akan membuat eksitasi elektron yang berasal dari pita valensi menuju pita konduksi akan terhambat. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa semakin kecil energi *band gap* yang didapatkan maka semakin kecil pula energi yang diperlukan untuk melakukan proses eksitasi elektron. Hal ini dapat menjadi keuntungan untuk pengaplikasian

suatu fotokatalis, karena material menjadi dapat bekerja pada *range* panjang gelombang yang lebih lebar (Hakim & Haris, 2016).

Hasil dari DRS-UV diolah menggunakan metode *Tauc Plot* dalam melakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *band gap*. Nilai dapat diketahui melalui grafik hubungan antara $(\alpha h\nu)^2$ dengan $h\nu$ atau energi, *band gap* pada material semikonduktor didapatkan dari perpotongan garis lurus yang memotong pada sumbu x. Titik potong yang dihasilkan akan menunjukkan nilai *band gap* suatu material, di mana kurva *band gap* akan disajikan dalam Gambar 5.10 dan nilai *band gap* disajikan pada Tabel 5.3



Gambar 5.10 Spektra DRS-UV (a) TiO₂ dan (b) TiO₂/rGO

Tabel 5.3 Nilai *band gap* TiO₂ dan TiO₂/rGO

| Material | <i>Band gap</i> (eV) |
|-----------------------|----------------------|
| TiO ₂ | 3,15 |
| TiO ₂ /rGO | 3,052 |

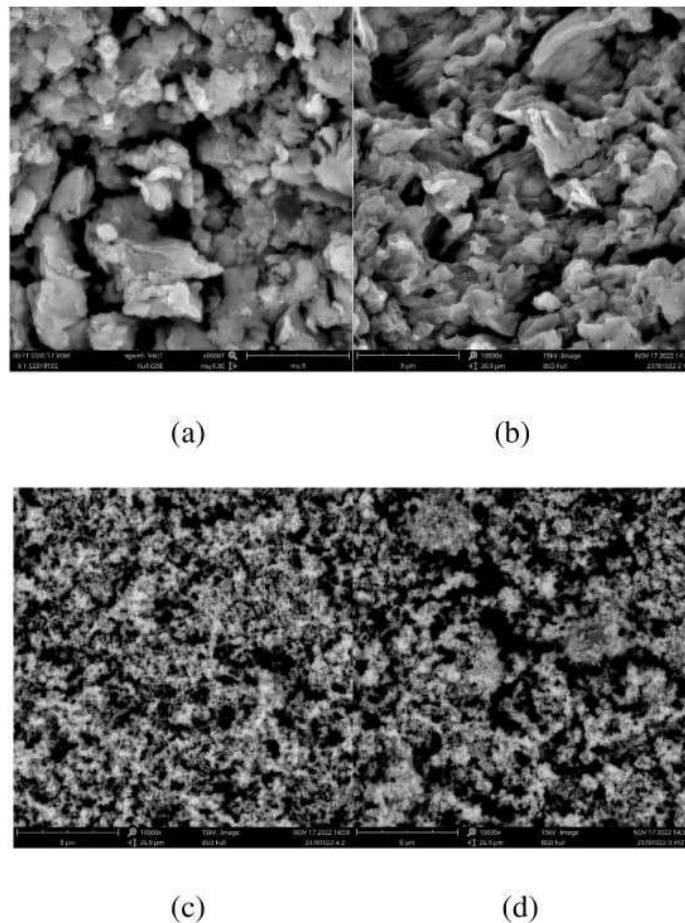
Hasil dari spektra DRS-UV dapat dilihat bahwa adanya penambahan dari rGO membuat nilai energi *band gap* TiO₂, di mana nilai TiO₂ sebesar 3,15 eV dan setelah ditambahkan dengan rGO nilai *band gap* turun menjadi 3,052 eV. Berdasarkan hasil yang diperoleh, maka dapat diasumsikan bahwa rGO yang disintesis dengan adanya penambahan ekstrak kulit pisang berhasil masuk ke dalam

kisi dari kristal TiO₂. Dengan hasil tersebut, menunjukkan material TiO₂/rGO dapat bekerja lebih baik pada panjang gelombang yang lebih lebar atau mencapai sinar tampak. *Band gap* yang kecil akan mempermudah material melakukan loncatan dari pita valensi menuju pita konduksi dan meminimalisir terjadinya rekombinasi (Jin *et al.*, 2020).

Nilai *band gap* yang diperoleh akan memiliki daerah penyerapan pada panjang gelombang masing-masing. Pada nilai 3,15 eV akan menyerap pada panjang gelombang 394 nm dan untuk nilai 3,052 eV pada panjang gelombang 408 nm. Nilai panjang gelombang akan berbanding terbalik dengan energi *band gap*, semakin besar nilai *band gap* maka semakin kecil panjang gelombang yang dihasilkan. Panjang gelombang dari TiO₂/rGO menunjukkan penyerapan terjadi pada sinar tampak (380-750 nm). Dengan demikian, penambahan rGO dalam TiO₂ dapat menggeser penyerapan sinar oleh material TiO₂ yang awalnya berada dalam penyerapan sinar UV (100-400 nm) lalu bergeser mendekati penyerapan sinar tampak (Winayu *et al.*, 2022).

5.9 Karakterisasi SEM-EDX

Analisis karakteristik material GO, rGO, TiO₂, dan TiO₂/rGO melalui *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dilakukan untuk mengetahui morfologi dan unsur yang terkandung dalam material. Secara lebih jelasnya SEM akan menggunakan berkas elektron yang digunakan untuk mendapatkan informasi yang menampilkan permukaan sampel. Jenis sinyal utama yang mendeteksi gambar dengan skala tertentu dan berwarna abu-abu dari material yang dianalisis yaitu *backscattered* (BSE) dan elektron sekunder (SE). Pada EDX dapat digunakan untuk analisis kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif akan menampilkan jenis unsur dalam material sedangkan analisis kuantitatif yang menunjukkan presentase konsentrasi setiap unsur. Instrumen utama pada analisis SEM-EDX yaitu SEM, sedangkan EDX digunakan sebagai metode pendukung untuk melengkapi hasil yang diperoleh melalui analisis permukaan pada SEM. Hasil yang diperoleh untuk analisis menggunakan SEM disajikan dalam Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Hasil uji SEM (a) GO, (b) rGO, (c) TiO₂, dan (d) TiO₂/rGO dengan perbesaran 10.000x

Berdasarkan hasil analisis menggunakan SEM pada Gambar 5.11, didapatkan morfologi material GO terlihat lebih halus apabila dibandingkan dengan morfologi rGO. Terlihat morfologi dari rGO berupa lembaran tidak teratur yang menandakan bahwa GO telah berhasil disintesis menjadi rGO dengan adanya lembaran-lembaran yang lebih tipis daripada GO. Hal ini juga dipengaruhi dengan adanya gugus fungsi karboksilat (COOH) dalam senyawa pektin yang terkandung dalam ekstrak kulit pisang kepok. Ekstrak kulit pisang kepok digunakan dalam sintesis rGO sehingga mampu membantu dalam pengurangan oksigen dalam GO selama terjadinya proses reduksi. Perbedaan morfologi permukaan pada GO dan rGO juga dipengaruhi oleh perlakuan yang digunakan selama sintesis. Pada sintesis GO terjadi penambahan zat pengoksidasi yaitu KMnO₄ dan juga terdapat pemanasan. Pada sintesis rGO melalui tahap sonikasi untuk memecah GO agar

terlepas dari lapisan-lapisan penyusunnya melalui vibrasi ultrasonik (Widodo *et al.*, 2019).

Morfologi material TiO₂/rGO yang dihasilkan memiliki permukaan yang lebih halus dan seperti gumpalan putih berukuran kecil yang tidak seragam. Berdasarkan hasil yang didapatkan, dapat dikatakan bahwa rGO berhasil terdoping dalam TiO₂ yang ditandai dengan adanya partikel gumpalan putih. Morfologi permukaan TiO₂ berupa lapisan tipis berwarna putih yang terlihat seperti retakan-retakan. Hal ini dipengaruhi oleh ketebalan dari lapisan TiO₂ yang sangat tipis yang mana mempengaruhi struktur morfologi material karena semakin tebal lapisan TiO₂ maka semakin baik permukaan yang dihasilkan (Pataya *et al.*, 2016).

Hasil yang didapatkan melalui analisis EDX untuk mendukung hasil analisis dari SEM, didapatkan berbagai kandungan unsur-unsur yang terdapat dalam sampel. Kandungan sampel dapat dilihat melalui Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Presentase unsur material GO, rGO, TiO₂, dan TiO₂/rGO

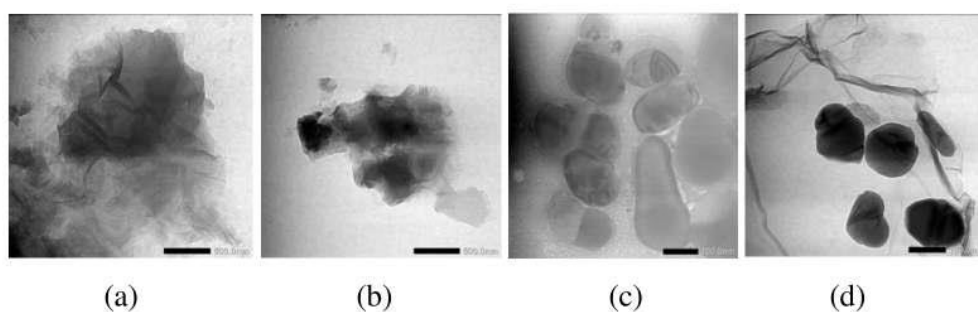
| Sampel | Presentase Massa (%) | | | | |
|-----------------------|----------------------|-------|-------|------|------|
| | C | O | Ti | K | Al |
| GO | 70,08 | 29,92 | - | - | - |
| rGO | 75,2 | 24,48 | - | 0,32 | - |
| TiO ₂ | 6,26 | 71,1 | 20,69 | - | 1,36 |
| TiO ₂ /rGO | 21,01 | 59,61 | 18,07 | - | 1,31 |

Berdasarkan hasil analisis EDX, didapatkan bahwa pada GO dan rGO terdapat unsur C dan O yang mana presentase massanya lebih banyak C. Hasil yang didapatkan pada GO dan rGO didominasi oleh unsur C, hal ini sesuai dengan susunan atom material tersebut. Pada rGO terdapat unsur lain dengan presentase kecil yaitu K, unsur ini bisa didapatkan karena terdapat penggunaan ekstrak kulit pisang sebagai agen pereduksi dalam proses sintesis rGO. Pada TiO₂/rGO dan TiO₂ terdapat beberapa unsur seperti C, O, Ti, dan Al, tetapi unsur yang mendominasi diantara kedua sampel tersebut sedikit berbeda. Dalam TiO₂/rGO setelah unsur dominan berupa O, disusul dengan C lalu Ti dan yang terakhir Al, sedangkan dalam

TiO₂ berbeda. Presentase unsur terbesar setelah O adalah Ti lalu C dan yang terakhir berupa Al. Perbedaan ini disebabkan karena pada TiO₂/rGO telah mengikat rGO yang membawa banyak unsur C. Unsur dominan berupa O, C dan Ti pada TiO₂/rGO menandakan bahwa sintesis berhasil dilakukan. Pada TiO₂/rGO dan TiO₂ terdapat unsur Al dengan presentasi kecil, hal ini disebabkan TiO₂ yang digunakan merupakan TiO₂ komersil. Kemurnian dari TiO₂ belum bisa dijamin dengan baik, tetapi keberadaan Al yang kecil tidak mengganggu peran TiO₂ dalam proses fotokatalisis (Aliah & Karlina, 2015).

5.10 Karakterisasi TEM

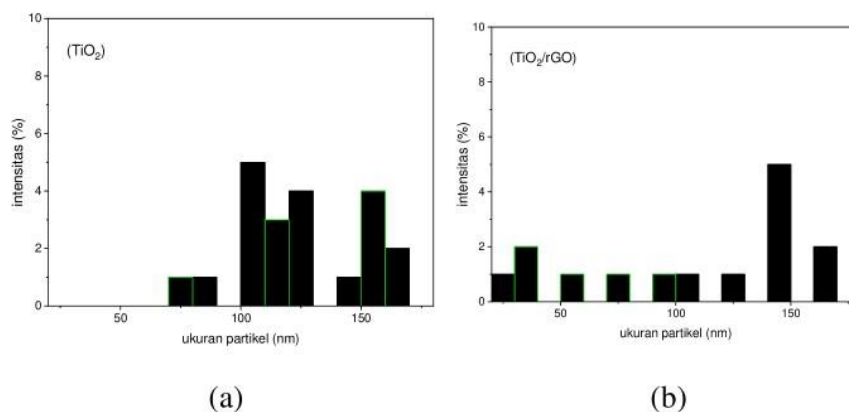
Karakterisasi material menggunakan *Transmission Electron Microscopy* (TEM) bertujuan untuk mengetahui morfologi dari material hingga perbesaran yang lebih spesifik. Material yang dianalisis menggunakan TEM, meliputi GO, rGO, TiO₂, dan TiO₂/rGO. Analisis menggunakan TEM akan menghasilkan informasi mengenai bentuk material yang ditampilkan dengan sebuah gambar. Hasil gambar yang diperoleh dapat diubah menjadi hasil dalam bentuk kuantitatif dengan menggunakan aplikasi *ImageJ*. Perhitungan kuantitatif yaitu berupa ukuran partikel material yang dianalisis. Morfologi untuk material GO, rGO, TiO₂, dan TiO₂/rGO hasil karakterisasi TEM disajikan pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Hasil uji TEM (a) GO, (b) rGO, (c) TiO₂, dan (d) TiO₂/rGO

Berdasarkan Gambar 5.12, pada morfologi material GO terlihat berupa lembaran yang tidak teraktur dan memiliki ketebalan berbeda-beda, sedangkan pada rGO terlihat lembaran mulai menumpuk. Hal ini ditandai dengan lapisan yang

diperoleh pada rGO warnanya lebih gelap apabila dibandingkan dengan GO. Pada TiO_2 diperoleh hasil berupa gumpalan-gumpalan bulat yang merupakan penyusun TiO_2 , bentuk yang diperoleh ukurannya tidak seragam dan berwarna abu-abu. Material TiO_2/rGO terlihat bahwa komposit ini merupakan gabungan dari TiO_2 dan rGO. Hal ini terlihat dari morfologi yang diperoleh, dengan adanya lembaran-lembaran yang merupakan rGO dan gumpalan bulat seperti pada material TiO_2 . Hasil morfologi material TiO_2 dan TiO_2/rGO diolah menjadi hasil kuantitatif, yang disajikan pada Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Histogram (a) TiO_2 dan (b) TiO_2/rGO

Pada Gambar 5.13 menampilkan histogram untuk ukuran partikel dari material TiO_2 dan TiO_2/rGO . Terlihat bahwa ukuran partikel dari kedua sampel tidak seragam. Ukuran partikel TiO_2 berada pada kisaran 60-180 nm sedangkan material TiO_2/rGO untuk ukuran partikel berada pada kisaran 20-160 nm. Berdasarkan hasil yang diperoleh, maka dapat dikatakan bahwa adanya rGO dapat memperkecil ukuran partikel dari TiO_2 .

5.11 Uji fotodegradasi bakteri

Uji fotodegradasi pada bakteri *E. coli* dilakukan menggunakan metode cakram, yaitu metode antimikroba dengan cakram kertas yang sebelumnya telah direndam larutan sampel. Langkah pertama yaitu dengan menyiapkan sampel untuk agen pendegradasi dan inkubasi bakteri yang dilakukan dalam inkubator selama 3x24 jam pada suhu 37 °C. Bakteri *E. coli* dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang

berisi NB sebagai medium dengan perbandingan 1:9, 1 untuk bakteri dan 9 untuk medium NB. Setelah bakteri berhasil dikembangbiakan melalui proses inkubasi pada suhu 37 °C selama 3x24 jam seperti pada Gambar 5.14, maka bakteri siap untuk digunakan. Selanjutnya pembuatan medium padat sebagai media untuk uji bakteri. Medium dibuat menggunakan campuran antara 2,8 gram NA dan 2,2 gram MHB untuk setiap 100 mL akuades. Campuran larutan kemudian dipanaskan di atas bunsen agar serbuk larut sempurna dan menjadi homogen. Setelah larut sempurna, medium di autoklaf selama 2 jam untuk sterilisasi supaya tidak terdapat kontaminan yang dapat memengaruhi selama proses uji. Larutan kemudian dituangkan ke dalam cawan petri steril hingga 2/3 bagian dan tunggu hingga mengeras (Tyas *et al.*, 2021).



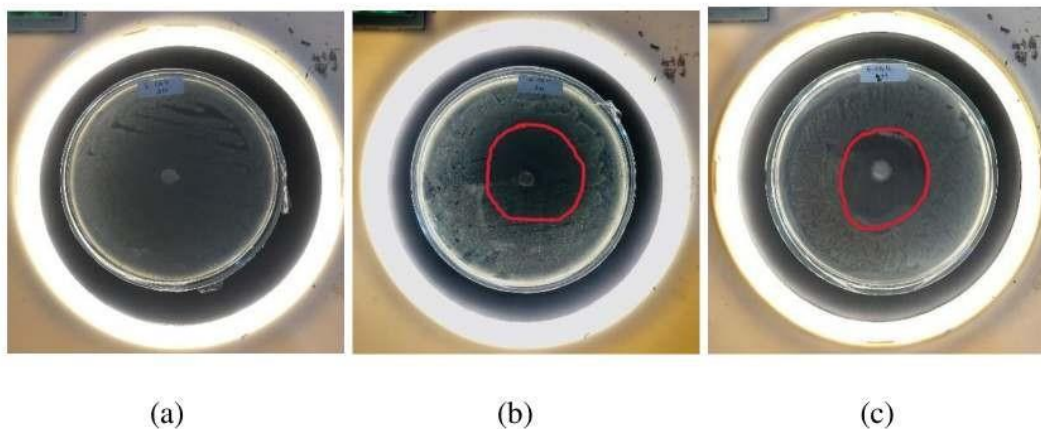
Gambar 5.14 Bakteri *E.coli*

Keefektivitasan dari material TiO₂/rGO dapat dilihat dari terbentuknya zona bening pada medium yang digunakan dalam penelitian. Zona bening yang terbentuk merupakan tanda kepekaan *E. coli* pada TiO₂/rGO sebagai agen pendegradasi yang mana dinyatakan dengan lebar diameter zona hambat. Daerah jernih di sekeliling cakram pada media yang digunakan untuk pertumbuhan bakteri dinamakan zona hambat (Trisia, 2018). Diameter zona hambat dapat dihasilkan melalui perhitungan dengan rumus berikut ini:

$$D \text{ (mm)} = \text{diameter zona bening (mm)} - \text{diameter cakram (mm)}$$

5.11.1 Variasi konsentrasi TiO₂/rGO

Variasi konsentrasi dari TiO₂/rGO dilakukan untuk mengetahui konsentrasi material yang paling optimal untuk fotodegradasi bakteri *E. coli*. Variasi yang dilakukan yaitu perbandingan NB (mL) dengan sampel padatan TiO₂/rGO (gram) sebanyak 1:10, 1:5, dan 1:1 di mana 1 untuk sampel yaitu TiO₂/rGO dan 10, 5, serta 1 untuk medium NB. Perbandingan ini digunakan untuk memperoleh material yang awalnya berupa serbuk padatan sehingga dihasilkan larutan yang dapat menyerap dalam kertas cakram. Media padat sebagai tempat uji, dibuat dengan mencampurkan MHB dan NA yang dilarutkan dalam akuades dan di autoklaf untuk sterilisasi media. Larutan untuk media padat setelah di sterilisasi, di tuang dalam cawan petri dan ditunggu hingga padat. Hasil yang didapatkan dari variasi konsentrasi disajikan melalui Gambar 5.15.



Gambar 5.15 Variasi konsentrasi TiO₂/rGO (a) 1:10, (b) 1:5, dan (c) 1:1

Berdasarkan hasil uji TiO₂/rGO pada bakteri *E. coli* dengan variasi konsentrasi, dapat dilihat bahwa konsentrasi yang paling efektif untuk degradasi bakteri *E. coli* yaitu konsentrasi 1:1. Dihasilkan zona hambat dengan diameter sebesar 24 mm. Pada konsentrasi 1:5 atau Gambar 5.13 (b), material mulai terlihat memiliki potensi, karena sudah mulai terlihat adanya zona bening. Variasi 1:5 zona bening yang dihasilkan tidak terlihat dengan jelas sehingga belum bisa dilakukan perhitungan untuk mendapatkan zona hambatnya. Material TiO₂/rGO dengan

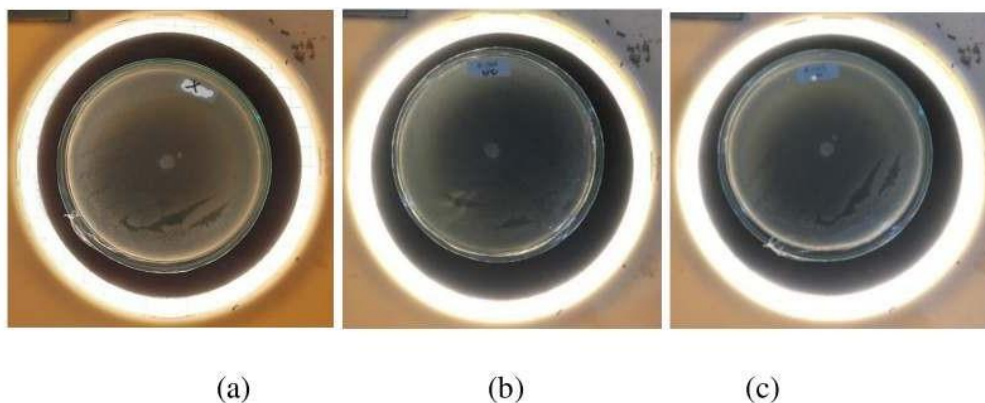
konsentrasi 1:10 tidak terlihat adanya zona bening yang menandakan material belum dapat mendegradasi bakteri *E. coli*.

Hasil pengujian menandakan bahwa untuk mendegradasi *E. coli* melalui fotokatalis TiO_2/rGO , memerlukan material dengan konsentrasi tinggi. Hal ini dikarenakan semakin tingginya konsentrasi TiO_2/rGO maka energi yang dibutuhkan untuk fotodegradasi bakteri semakin kecil, sehingga zona hambat yang dihasilkan semakin besar. Dibuktikan dengan formula konsentrasi TiO_2/rGO pada cawan (a) lebih kecil dibandingkan dengan formula konsentrasi pada cawan (b) dan (c).

5.11.2 Variasi jenis sinar

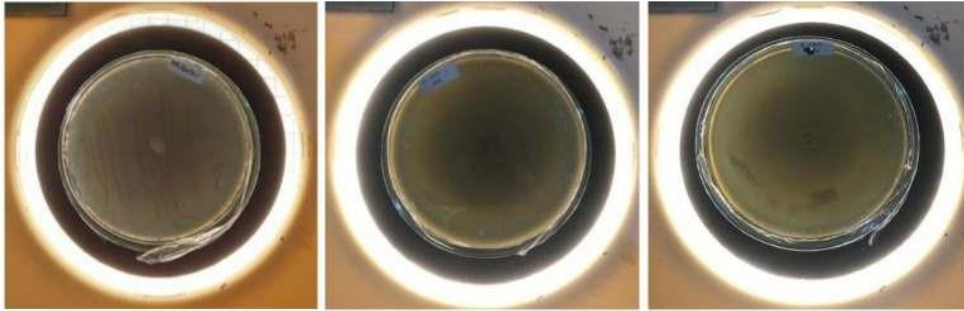
Variasi ini dilakukan dengan menggunakan 3 jenis perlakuan yang berbeda dengan konsentrasi material TiO_2/rGO yaitu 1:10, 1:5, dan 1:1. Pertama dilakukan tanpa penyinaran atau langsung masuk ke dalam inkubator, kedua disinari menggunakan sinar matahari selama 2 jam dan yang terakhir menggunakan lampu UV tipe C selama 2 jam penyinaran.

- Kosentrasi TiO_2/rGO 1:10



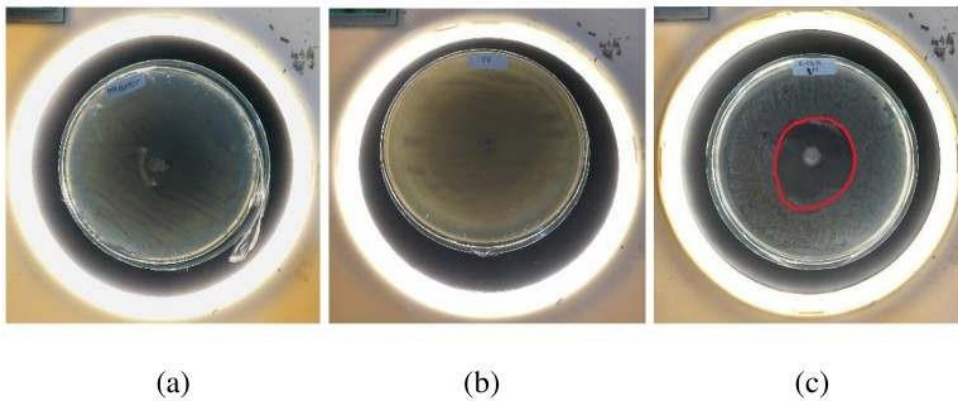
Gambar 5.16 Variasi jenis sinar (a) tanpa sinar, (b) lampu UV, dan (c) sinar matahari.

- Kosentrasi TiO_2/rGO 1:5



Gambar 5.17 Variasi jenis sinar (a) tanpa sinar, (b) lampu UV, dan (c) sinar matahari.

- Kosentrasi TiO_2/rGO 1:1



Gambar 5.18 Variasi jenis sinar (a) tanpa sinar, (b) lampu UV, dan (c) sinar matahari.

Hasil yang didapatkan dari adanya variasi sinar, berdasarkan Gambar 5.16 dan Gambar 5.17. Tidak terbentuk zona hambat pada semua perlakuan, hal ini menandakan material TiO_2/rGO belum cukup efektif untuk mendegradasi bakteri *E. coli*. Pada Gambar 5.18 untuk media yang tidak disinari tidak terbentuk zona bening di sekitar cakram, akan tetapi terlihat potensi material bekerja sebagai agen pendegradasi. Pada cawan petri yang disinari menggunakan lampu UV sama sekali tidak menunjukkan adanya zona bening yang terbentuk, sehingga dapat dikatakan material TiO_2/rGO tidak bekerja dengan baik oleh bantuan sinar dari lampu UV. Cawan petri yang disinari dengan cahaya matahari, terlihat adanya zona bening

pada sekitar cakram dan melalui perhitungan didapatkan diameter zona hambat yaitu 24 mm. Hasil analisis akan disajikan dalam Tabel 5.5

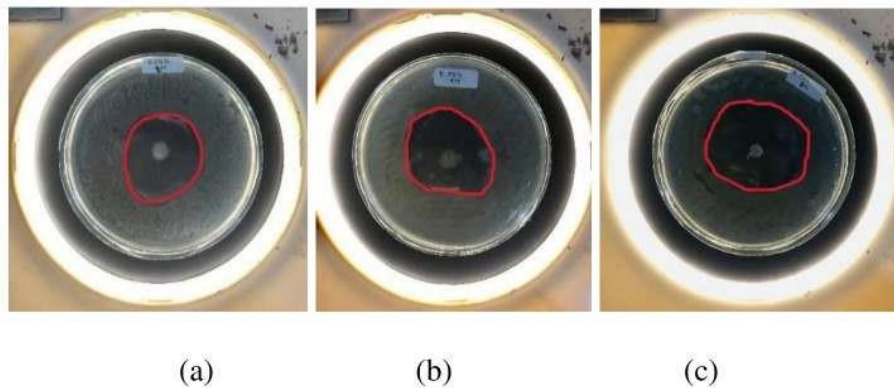
Tabel 5.5 Zona hambat berdasarkan variasi jenis sinar

| Material | Zona hambat (mm) | | |
|-----------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | Tanpa sinar | UV | Sinar matahari |
| TiO ₂ /rGO | | | |
| 1:10 | Tidak terbentuk | Tidak terbentuk | Tidak terbentuk |
| 1:5 | Tidak terbentuk | Tidak terbentuk | Tidak terbentuk |
| 1:1 | Tidak terbentuk | Tidak terbentuk | 24 mm |

Berdasarkan hasil yang diperoleh, bakteri *E. coli* berhasil terdegradasi pada perlakuan menggunakan sinar matahari alami. Hal ini disebabkan karena TiO₂/rGO merupakan material fotokatalis sehingga memerlukan bantuan sinar untuk memaksimalkan kerjanya. Pada cawan (a) tidak ada perlakuan penyinaran, sehingga TiO₂/rGO tidak bekerja dengan baik sebagai agen pendegradasi bakteri *E. coli*. Penyinaran menggunakan sinar matahari memanfaatkan adanya UV A dan V B. Sinar matahari yang menembus atmosfer bumi hanya UV A (400-315 nm) dan UV B (315-280 nm), untuk sinar UV C (280-200 nm) tidak dapat menembus atmosfer bumi (Seran *et al.*, 2018). Pada penyinaran menggunakan lampu UV, lampu yang digunakan merupakan lampu UV C 8W. Sinar UV A dan UV B berdasarkan panjang gelombangnya termasuk kedalam sinar tampak, sedangkan untuk panjang gelombang UV C tergolong sinar UV saja. Material TiO₂/rGO berdasarkan *band gap* (3,052 eV) menunjukkan panjang gelombang pada sinar tampak, oleh karena itu TiO₂/rGO menyerap sinar untuk proses fotokatalisis hanya dari sinar matahari. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa TiO₂/rGO efektif mendegradasi *E. coli* melalui bantuan sinar matahari.

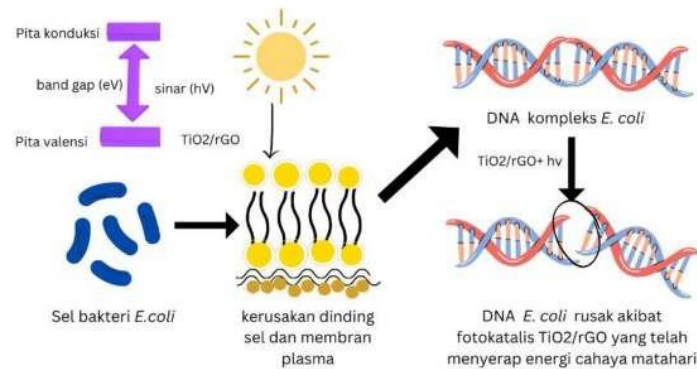
5.11.3 Lama waktu penyinaran

Penyinaran dalam proses ini dilakukan menggunakan sinar matahari alami dengan variasi lama penyinaran selama 2 jam, 4 jam, dan 6 jam. Penyinaran dengan matahari berdasarkan hasil variasi jenis sinar didapatkan hasil bahwa sinar UV dari matahari paling optimal dalam uji fotodegradasi bakteri *E. coli*. Oleh karena itu, dilakukan variasi lama waktu penyinaran untuk mengetahui keefektifitasan material TiO_2/rGO untuk fotodegradasi bakteri *E. coli* menggunakan sinar matahari.



Gambar 5.19 Lama waktu penyinaran (a) 2 jam, (b) 4 jam, dan (c) 6 jam.

Berdasarkan hasil yang terlihat pada Gambar 5.19, secara fisik terlihat bahwa lamanya waktu penyinaran menggunakan sinar matahari memang memengaruhi kerja TiO_2/rGO . Melalui perhitungan diameter zona hambat (D), pada cawan dengan penyinaran selama 2, 4, dan 6 jam secara berurutan zona hambat yang terbentuk sebesar 24, 28, dan 35 mm. Hasil pengujian berdasarkan lama waktu penyinaran menunjukkan bahwa semakin lama penyinaran cawan petri, semakin besar zona hambat yang dihasilkan. Hal ini membuktikan bahwa aktivitas fotokatalitik TiO_2/rGO dipengaruhi oleh sinar yang membantu memperbesar daya hambat dari pertumbuhan bakteri *E. coli*. Mekanisme proses fotodegradasi bakteri *E. coli* ditunjukkan pada Gambar 5.18.



Gambar 5.20 Ilustrasi fotodegradasi *E. coli* menggunakan TiO_2/rGO

Berdasarkan Gambar 5.20, proses fotokatalisis pada TiO_2/rGO akan mengoksidasi air dan menghasilkan OH radikal yang mana akan merusak membran plasma pada dinding sel bakteri *E. coli*. Kerusakan pada dinding sel dan membrane plasma akan mempengaruhi jaringan di bawahnya. Adanya TiO_2/rGO akan merusak DNA *E. coli* sehingga dengan rusaknya DNA tersebut, *E. coli* berhasil terdegradasi. Aktivitas fotokatalitik TiO_2/rGO dengan memanfaatkan sinar matahari, dapat membantu memperbesar daya hambat pertumbuhan bakteri *E. coli* sedangkan untuk penyinaran menggunakan lampu UV hasil yang didapatkan kurang efektif. Hal ini dikarenakan energi yang didapatkan dari sinar UV tidak mampu meningkatkan aktivitas fotokatalitik TiO_2/rGO sebagai material fotokatalis. Proses penekanan pertumbuhan bakteri terjadi selama energi *band gap* pada pita konduksi dan pita valensi pada panjang gelombang sinar tampak. Oleh karena itu, kinerja dari TiO_2/rGO dalam fotodegradasi *E. coli* semakin baik seiring dengan lamanya penyinaran menggunakan matahari (Pramadewi & Wahyuni, 2015).

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Biosintesis komposit TiO₂/grafena oksida tereduksi menggunakan ekstrak kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca L.*) dilakukan melalui sintesis GO menggunakan metode Tour yang memanfaatkan KMnO₄ sebagai zat pengoksidasi dan H₂SO₄ untuk pemberi suasana asam guna mempermudah proses oksidasi. Kemudian dilakukan sintesis rGO dengan ekstrak kulit pisang sebagai agen pereduksi melalui metode sonikasi. Sintesis TiO₂/rGO dilakukan melalui metode hidrotermal, menggunakan serbuk rGO yang dilarutkan dalam akuades dan etanol, kemudian ditambahkan dengan TiO₂, setelah itu didapatkan komposit TiO₂/rGO sebagai fotokatalis.
2. Material TiO₂/rGO dikarakterisasi menggunakan XRD, GSA, FTIR, DR-UV, TEM dan SEM-EDX. Hasil XRD diperoleh untuk TiO₂ berada pada fasa rutil dengan rata-rata ukuran kristal pada TiO₂/rGO sebesar 88,505 nm. Analisis menggunakan GSA menunjukkan TiO₂/rGO memiliki tipe pori IV atau mesopori (2-50 nm), dengan luas permukaan sebesar 22,664 m²/g. Berdasarkan data hasil FTIR diperoleh gugus fungsi Ti-O-Ti (648,96 cm⁻¹) pada TiO₂ yang menunjukkan serapan khas untuk TiO₂. Penggabungan TiO₂ dengan rGO menunjukkan hasil yang baik dengan menurunnya nilai *band gap* yang awalnya sebesar 3,15 eV untuk TiO₂ menjadi 3,052 eV pada TiO₂/rGO. Morfologi permukaan material TiO₂/rGO berdasarkan hasil SEM-EDX berupa gumpalan putih dengan zona hitam disekitarnya. Hasil morfologi TEM menunjukkan TiO₂/rGO tersusun atas gumpalan hitam berupa TiO₂ dan lembaran-lembaran yang merupakan rGO.
3. Kemampuan fotokatalis TiO₂/rGO tereduksi ekstrak kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca L.*) untuk fotodegradasi bakteri *E. coli* efektif pada

konsentrasi material TiO_2/rGO 50 % dan menggunakan sinar matahari dengan lama penyinaran selama 2 jam, 4 jam, dan 6 jam. Kemampuan fotokatalis dapat diidentifikasi melalui zona hambat yang terbentuk dan didapatkan hasil secara berurutan sebesar 24 mm, 28 mm, dan 35 mm. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa semakin lama waktu penyinaran maka kerja fotokatalis TiO_2/rGO semakin baik.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk peneliti selanjutnya, seperti:

1. Pada proses penggabungan TiO_2 dengan rGO dilakukan hanya satu perbandingan yaitu 1:10 sehingga TiO_2 masih mendominasi komposit TiO_2/rGO , masih perlu adanya penelitian mendalam mengenai komposisi optimal untuk membentuk komposit TiO_2/rGO sebagai fotokatalis.
2. Diharapkan pada penelitian selanjutnya terdapat penambahan parameter keberhasilan melalui perhitungan koloni bakteri *E. coli* pada proses uji fotodegradasi *E. coli* menggunakan fotokatalis TiO_2/rGO .

DAFTAR PUSTAKA

- Adhayanti, I., Abdullah, T., & Romantika, R. (2018). Uji Kandungan Total Polifenol dan Flavonoid Ekstrak Etil Asetat Kulit Pisang Raja (*Musa paradisiaca* var. *sapientum*). *Media Farmasi*, 14(1), 39.
- Ailin, A., Yarangga, C., Agus, D., & Harjanto. (2017). Studi Grafir Berdasarkan Analisis Petrografi dan SEM/EDX pada Daerah Windesi Kabupaten Teluk Wondama , Provinsi Papua. *Prosiding Seminar Nasional XII "Rekayasa Teknologi Industri Dan Informasi 2017,"* 185–191.
- Aliah, H., & Karlina, Y. (2015). Semikonduktor TiO₂ Sebagai Material Fotokatalis Berulang. *Jurusan Fisika UIN SGD Bandung*, IX(1), 185–203.
- Andriansyah, I., Wijaya, H. N. M., & Purwaniati, P. (2021). Analisis Adulteran Pada Kopi Luwak Dengan Metode *Fourier Transform Infrared* (FTIR). *Jurnal Kimia Riset*, 6(1), 26.
- Ashfaq, M. Y., Al-Ghouti, M. A., Da'na, D. A., Qiblawey, H., & Zouari, N. (2020). Investigating The Effect of Temperature on Calcium Sulfate Scaling of Reverse Osmosis Membranes Using FTIR, SEM-EDX and Multivariate Analysis. *Science of the Total Environment*, 703, 134726.
- Aziz, I., Kurnianti, Y., Saridewi, N., Adhani, L., & Permata, W. (2020). Utilization of Coconut Shell as Cr₂O₃ Catalyst Support for Catalytic Cracking of Jatropa Oil into Biofuel. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 23(2), 39–45.
- Bulele, T., Rares, F. E. S., & Porotu'o, J. (2019). Identifikasi Bakteri dengan Pewarnaan Gram pada Penderita Infeksi Mata Luar di Rumah Sakit Mata Kota Manado. *Jurnal E-Biomedik*, 7(1), 30–36.
- Burhanuddin Ihsan. (2021). Identification of Pathogenic Bacteria Contamination (*Vibrio spp . and Salmonella spp.*) in Flying Fish and Milkfish in Traditional Markets. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 24.
- Christyaningsih, R. Y. (2020). Aplikasi Fisika Kuantum-Hamburan Pada " X-Ray Diffraction (XRD)" . *Jurnal Fisika : Fisika Sains Dan Aplikasinya*, June.
- Dewi, A. P., Wardaniati, I., & Suryani, E. Y. (2021). Identifikasi Bakteri *Escherichia coli* pada Air Minum Isi Ulang di Kelurahan Tampan Kecamatan Payung Sekaki Pekanbaru. *Jurnal Farmasi Higea*, 13(2), 73–78.
- Didik. (2020). Penenruan Ukuran Butir Kristal CuCr 0,98 Ni 0,02 Menggunakan X-Ray Difrraction (XRD) dan Scanning Electron Microscope (SEM). *Indoensian Physical Review*, 3(1), 6–14.
- Ellingham, S. T. D., Thompson, T. J. U., & Islam, M. (2018). Scanning Electron Microscopy–Energy-Dispersive X-Ray (SEM/EDX): A Rapid Diagnostic Tool to Aid the Identification of Burnt Bone and Contested Cremains. *Journal of Forensic Sciences*, 63(2), 504–510.

- Fauzi, F., & Sunu, W. (2021). Jurnal Fisika Analisis Karakteristik *Graphene Oxide* dan Reduksinya melalui Gelombang Mikro. *Universitas Negeri Semarang*, 11(1), 9–18.
- Febriza, M. A., Adrian, Q. J., & Sucipto, A. (2021). Penerapan Ar dalam Media Pembelajaran Klasifikasi Bakteri. *Jurnal BIOEDUIN: Program Studi Pendidikan Biologi*, 11(1), 10–18.
- Gniadek, M., & Dąbrowska, A. (2019). The Marine Nano and Microplastics Characterisation by SEM-EDX: The Potential of The Method in Comparison with Various Physical and Chemical Approaches. *Marine Pollution Bulletin*, 148(July), 210–216.
- Habte, A. T., Ayele, D. W., & Hu, M. (2019). Synthesis and Characterization of Reduced Graphene Oxide (rGO) Started from Graphene Oxide (GO) Using the Tour Method with Different Parameters. *Advances in Materials Science and Engineering*, Vc.
- Hakim, A. R., & Haris, A. (2016). Sintesis Fotokatalis ZnO-Al dan Aplikasinya pada Degradasi Fenol dan Reduksi Cd(II) secara Simultan. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 19(1), 7.
- Hidayah, N. M. S., Liu, W. W., Lai, C. W., Noriman, N. Z., Khe, C. S., Hashim, U., & Lee, H. C. (2017). Comparison on Graphite, Graphene Oxide and Reduced Graphene Oxide: Synthesis and Characterization. *AIP Conference Proceedings*, 1892.
- Hidayat, A., Setiadji, S., & Hadisantoso, E. P. (2019). Sintesis Oksida Grafena Tereduksi (rGO) dari Arang Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera*). *Al-Kimiya*, 5(2), 68–73.
- Hidayati, U. F., Aritonang, A. B., & Destiarti, L. (2021). TiO₂-rGO Composite for Photocatalytic Decolorization of Methylene Blue Under the Visible Light Illumination. *Berkala Sainstek*, 9(4), 167.
- Idisi, D. O., Oke, J. A., & Bello, I. T. (2021). Graphene Oxide/Au Nanoparticles: Synthesis, Properties, and Application: A mini-review. *International Journal of Energy Research*, 45(14), 19772–19788.
- Idris, A. M., & El-Zahhar, A. A. (2019). Indicative Properties Measurements by SEM, SEM-EDX and XRD for Initial Homogeneity Tests of New Certified Reference Materials. *Microchemical Journal*, 146 (January), 429–433.
- Illahi, A. N., Rouf, U. A., Maulidianingtyas, H., Hastuti, E., Prasetyo, A., & Istighfarini, V. N. (2020). Sintesis dan Karakterisasi Material Fotokatalis Heterojunction Bi₄Ti₃O₁₂/SrTiO₃ dengan Metode Sonikasi. *Jurnal Kimia Riset*, 5(1), 36.
- Jahriza, A. H. S., & Erlambang, (2021). Sintesis Oksida Grafena dari Arang Tempurung Kelapa Untuk Aplikasi Antibakteri Dan Antioksidan. *Jurnal Ilmu Kimia Dan Terapan*, 8(2), 51–58.

- Jin, Zheng, Y., Podkolzin, S. G., & Lee, W. (2020). Band Gap of Reduced Graphene Oxide Tuned by Controlling Functional Groups. *Journal of Materials Chemistry C*, 8(14), 4885–4894.
- Joost, U., Juganson, K., Visnapuu, M., Mortimer, M., Kahru, A., Nõmmiste, E., Joost, U., Kisand, V., & Ivask, A. (2015). Photocatalytic Antibacterial Activity of Nano-TiO₂ (Anatase)-Based Thin Films: Effects on *Escherichia coli* Cells and Fatty Acids. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 142, 178–185.
- Khamsucharit, P., Laohaphatanalert, K., Gavinlertvatana, P., Sriroth, K., & Sangseethong, K. (2018). Characterization of Pectin Extracted from Banana Peels of Different Varieties. *Food Science and Biotechnology*, 27(3), 623–629.
- Koestiari, T. (2013). Perbedaan Karakter Tiga Jenis Bentonit Ditinjau dari Tiga Macam Cara Analisis. *Jurnal Kimia Riset*, 1(2), 57–63.
- Kotsyubynsky, V. O., Boychuk, V. M., Budzulyak, I. M., Rachiy, B. I., Hodlevska, M. A., Kachmar, A. I., & Hodlevsky, M. A. (2021). Graphene Oxide Synthesis Using Modified Tour Method. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 12(3).
- Kraupner, N., Hutinel, M., Schumacher, K., Gray, D. A., Genheden, M., Fick, J., Flach, C. F., & Larsson, D. G. J. (2021). Evidence for Selection of Multi-Resistant *E. coli* by Hospital Effluent. *Environment International*, 150(February), 106436.
- Kusumattaqjin, F., Kurnyawaty, N., Halik, A., & Hira, T. (2020). Analisa Struktur Oksida Grafena Tereduksi *Structural Analysis Of Reduced Graphene Oxide*. *Jurnal Pendidikan Kimia Dan Ilmu Kimia*, 3, 32–41.
- Mahendran, G. B., Ramalingam, S. J., Rayappan, J. B. B., Kesavan, S., Periathambi, T., & Nesakumar, N. (2020). Green Preparation of Reduced Graphene Oxide by *Bougainvillea glabra* Flower Extract and Sensing Application. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(17), 14345–14356.
- Mahmoudi, G., Sufimahmoudi, E., & Sajadi, S. M. (2020). Bioactive Metal Oxide Nanoparticles from Some Common Fruit Wastes and Euphorbia Condylcarpa Plant. *Food Science and Nutrition*, 8(10), 5521–5531.
- Manjunatha, Usharani, & Naik, D. (2019). Synthesis and Characterization of ZnO Nanoparticles: A review Manjunatha RL, Usharani KV and Dhananjay Naik. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(3), 1095–1101.
- Marcelina, V., Yuliasari, F., Hartati, Y. W., Fitriawati, F., & Syakir, N. (2017). Pembuatan Lapisan Tipis Oksida Grafena Tereduksi sebagai Material Elektroda Sistem Kapasitor dan Karakterisasinya. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 13(3), 112.
- Marjoni, I., Ali, U., Faizil, N., Ali, A., & Khatijah, S. (2020). Synthesis and Characterization of TiO₂ Semiconductor Doped by AgNO₃ and Their

- Application as Photoanode in Dye-sensitized Solar Cells. *Jurnal Kependidikan Fisika*, 8(1), 1–8.
- Masriatini, R., Fatimura, M., & Putri, F. (2020). Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Menjadi Karbon Aktif dengan Variasi Konsentrasi Aktivator NaCl. *Jurnal Redoks*, 5(2), 87.
- Memon, A., Li, A., Jacqueline, N., Kashif, M., & Ma, M. (2020). Study of Gas Sorption, Stress Effects and Analysis of Effective Porosity and Permeability for Shale Gas Reservoirs. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 193 (November 2019), 107370.
- Mobeen Amanulla, A., & Sundaram, R. (2019). Green Synthesis of TiO₂ Nanoparticles Using Orange Peel Extract for Antibacterial, Cytotoxicity and Humidity Sensor Applications. *Materials Today: Proceedings*, 8, 323–331.
- Mohammed, A., & Abdullah, A. (2019). *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. January.
- Mukodiningsih, S., Sulistiyanto, B., & Sholikhah, S. (2019). Populasi Bakteri dan Keberadaan Bakteri gram (+) dan (-) dalam Pellet Calf Starter yang Ditambah Limbah Kubis Fermentasi. *Jurnal Ilmu Nutrisi Dan Teknologi Pakan*, 16(3), 65.
- Nainani, R. K., & Thakur, P. (2016). Facile Synthesis of TiO₂-rGO Composite with Enhanced Performance for The Photocatalytic Mineralization of Organic Pollutants. *Water Science and Technology*, 73(8), 1927–1936.
- Nur, A., Jumari, A., Nazriati, N., & Fajaroh, F. (2017). Synthesis of TiO₂ by Hydrolysis/Electrochemical to Reduce Hazardous Disinfecting Materials. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 1(1), 21.
- Nurhidayah, V., Manurung, P., & Ginting, E. (2022). Pengaruh Laju Penambahan Doping Fosfor terhadap Struktur Kristal dan Luas Permukaan Spesifik Nanotitania dengan Metode Sol Gel. *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*, 2(2), 72–79.
- Pataya, S. A., Gareso, P. L., & Juarlin, E. (2016). Karakterisasi Lapisan Tipis Titanium Dioksida (TiO₂) yang Ditumbuhkan dengan Metode Spin Coating Di atas Substrat Kaca. *Ophthalmology*, 104(11), 1785–1793.
- Petit, T., & Puskar, L. (2018). FTIR Spectroscopy of Nanodiamonds: Methods and interpretation. *Diamond and Related Materials*, 89, 52–66.
- Pramadewi, Z. I., & Wahyuni, S. (2015). Sintesis Nanokomposit TiO₂/SiO₂-PVA dan Aplikasi sebagai Antibakteri. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 4(3), 0–4.
- Pratama, A., Destiarti, L., & Adhitiyawarman, A. (2021). Sintesis Titanium Oksida/Reduced Graphene Oxide (TiO₂/rGO) untuk Fotokatalisis Bahan Pewarna Metilen Biru. *Positron*, 11(1), 31.

- Pratiwi, R. H. (2017). Mekanisme Pertahanan Bakteri Patogen terhadap Antibiotik. *Journal Pro-Life*, 4(2), 418–429.
- Priyadarsini, S., Mohanty, S., Mukherjee, S., Basu, S., & Mishra, M. (2018). Graphene and Graphene Oxide as Nanomaterials for Medicine and Biology Application. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 8(2), 123–137.
- Purwandari, V., Gea, S., & Wijosentono, B. (2019). Analisa XRD Terhadap Perubahan Struktur Dan Kristalinitas Karbonisasi Batubara Sawahlunto – Sijunjung Sumatera Barat. *Talenta Conference Series: Science and Technology (ST)*, 2(1), 88–91.
- Rahmat, S., & Suwarno, S. (2020). Analisa Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier dan Gas Terlarut Terhadap Perubahan Gugus Fungsi Komposisi Minyak Ester. *Infotekmesin*, 11(1), 14–23.
- Rahmawati, A., & Kusumawati, D. H. (2020). Komposit TiO₂/rGO Sebagai Fotokatalisis Untuk Mendegradasi Zat Warna. *Inovasi Fisika Indonesia*, 9(2), 78–84.
- Rakhmawaty, D., Aldelina, A., & Rostika N, A. (2017). Perbandingan Nanokristal Titanium Dioksida Metode Hidrotermal dengan P25 Degussa untuk Uji Fotokatalitik Arsenik. *Jurnal Pendidikan Kimia*, 9(1), 249–253.
- Riani, I., Minsyahril, Johannes, A. Z., & Pingak, R. K. (2020). Kajian Awal Sifat Optik Graphene Oxide Berbahan Dasar Arang Sekam Padi Dengan Metode Liquid Phase Exfoliation Menggunakan Alat Bantu Blender Dan Ultrasonic Cleaner. *Jurnal Fisika : Fisika Sains Dan Aplikasinya*, 5(2), 145–148.
- Rifai, B., Fransisco, D., Pangkung, R., Putri, R. A., & Kurniawati, T. M. (2019). Analisis Kualitatif dan Kuantitatif Senyawa Organik Secara FTIR Affinity. *Jurnal Kimia Riset*, 1–3.
- Rigel, R. (2019). Karakterisasi α -Selulosa dengan Metode XRD , FTIR dan SEM. *Jurnal Riset Kimia*, July, 0–5.
- Ruid, M., Miguel, A., Cruz-quesada, G., Rivera-utrilla, J., & Manuel, S. (2020). Ethylparaben Degradation. *Journal of Catalysts*.
- Savitri, N. H., Indiastuti, D. N., & Wahyunitasari, M. R. (2019). Inhibitory Activity of *Allium Sativum* L. Extract Against *Streptococcus Pyogenes* and *Pseudomonas Aeruginosa*. *Journal of Vocational Health Studies*, 3(2), 72.
- Saxena, N., Kumar, A., & Mandal, A. (2019). Adsorption Analysis of Natural Anionic Surfactant for Enhanced Oil Recovery: The Role of Mineralogy, Salinity, Alkalinity and Nanoparticles. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 173, 1264–1283.
- Seran, Y.T., Pasangka, B., & Sutaji, H. I. (2018). Karakteristik Paparan Radiasi Sinar Ultraviolet A (UV-A) dan Cahaya Tampak di Kota Kupang. *Jurnal Biotropikal Sains*, 15(3), 49–56.

- Sitompul, H. R., Wibowo, H. B., Abdillah, L. H., Ardianingsih, R., Restasari, A., Budi, R. S., Hartaya, K., & Baiquni, M. (2021). Integrated Quality Analysis Method of Aluminum for Composite Propellant Production. *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 19(2), 177–192.
- Sjahriza, A., & Herlambang, S. (2021). Sintesis Oksida Grafena dari Arang Tempurung Kelapa Untuk Aplikasi Antibakteri dan Antioksidan. *Al-Kimiya*, 8(2), 51–58.
- Skov, M. C., Kristensen, S. E., & Mikkelsen, T. N. (2021). Photocatalytic Properties of TiO₂ for the Degradation of O₃: Examined by Environmental Parameters. *Journal of Photocatalysis*, 2(4), 288–296.
- Sudarlin. (2015). Prinsip dan Teknik Penggunaan Gas Sorption Analyzer (GSA). *Prinsip Dan Teknik Penggunaan Gas Sorption Analyzer (GSA)*, November 2015, 1–9.
- Suharko, Desiriani, R., Ningsih, Y. F., Kurniawati, E., Puhadi, Lutfianti, A., Susanti, M., & Ridho, R. (2017). Inaktivasi Escherichia Coli Dengan Fotokatalitik TiO₂ Untuk Pengolahan Air Minum. *Journal Healthcare Technology and Medicine*, 2(1), 1–9.
- Sujatha, G., Shanthakumar, S., & Chiampo, F. (2020). UV Light-Irradiated Photocatalytic Degradation of Coffee Processing Wastewater using TiO₂ as A Catalyst. *Environments - MDPI*, 7(6), 1–13.
- Sumari, S., Prakasa, Y. F., Asrori, M. R., & Baharintasari, D. R. (2020). Analisis Kandungan Mineral Pasir Pantai Bajul Mati Kabupaten Malang Menggunakan XRF dan XRD. *Fullerene Journal of Chemistry*, 5(2), 58.
- Suryandari, A. S., Mustain, A., Pratama, D. W., & Maula, I. (2019). Studi Aktivitas Reaksi Fotokatalisis. *Journal Berbasis Kata*. 3 (September), 95–101.
- Tadic, M., Trpkov, D., Kopanja, L., Vojnovic, S., & Panjan, M. (2019). Hydrothermal Synthesis of Hematite (α -Fe₂O₃) Nanoparticle Forms: Synthesis Conditions, Structure, Particle Shape Analysis, Cytotoxicity and Magnetic Properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 792, 599–609.
- Tahmasebizad, N., Hamedani, M. T., Shaban Ghazani, M., & Pazhuhfar, Y. (2020). Photocatalytic Activity and Antibacterial Behavior of TiO₂ Coatings Co-Doped with Copper and Nitrogen Via Sol–Gel Method. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 93(3), 570–578.
- Tania, S., Williams, S. G., Hitchcock, A. G., & Smith, D. C. (2018). *E. coli* Strain Engineering for The Production of Advanced Biopharmaceutical Products. *FEMS Microbiology Letters*, 365(15), 1–10.
- Taufantri, Y., Irdhawati, I., & Asih, I. A. R. A. (2016). Sintesis dan Karakterisasi Grafena dengan Metode Reduksi Grafit Oksida Menggunakan Pereduksi Zn. *Jurnal Kimia VALENSI*, 2(1), 17–23.

- Thakur, A., Kumar, S., & Rangra, V. S. (2015). Synthesis of Reduced Graphene Oxide (rGO) Via Chemical Reduction. *AIP Conference Proceedings*, 1661(2015).
- Thebora, M. E., Kurnia Nastira Ningsih, & Muhammad Irhash Shalihin. (2020). Sintesis Grafena Dari Limbah Pelepah Sawit (*Elaeis Sp.*) Dengan Metode Reduksi Grafit Oksida Menggunakan Pereduksi Zn. *Jurnal Khazanah Intelektual*, 3(2), 462–476.
- Tiwari, S. K., Sahoo, S., Wang, N., & Huczko, A. (2020). Graphene Research and Their Outputs: Status and Prospect. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 5(1), 10–29.
- Torrent, J., & Barrón, V. (2015). Diffuse Reflectance Spectroscopy. *Methods of Soil Analysis, Part 5: Mineralogical Methods*, 5(March 2020), 367–385.
- Tuhuloula, A., Budiarti, L., & Fitriana, E. N. (2013). Karakterisasi Pektin Dengan Memanfaatkan Limbah Kulit Pisang Menggunakan Metode Ekstraksi. *Konversi*, 2(1), 21.
- Tyas, S. P., Syarifuddin, A., & Septianingrum, N. M. A. N. (2021). Optimization Antibacterial Production Time of Actinomycetes Isolates (Te 235 Isolates) Against Antibacterial Activity on Escherichia Coli and Staphylococcus Aureus. *Jurnal Farmasi Sains Dan Praktis*, 7(1), 15–24.
- Wahyuningsih, S., Ramelan, A. H., Fuad, M., & Hanif, Q. A. (2020). Sintesis Grafena Oksida Tereduksi Terdoping Nitrogen Dan Sulfur Dari Amonium Tiosianat Sebagai Elektroda Lawan Pada Sistem Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 16(1), 126.
- Wang, H., Wang, G., Zhang, Y., Ma, Y., Zhang, Q., Pu, H., Xu, W., Gao, D., Wang, B., & Qi, X. (2019). Preparation of rGO/TiO₂ Photocatalyst and The Mechanism of Its Hydrothermal Process. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 66(7), 734–739.
- Wang, J. jia, Tang, L., Zeng, G. ming, Zhou, Y. yu, Deng, Y. cheng, Fan, C. zheng, Gong, J. lai, & Liu, Y. ni. (2017). Effect of Bismuth Tungstate with Different Hierarchical Architectures on Photocatalytic Degradation of Norfloxacin Under Visible Light. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 27(8), 1794–1803.
- Wardhani, S., Bahari, A., & Misbah Khunur, M. (2016). Aktivitas Fotokatalitik Beads TiO₂-N/Zeolit-Kitosan Pada Fotodegradasi Metilen Biru (Kajian Pengembangan, Sumber Sinar, dan Lama Penyinaran). *Journal of Enviromental Engineering and Sustainable Technology*, 3(2), 78–84.
- Wassenaar, T. M. (2018). *E. coli* and Colorectal Cancer: A Complex Relationship That Deserves A Critical Mindset. *Critical Reviews in Microbiology*, 44(5), 619–632.
- Wicaksono, D. D., Setiawan, N. I., Wilopo, W., & Harijoko, A. (2017). Teknik

Preparasi Sampel Dalam Analisis Mineralogi Dengan XRD Di Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. *Proceeding Seminar Nasional Kebumihan Ke-10, September, 1864–1880*.

Widodo, H., Kustiyah, E., Sari, N. W., Andhy, & Prastia, M. (2019). Ekstraksi Pektin dari Kulit Pisang dengan Proses Sokletasi. *Jurnal Siliwangi*, 5(1), 28–31.

Winayu, B. N. R., Mao, W. H., & Chu, H. (2022). Combination of rGO/S, N/TiO₂ for The Enhancement of Visible Light-Driven Toluene Photocatalytic Degradation. *Sustainable Environment Research*, 32(1).

LAMPIRAN

Lampiran 1. Pembuatan larutan

- Larutan HCl 5% dalam 100 mL

Molaritas HCl 37%

$$M1 = (10 \times \rho \times \%) \div \text{BM}$$

$$M1 = (10 \times 1,19 \text{ g/mL} \times 37\%) \div 36,5 \text{ g/mL}$$

$$M1 = 12,06 \text{ M}$$

Keterangan :

% = persen massa zat

ρ = massa jenis larutan HCl (g/mL)

BM = massa molekul relatif zat terlarut (g/mol)

- Pembuatan larutan HCl 5% dalam 100 mL

$$M1 \times V1 = M2 \times V2$$

$$12,06 \text{ M} \times V1 = 1,63 \text{ M} \times 100 \text{ mL}$$

$$V1 = 13,52 \text{ mL}$$

- Perhitungan Panjang gelombang energi celah pita

a) TiO₂

$$E = hc/\lambda$$

$$\lambda = hc/E$$

$$= (6,626 \times 10^{-24}) (3 \times 10^{10}) / 5,04 \times 10^{-19}$$

$$= 1,9878 \times 10^{-16} / 5,04 \times 10^{-19}$$

$$= 394 \text{ nm}$$

b) TiO₂/rGO

$$\lambda = hc/E$$

$$= (6,626 \times 10^{-24}) (3 \times 10^{10}) / 4,87 \times 10^{-19}$$

$$= 1,9878 \times 10^{-16} / 4,87 \times 10^{-19}$$

$$= 408 \text{ nm}$$

- Perhitungan diameter zona hambat

D (mm) = diameter zona bening (mm) – diameter cakram (mm)

a) 2 jam penyinaran

$$D = 30 \text{ mm} - 6 \text{ mm}$$

$$= 24 \text{ mm}$$

b) 4 jam penyinaran

$$D = 34 \text{ mm} - 6 \text{ mm}$$

$$= 28 \text{ mm}$$

c) 6 jam penyinaran

$$D = 41 \text{ mm} - 6 \text{ mm}$$

$$= 35 \text{ mm}$$

Lampiran 2. Data karakterisasi

- Analisis XRD GO

| 2θ ($^{\circ}$) | θ ($^{\circ}$) | FWHM | θ (rad) | cos θ (rad) | β | d (\AA) | D (nm) | d \bar{x} (\AA) | D \bar{x} (nm) |
|---|--|-------------|-------------------------------------|---|---------------------------|------------------------------------|---------------|---|---------------------------------------|
| 10.03 | 5.015 | 1.294 | 0.799 | 1.000 | 0.023 | 8.794 | 6.822 | 5.457 | 7.983 |
| 42.53 | 21.26 | 0.967 | 3.386 | 0.998 | 0.017 | 2.121 | 9.144 | | |

- Analisis XRD rGO

| 2θ ($^{\circ}$) | θ ($^{\circ}$) | FWHM | θ (rad) | cos θ (rad) | β | d (\AA) | D (nm) | d \bar{x} (\AA) | D \bar{x} (nm) |
|---|--|-------------|-------------------------------------|---|---------------------------|------------------------------------|---------------|---|---------------------------------------|
| 10.768 | 5.384 | 1.547 | 0.857 | 1.000 | 0.027 | 2.104 | 5.707 | 2.104 | 5.707 |

- Analisis XRD TiO₂

| 2θ ($^{\circ}$) | θ ($^{\circ}$) | FWHM | θ (rad) | cos θ (rad) | β | d (\AA) | D (nm) | d \bar{x} (\AA) | D \bar{x} (nm) |
|---|--|-------------|-------------------------------------|---|---------------------------|------------------------------------|---------------|---|---------------------------------------|
| 27.481 | 13.741 | 0.136 | 2.188 | 0.999 | 0.002 | 3.243 | 64.952 | 2.097 | 83.375 |
| 36.134 | 18.067 | 0.162 | 2.877 | 0.999 | 0.003 | 2.484 | 54.556 | | |
| 41.283 | 20.642 | 0.13 | 3.287 | 0.998 | 0.002 | 2.185 | 68.012 | | |
| 54.338 | 27.169 | 0.076 | 4.326 | 0.997 | 0.001 | 1.687 | 116.476 | | |
| 56.638 | 28.319 | 0.081 | 4.509 | 0.997 | 0.001 | 1.624 | 109.314 | | |
| 69.017 | 34.509 | 0.102 | 5.495 | 0.995 | 0.002 | 1.360 | 86.939 | | |

- Analisis XRD TiO₂/rGO

| 2θ ($^{\circ}$) | θ ($^{\circ}$) | FWHM | θ (rad) | cos θ (rad) | β | d (\AA) | D (nm) | d \bar{x} (\AA) | D \bar{x} (nm) |
|---|--|-------------|-------------------------------------|---|---------------------------|------------------------------------|---------------|---|---------------------------------------|
| 27.469 | 13.735 | 0.136 | 2.187 | 0.999 | 0.002 | 3.244 | 64.952 | 2.038 | 88.505 |
| 36.122 | 18.061 | 0.156 | 2.876 | 0.999 | 0.003 | 2.485 | 56.655 | | |
| 41.271 | 20.636 | 0.128 | 3.286 | 0.998 | 0.002 | 2.186 | 69.074 | | |
| 54.325 | 27.163 | 0.081 | 4.325 | 0.997 | 0.001 | 1.687 | 109.286 | | |
| 54.479 | 27.240 | 0.076 | 4.338 | 0.997 | 0.001 | 1.683 | 116.478 | | |
| 56.628 | 28.314 | 0.078 | 4.509 | 0.997 | 0.001 | 1.624 | 113.518 | | |
| 69.005 | 34.503 | 0.099 | 5.494 | 0.995 | 0.002 | 1.360 | 89.573 | | |

- Analysis GSA GO

| | | | |
|-------------------------------|---|-----------------------------|---------------------------------------|
| Report date: | Wed Dec 7 2022 | Operator: | Yusuf |
| Filename: | 24461122_1.qcuPhysIso | | |
| Analysis Information | | | |
| Sample ID | 2446_1 | Weight | 0.0380 _g |
| Description | X | | |
| Analysis | | | |
| Data ID | {89697083-c8cd-452f-92de-6cfb5b9ac438} | Date | 2022.12.07 |
| Operator | Yusuf | Duration | 127.8 _{min} |
| Instrument | St 1 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001] | Firmware | 1.07 |
| Comments | description of sample | | |
| Ambient Temp. | 19.92 _{°C} | Void Volume Mode | NOVA mode |
| Cell Type | 9mm with rod | Thermal Delay | 300 _{sec} |
| Adsorbate | | Cell ID | 21 |
| Name | Nitrogen | Po Mode | Continuous |
| Non-ideality | 6.580000e-05 _{1/ton} | Molecular Weight | 28.013 _{g/mol} |
| Degas information | | Bath Temperature | 77.35 _K |
| Time | 5.0 _{hours} | Cross Section Area | 16.2A ² / _{molec} |
| Temp | 250.000000 _{°C} | | |
| Data Reduction Parameters | | | |
| Thermal Transpiration | yes | Eff. Molec. Diameter | 0A |
| Eff. Cell Diameter | 0 _{mm} | | |
| Temp. Comp | no | | |
| Thickness Method | deBoer | | |
| Adsorbate Model | | Molecular Weight | 28.0134 _g |
| Name | Nitrogen | Cross Section Area | 16.2A ² / _{molec} |
| Bath Temperature | 77.35 _K | | |
| Total Pore Volume results | | | |
| Total Pore Volume | 8.1794e-02 _{cc/g} | | |
| for pores smaller than | 16.19 _{nm (radius)} | | |
| at relative pressure | 0.93696 | | |

- Analysis GSA rGO

| | | | |
|-------------------------------|---|-----------------------------|---------------------------------------|
| Report date: | Wed Dec 7 2022 | Operator: | Yusuf |
| Filename: | 24461122_2.qcuPhysIso | | |
| Analysis Information | | | |
| Sample ID | 2446_2 | Weight | 0.0462 _g |
| Description | Y | | |
| Analysis | | | |
| Data ID | {a238555c-7004-48e5-83c9-3076af09c201} | Date | 2022.12.07 |
| Operator | Yusuf | Duration | 133.2 _{min} |
| Instrument | St 2 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001] | Firmware | 1.07 |
| Comments | description of sample | | |
| Ambient Temp. | 19.82 _{°C} | Void Volume Mode | NOVA mode |
| Cell Type | 9mm with rod | Thermal Delay | 300 _{sec} |
| Adsorbate | | Cell ID | 22 |
| Name | Nitrogen | Po Mode | Continuous |
| Non-ideality | 6.580000e-05 _{1/ton} | Molecular Weight | 28.013 _{g/mol} |
| Degas information | | Bath Temperature | 77.35 _K |
| Time | 4.0 _{hours} | Cross Section Area | 16.2A ² / _{molec} |
| Temp | 250.000000 _{°C} | | |
| Data Reduction Parameters | | | |
| Thermal Transpiration | yes | Eff. Molec. Diameter | 0A |
| Eff. Cell Diameter | 0 _{mm} | | |
| Temp. Comp | no | | |
| Thickness Method | deBoer | | |
| Adsorbate Model | | Molecular Weight | 28.0134 _g |
| Name | Nitrogen | Cross Section Area | 16.2A ² / _{molec} |
| Bath Temperature | 77.35 _K | | |
| Total Pore Volume results | | | |
| Total Pore Volume | 7.3457e-02 _{cc/g} | | |
| for pores smaller than | 16.77 _{nm (radius)} | | |
| at relative pressure | 0.93924 | | |

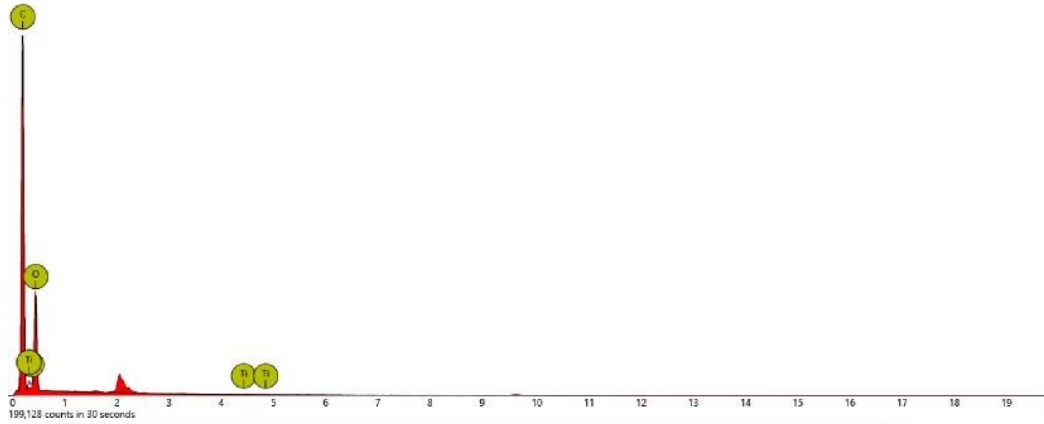
- Analysis GSA TiO₂

| | | | |
|--|---|-----------------------------|---------------------------|
| Report date: | Wed Dec 7 2022 | Operator: | Yusuf |
| Filename: | 24461122_3.qcuPhysIso | | |
| Analysis Information | | | |
| Sample ID | 2446_3 | Weight | 0.0768g |
| Description | Z | | |
| Analysis Data ID | {153e0e75-01ea-45cb-a25b-c01e05cec2c6} | Date | 2022.12.07 |
| Operator | Yusuf | Duration | 129.9min |
| Instrument | St 3 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001] | Firmware | 1.07 |
| Comments | description of sample | | |
| Ambient Temp. | 19.87-c | Void Volume Mode | NOVA mode |
| Cell Type | 9mm with rod | Thermal Delay | 300sec |
| Adsorbate Name | Nitrogen | Molecular Weight | 28.013g/mol |
| Non-ideality | 6.580000e-05 1/nor | Bath Temperature | 77.35k |
| Degas information Time | 3.0hours | Temp | 200.000000-c |
| Data Reduction Parameters | | | |
| Thermal Transpiration | yes | Eff. Molec. Diameter | 0Å |
| Eff. Cell Diameter | 0mm | | |
| Temp. Comp | no | | |
| Thickness Method | deBoer | | |
| Adsorbate Model Name | Nitrogen | Molecular Weight | 28.0134g |
| Bath Temperature | 77.35k | Cross Section Area | 16.2Å ² /molec |
| Total Pore Volume results | | | |
| Total Pore Volume for pores smaller than at relative pressure | | 2.3798e-02 cc/g | |
| | | 16.97 nm (radius) | |
| | | 0.93999 | |

- Analysis GSA TiO₂/rGO

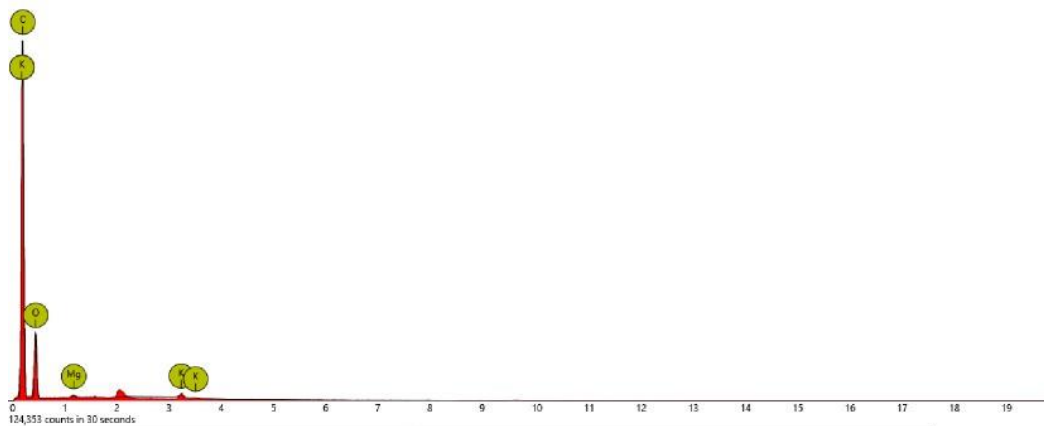
| | | | |
|--|---|-----------------------------|---------------------------|
| Report date: | Wed Dec 7 2022 | Operator: | Yusuf |
| Filename: | 24461122_4.qcuPhysIso | | |
| Analysis Information | | | |
| Sample ID | 2446_4 | Weight | 0.0754g |
| Description | XYZ | | |
| Analysis Data ID | {05ac5681-f75d-47dd-b627-de65d1920e5d} | Date | 2022.12.07 |
| Operator | Yusuf | Duration | 63.5min |
| Instrument | St 4 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001] | Firmware | 1.07 |
| Comments | description of sample | | |
| Ambient Temp. | 19.11-c | Void Volume Mode | NOVA mode |
| Cell Type | 9mm with rod | Thermal Delay | 300sec |
| Adsorbate Name | Nitrogen | Molecular Weight | 28.013g/mol |
| Non-ideality | 6.580000e-05 1/nor | Bath Temperature | 77.35k |
| Degas information Time | 12.0hours | Temp | 100.000000-c |
| Data Reduction Parameters | | | |
| Thermal Transpiration | yes | Eff. Molec. Diameter | 0Å |
| Eff. Cell Diameter | 0mm | | |
| Temp. Comp | no | | |
| Thickness Method | deBoer | | |
| Adsorbate Model Name | Nitrogen | Molecular Weight | 28.0134g |
| Bath Temperature | 77.35k | Cross Section Area | 16.2Å ² /molec |
| Total Pore Volume results | | | |
| Total Pore Volume for pores smaller than at relative pressure | | 3.0627e-02 cc/g | |
| | | 17.13nm (radius) | |
| | | 0.94056 | |

- Analisis EDX GO



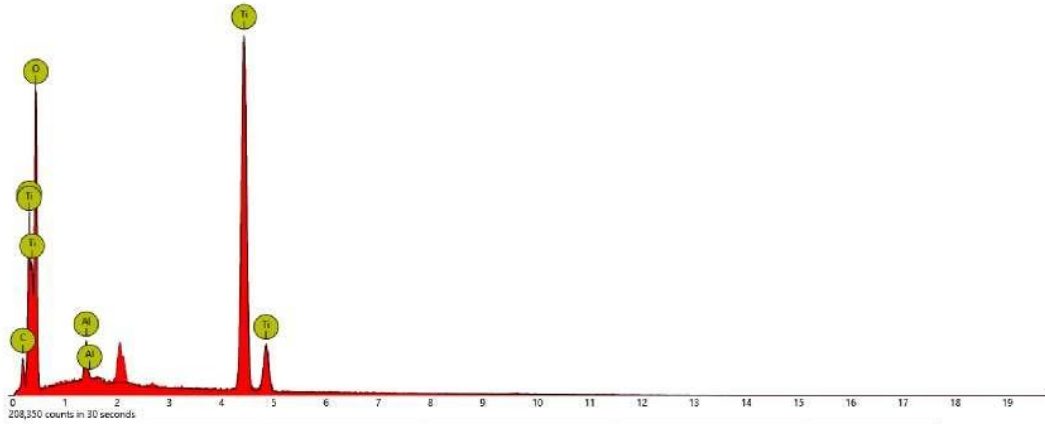
| <i>Atomic number</i> | <i>Element symbol</i> | <i>Element name</i> | <i>Atomic concentration percentage</i> | <i>Weight concentration percentage</i> | <i>Energy level</i> |
|----------------------|-----------------------|---------------------|--|--|---------------------|
| 6 | C | Carbon | 70.08 | 63.75 | 15000 |
| 8 | O | Oxygen | 29.92 | 36.25 | 15000 |

- Analisis EDX rGO



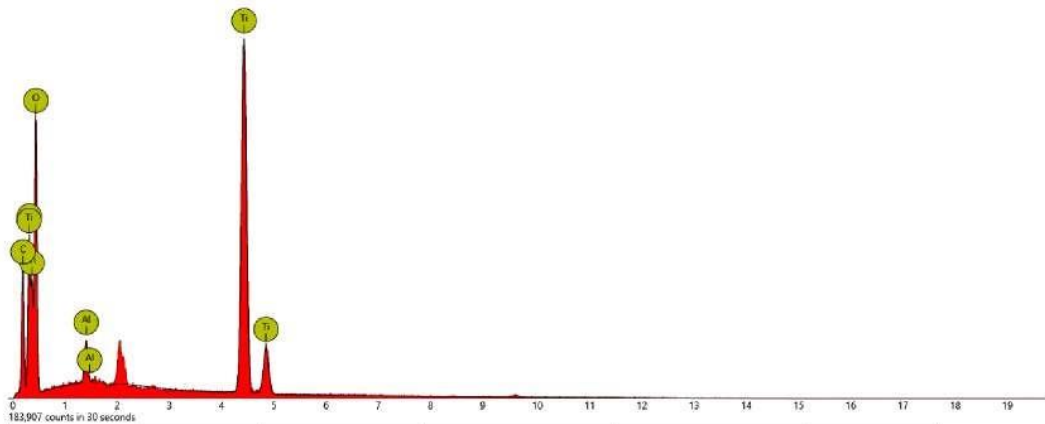
| <i>Atomic number</i> | <i>Element symbol</i> | <i>Element name</i> | <i>Atomic concentration percentage</i> | <i>Weight concentration percentage</i> | <i>Energy level</i> |
|----------------------|-----------------------|---------------------|--|--|---------------------|
| 6 | C | Carbon | 75.2 | 69.2 | 15000 |
| 8 | O | Oxygen | 24.48 | 30.01 | 15000 |
| 19 | K | Potassium | 0.32 | 0.52 | 15000 |

- Analysis EDX TiO₂



| <i>Atomic number</i> | <i>Element symbol</i> | <i>Element name</i> | <i>Atomic concentration percentage</i> | <i>Weight concentration percentage</i> | <i>Energy level</i> |
|----------------------|-----------------------|---------------------|--|--|---------------------|
| 8 | O | Oxygen | 71.7 | 51 | 15000 |
| 22 | Ti | Titanium | 20.69 | 44.03 | 15000 |
| 6 | C | Carbon | 6.26 | 3.34 | 15000 |
| 13 | Al | Aluminium | 1.36 | 1.63 | 15000 |

- Analysis EDX TiO₂/rGO

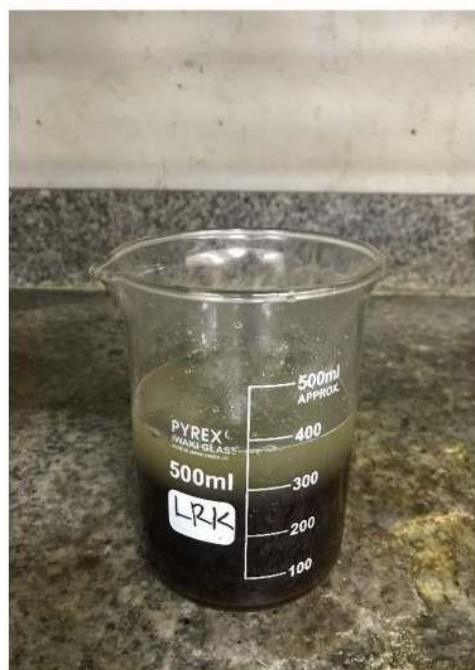


| <i>Atomic number</i> | <i>Element symbol</i> | <i>Element name</i> | <i>Atomic concentration percentage</i> | <i>Weight concentration percentage</i> | <i>Energy level</i> |
|----------------------|-----------------------|---------------------|--|--|---------------------|
| 8 | O | Oxygen | 59.61 | 45.28 | 15000 |
| 22 | Ti | Titanium | 18.07 | 41.07 | 15000 |
| 6 | C | Carbon | 21.01 | 11.98 | 15000 |
| 13 | Al | Aluminium | 1.31 | 1.67 | 15000 |

Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian



Pembuatan ekstrak kulit pisang



Sintesis GO setelah penambahan H_2O_2



GO setelah dicuci HCl 30%



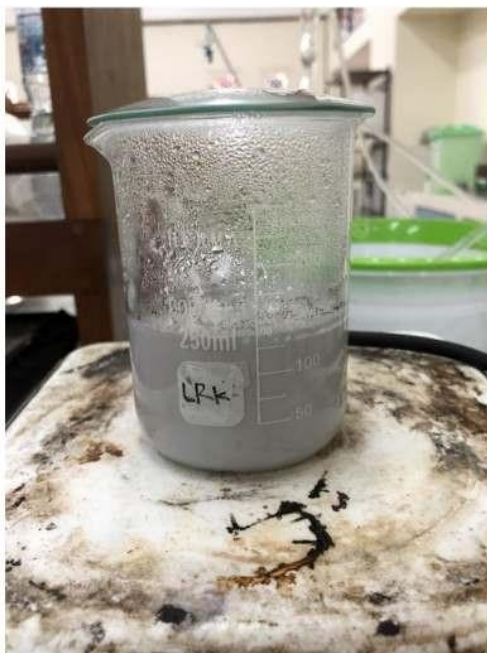
Penambahan $KMnO_4$ pada suhu $<15\text{ }^\circ\text{C}$



Rangkaian reflux pada sintesis rGO



Endapan rGO hasil penyaringan



Pengadukan TiO₂/rGO



Autoklaf sterilisasi alat gelas