

**ANALISIS SIFAT LISTRIK MATERIAL *REDUCED GRAPHENE OXIDE*  
(rGO) MENGGUNAKAN EKSTRAK DAUN TEH**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**PUTRLAYU NURMAKHMUDA**  
NIM. 200604110070



**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2026**

**HALAMAN PENGANTAR**

**ANALISIS SIFAT LISTRIK MATERIAL *REDUCED GRAPHENE OXIDE*  
(rGO) MENGGUNAKAN EKSTRAK DAUN TEH**

**SKRIPSI**

**Diajukan kepada:**

**Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:**

**PUTRI AYU NURMAKHMUDA  
NIM. 200604110070**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2026**

## HALAMAN PERSETUJUAN

### ANALISIS SIFAT LISTRIK MATERIAL *REDUCED GRAPHENE OXIDE* (rGO) MENGGUNAKAN EKSTRAK DAUN TEH

#### SKRIPSI

Oleh:

PUTRI AYU NURMAKHMUDA

NIM. 200604110070

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji  
Pada tanggal, 19 Juni 2026

Pembimbing I

Utiya Hikmah, M.Si  
NIP. 19880605 202321 2 054

Pembimbing II

Prof. Dr. Drs. Mokhammad Tirono, M.Si  
NIP. 19641211 199111 1 001

Mengetahui  
Ketua Jurusan Fisika



Farid Samsu Hananto, M.T  
NIP. 19740513 200312 1 001

## HALAMAN PENGESAHAN

### ANALISIS SIFAT LISTRIK MATERIAL *REDUCED GRAPHENE OXIDE* (rGO) MENGGUNAKAN EKSTRAK DAUN TEH

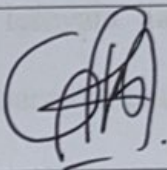
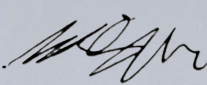
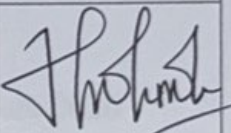
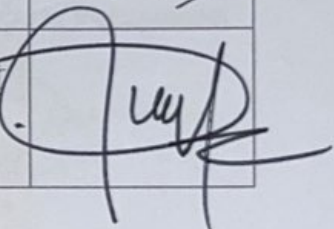
#### SKRIPSI

Oleh:

Putri Ayu Nurmakhmuda

200604110070

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji  
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Pada Tanggal, 29 Juni 2026

|                     |                                                                            |                                                                                       |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Penguji Utama:      | <u>Dr. Erna Hastuti, M.Si</u><br>NIP. 19811119 200801 2 009                |  |
| Ketua Penguji:      | <u>Irjan, M.Si</u><br>NIP. 19691231 200604 1 003                           |  |
| Sekretaris Penguji: | <u>Utiya Hikmah, M.Si</u><br>NIP. 19880605 202321 2 054                    |  |
| Anggota Penguji:    | <u>Prof. Dr. Drs. Mokhammad Tirono, M.Si</u><br>NIP. 19641211 199111 1 001 |  |

Mengesahkan,  
Ketua Program Studi



Farid Samsu Hananto, M.T  
NIP. 19740513 200312 1 001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : PUTRI AYU NURMAKHMUDA  
NIM : 200604110070  
Jurusan : FISIKA  
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI  
Judul Penelitian : ANALISIS SIFAT LISTRIK MATERIAL REDUCED  
*GRAPHENE OXIDE* (RGO) MENGGUNAKAN EKSTRAK  
DAUN TEH

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur penjiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 29 Juni 2026  
Yang Membuat Pernyataan



Putri Ayu Nurmakhmuda  
NIM. 200604110070

## **MOTTO**

**“HARI SULIT TIDAK BERLANGSUNG SELAMANYA”**

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Alhamdulillah robbil'alamin dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT, saya persembahkan skripsi ini kepada diri saya sendiri dan seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan dan motivasi dalam segala bentuk yang turut mengiringi proses penyelesaiannya. Semoga karya ini dapat menjadi bentuk apresiasi atas kontribusi yang telah diberikan.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Sifat Listrik Material *reduced Graphene Oxide* (rGO) Menggunakan Ekstrak Daun Teh”. Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa umat manusia menuju peradaban yang penuh cahaya, yakni *Addinul Islam Wal Iman*.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan, bimbingan, dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan apresiasi dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si, CAHRM., CRMP selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Agus Mulyono, M.Kes selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Farid Samsu Hananto, S.Si., M.T selaku Ketua Program Studi Fisika Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Utiya Hikmah, M.Si selaku Dosen pembimbing, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dalam proses penyelesaian tugas akhir.
5. Prof. Dr. Drs. Mokhammad Tirono, M.Si selaku dosen pembimbing integrasi, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dalam bidang integrasi sains dan Al-Quran.

6. Dr. Erna Hastuti, M.Si dan Irjan, M.Si selaku penguji skripsi yang telah menemani dan membantu penyempurnaan penulisan skripsi dengan baik.
7. Segenap dosen, laboran dan admin Program Studi Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang senantiasa memberikan pengarahan dan ilmu pengetahuan.
8. My self
9. Ayah, Mama, adik serta keluarga yang selalu memberi doa dan dukungan, baik riil maupun materiil selama proses penelitian.
10. Para sahabat yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang senantiasa mendukung dan memberikan masukan terkait proses penyusunan skripsi.
11. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dalam penulisan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dan kekeliruan. Untuk itu, penulis mengharapkan segala kritik dan saran yang bersifat membangun. Demikian yang dapat penulis sampaikan, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi orang lain.

Malang, 29 Juni 2026

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                           |               |
|-----------------------------------------------------------|---------------|
| COVER .....                                               | i             |
| HALAMAN PENGANTAR.....                                    | ii            |
| HALAMAN PERSETUJUAN .....                                 | iii           |
| HALAMAN PENGESAHAN.....                                   | iv            |
| PERNYATAAN KEASLIAN.....                                  | v             |
| MOTTO .....                                               | vi            |
| HALAMAN PERSEMBAHAN .....                                 | vii           |
| KATA PENGANTAR.....                                       | viii          |
| DAFTAR ISI.....                                           | x             |
| DAFTAR TABEL .....                                        | xii           |
| DAFTAR GAMBAR.....                                        | xiii          |
| ABSTRAK .....                                             | xiv           |
| ABSTRACT .....                                            | xv            |
| المخلص.....                                               | xvi           |
| <br><b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                         | <br><b>1</b>  |
| 1.1 Latar Belakang .....                                  | 1             |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                 | 3             |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                                | 3             |
| 1.4 Manfaat Penelitian.....                               | 4             |
| 1.5 Batasan Penelitian .....                              | 4             |
| <br><b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>                  | <br><b>5</b>  |
| 2.1 Grafena .....                                         | 5             |
| 2.2 <i>Reduced Graphene Oxide (rGO)</i> .....             | 6             |
| 2.3 Daun Teh Hijau .....                                  | 7             |
| 2.4 <i>Green Reduction Methode</i> .....                  | 9             |
| 2.4.1 <i>Magnetic Stirrer</i> .....                       | 12            |
| 2.4.2 <i>Microwave</i> .....                              | 13            |
| 2.5 Karakterisasi.....                                    | 13            |
| 2.5.1 <i>Spektrofotometer UV-Vis</i> .....                | 13            |
| 2.5.2 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....                | 15            |
| 2.5.3 <i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i> .....     | 16            |
| 2.5.4 <i>LCR-Meter</i> .....                              | 17            |
| <br><b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>                | <br><b>19</b> |
| 3.1 Jenis Penelitian .....                                | 19            |
| 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....                     | 19            |
| 3.3 Alat dan Bahan .....                                  | 19            |
| 3.3.1 Alat Penelitian .....                               | 19            |
| 3.3.2 Bahan Penelitian .....                              | 20            |
| 3.3.3 Alat Karakterisasi .....                            | 20            |
| 3.4 Variabel Penelitian .....                             | 20            |
| 3.5 Prosedur Penelitian.....                              | 21            |
| 3.5.1. Sintesis Ekstrak Daun Teh.....                     | 21            |
| 3.5.2. Sintesis <i>reduced Graphene Oxide (rGO)</i> ..... | 22            |

|                                                          |           |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| 3.6 Karakterisasi dan Rencana Analisis Data.....         | 23        |
| 3.6.1. XRD (X-Ray Diffraction).....                      | 23        |
| 3.6.2. FTIR ( <i>Forier Transform Infra Red</i> ) .....  | 24        |
| 3.6.3. Spektrofotometer UV-Vis.....                      | 25        |
| 3.6.4. LCR Meter.....                                    | 25        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>                 | <b>28</b> |
| 4.1. Data Hasil Penelitian.....                          | 28        |
| 4.1.1. Sintesis Ekstrak Daun Teh.....                    | 28        |
| 4.1.2. Sintesis <i>reduced Graphene Oxide</i> (rGO)..... | 29        |
| 4.1.3. Karakterisasi .....                               | 30        |
| 4.2. Pembahasan.....                                     | 40        |
| <b>BAB V PENUTUP.....</b>                                | <b>54</b> |
| 5.1 Kesimpulan.....                                      | 54        |
| 5.2 Saran.....                                           | 55        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                               | <b>56</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                                     | <b>62</b> |

## DAFTAR TABEL

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Penelitian Green Reduction Sebelumnya.....              | 11 |
| Tabel 3.1 Rencana Analisis Data Karakterisasi XRD .....           | 24 |
| Tabel 3.2 Rencana Analisis Data Karakterisasi FTIR.....           | 24 |
| Tabel 3.3 Rencana Analisis Data Konduktivitas.....                | 26 |
| Tabel 3.4 Rencana Analisis Data Kapasitansi .....                 | 26 |
| Tabel 3.5 Rencana Analisis Data Impedansi .....                   | 27 |
| Tabel 4.1 Gugus Fungsi Hasil Karakterisasi FTIR .....             | 31 |
| Tabel 4.2 Ukuran kristal dan jarak antar lapisan GO dan rGO ..... | 34 |
| Tabel 4.3 Nilai Konduktivitas GO dan rGO .....                    | 36 |
| Tabel 4.4 Nilai Kapasitansi GO dan rGO .....                      | 38 |
| Tabel 4.5 Nilai Impedansi GO dan rGO .....                        | 38 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Struktur Grafena (Rashi, 2023) .....                                                         | 5  |
| Gambar 2.2 Struktur Grafena (G), Grephene Oxide (GO) dan reduced Graphene Oxide (rGO).....              | 7  |
| Gambar 2.3 Mekanisme Reduksi Oksigen pada Graphene Oxide (GO) oleh ECGC .....                           | 10 |
| Gambar 2.4 (a)Spektrofotometer UV-Vis dari GO dan rGO; (b) band gap dari GO; (c) band gap dari rGO..... | 14 |
| Gambar 2.5 Hasil XRD Perubahan GO menjadi rGO .....                                                     | 15 |
| Gambar 2.6 Hasil FTIR Graphene Oxide (GO).....                                                          | 16 |
| Gambar 2.7 Hasil FTIR reduced Graphene Oxide (rGO).....                                                 | 17 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Sintesis Ekstrak Daun Teh.....                                           | 21 |
| Gambar 3.2 Diagram Alir Proses Sintesis reduced Graphene Oxide (rGO).....                               | 22 |
| Gambar 4.1 Mekanisme Reduksi GO oleh Green Tea Extract (Abdullah et al., 2014a).....                    | 29 |
| Gambar 4.2 Grafik Karakterisasi FTIR.....                                                               | 30 |
| Gambar 4.3 Hasil Karakterisasi XRD.....                                                                 | 33 |
| Gambar 4.4 Grafik Absorbansi GO dan rGO.....                                                            | 34 |
| Gambar 4.5 Grafik Band Gap .....                                                                        | 35 |
| Gambar 4.6 Grafik Konduktivitas GO dan rGO .....                                                        | 37 |
| Gambar 4.7 Grafik Kapasitansi GO dan rGO .....                                                          | 38 |
| Gambar 4.8 Grafik Impedansi GO & rGO.....                                                               | 39 |

## ABSTRAK

Nurmakhmuda, Putri Ayu. 2026. **Analisis Sifat Listrik Material *reduced Graphene Oxide* (rGO) Menggunakan Ekstrak Daun Teh**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Utiya Hikmah, M.Si (II) Prof. Dr. Drs. Mokhammad Tirono, M.Si

---

**Kata Kunci:** *Graphene Oxide* (GO), *reduced Graphene Oxide* (rGO), *Green Reduction*, Ekstrak Daun Teh, Sifat Listrik

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi ekstrak daun teh terhadap gugus fungsi, ukuran kristal, sifat optik, dan sifat listrik *reduced Graphene Oxide* (rGO) yang disintesis menggunakan metode *green reduction*. *Graphene Oxide* (GO) direduksi menggunakan ekstrak daun teh dengan variasi massa 3, 5, 7, 9, dan 11 gram yang dibantu proses *stirring* dan gelombang *microwave*. Karakterisasi dilakukan menggunakan FTIR, XRD, UV-Vis DRS, dan LCR Meter. Hasil FTIR menunjukkan penurunan intensitas gugus O–H dan C–O serta peningkatan ketajaman pita C=C, yang mengindikasikan berkurangnya gugus oksigen dan pemulihan struktur karbon. Analisis XRD menunjukkan penurunan ukuran kristal dari 23,26 nm pada GO menjadi 16,92 nm pada sampel rGO+GT9. Hasil UV-Vis DRS menunjukkan peningkatan absorbansi yang disertai penurunan nilai band gap dari 3,2 eV menjadi 2,91 eV. Pengukuran sifat listrik menunjukkan peningkatan konduktivitas dan kapasitansi serta penurunan impedansi seiring peningkatan komposisi ekstrak daun teh hingga mencapai kondisi optimum pada sampel rGO+GT9. Namun, pada sampel rGO+GT11 terjadi penurunan performa yang diduga disebabkan oleh kelebihan reduktor sehingga menurunkan efisiensi proses reduksi. Berdasarkan hasil penelitian, komposisi ekstrak daun teh sebesar 9 gram merupakan kondisi optimum untuk menghasilkan rGO dengan karakteristik struktur, sifat optik, dan sifat listrik terbaik.

## ABSTRACT

Nurmakhmuda, Putri Ayu. 2026. **Analysis of Electrical Properties of *Reduced Graphene Oxide* (rGO) Using Tea Leaf Extract**. Thesis. Physics Departement, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Utiya Hikmah, M.Si (II) Prof. Dr. Drs. Mokhammad Tirono, M.Si

---

**Kata Kunci:** *Graphene Oxide* (GO), *reduced Graphene Oxide* (rGO), *Green Reduction*, Tea Leaf Extract, Electrical Properties

This study aims to analyze the effect of varying tea leaf extract compositions on the functional groups, crystallite size, optical properties, and electrical properties of *reduced Graphene Oxide* (rGO) synthesized using the green reduction method. Graphene Oxide (GO) was reduced using tea leaf extract with mass variations of 3, 5, 7, 9, and 11 grams, assisted by stirring and microwave irradiation processes. Characterization was performed using FTIR, XRD, UV-Vis DRS, and an LCR Meter. FTIR results showed a decrease in the intensity of O–H and C–O functional groups and an increase in the sharpness of the C=C band, indicating the reduction of oxygen-containing groups and the restoration of the carbon structure. XRD analysis revealed a decrease in crystallite size from 23.26 nm for GO to 16.92 nm for the rGO+GT9 sample. UV-Vis DRS results showed an increase in absorbance accompanied by a decrease in the band gap value from 3.2 eV to 2.91 eV. Electrical measurements demonstrated an increase in conductivity and capacitance, as well as a decrease in impedance with increasing tea leaf extract composition, reaching optimum conditions in the rGO+GT9 sample. However, the rGO+GT11 sample exhibited a decline in performance, which is presumed to be caused by an excess of reducing agent that decreased the efficiency of the reduction process. Based on the results, a tea leaf extract composition of 9 grams represents the optimum condition for producing rGO with the best structural, optical, and electrical properties.

## الملخص

نورمخامودا، بوتري أبو. 2026. تحليل الخصائص الكهربائية لمادة أكسيد الجرافين المختزل (rGO) باستخدام مستخلص أوراق الشاي. رسالة ماجستير. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية في مالانج. المشرفان: (الأول) أوتيا حكمة، الماجستير (والثاني) الأستاذ الدكتور محمد تيرونو، الماجستير

**الكلمات المفتاحية:** أكسيد الجرافين، أكسيد الجرافين المختزل، الاختزال الأخضر، مستخلص أوراق الشاي، الخصائص، الكهربائية

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل تأثير اختلاف تراكيز مستخلص أوراق الشاي على المجموعات الوظيفية، وحجم البلورات، والخصائص البصرية، والخصائص الكهربائية لأكسيد الجرافين المختزل (rGO) المحضّر باستخدام طريقة الاختزال الأخضر. تم اختزال أكسيد الجرافين (GO) باستخدام مستخلص أوراق الشاي بتراكيز كتلية بلغت 3 و 5 و 7 و 9 و 11 غراماً، بمساعدة عمليتي التحريك والإشعاع بالموجات الميكروية. أجريت عمليات التوصيف باستخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR)، وحيود الأشعة السينية (XRD)، ومطيافية الانعكاس المنتشر للأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-Vis) (DRS)، وجهاز قياس LCR. أظهرت نتائج FTIR انخفاضاً في شدة مجموعتي O-H و C=O، مع زيادة في وضوح حزمة C=C، مما يشير إلى انخفاض المجموعات المحتوية على الأكسجين واستعادة البنية الكربونية. وأظهر تحليل XRD انخفاض حجم البلورات من 23.26 نانومتر في GO إلى 16.92 نانومتر في عينة rGO+GT9. كما أظهرت نتائج UV-Vis DRS زيادة في الامتصاصية مصحوبة بانخفاض قيمة فجوة الطاقة من 3.2 إلكترون فولت إلى 2.91 إلكترون فولت. وأظهرت القياسات الكهربائية زيادة في التوصيلية والسعة الكهربائية، وانخفاضاً في الممانعة مع زيادة تركيز مستخلص أوراق الشاي حتى الوصول إلى الحالة المثلى في عينة rGO+GT9. ومع ذلك، لوحظ انخفاض في الأداء في عينة rGO+GT11، ويُعتقد أن ذلك يرجع إلى زيادة عامل الاختزال، مما أدى إلى انخفاض كفاءة عملية الاختزال. وبناءً على نتائج الدراسة، تبين أن استخدام 9 غرامات من مستخلص أوراق الشاي يمثل الشرط الأمثل لإنتاج rGO ذي أفضل الخصائص التركيبية والبصرية والكهربائية.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Grafena merupakan bahan nano yang banyak diteliti sebagai pengganti silikon di berbagai aplikasi. Hal tersebut terjadi karena grafena memiliki karakteristik fisik, mekanik dan termal yang baik serta memiliki skala nano (Mbayachi et al., 2021). Dibalik karakteristik yang baik, grafena memiliki beberapa kelemahan seperti kelarutan dalam air yang rendah dan keterbatasan untuk diaplikasikan dalam skala industri. Kelemahan tersebut menjadi tantangan bagi para peneliti hingga ditemukannya turunan dari grafena untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Produk turunan dari grafena tersebut adalah *Graphene Oxide* (GO) dan *reduced Graphene Oxide* (rGO) (Ahmed et al., 2023). Penelitian ini membahas tentang sintesis material turunan grafena berupa *reduced Graphene Oxide* (rGO) yang memanfaatkan daun teh sebagai agen pereduksi.

Teh merupakan salah satu minuman paling umum, banyak dikonsumsi dan terkenal dengan efek konsumsi terhadap kesehatan. Berdasarkan kandungan polifenol yang dimiliki, daun teh dapat dimanfaatkan sebagai bahan pereduksi *reduced Graphene Oxide* (rGO) yang ramah lingkungan. rGO banyak direduksi menggunakan bahan kimia yang diantaranya adalah hidrazin, alkohol, hidrokuinon, natrium borohida, natrium hidroksida dan hidrogen iodida. Diantara beberapa bahan kimia tersebut, yang sering digunakan sebagai agen pereduksi adalah hidrazin. Sejauh ini, reduksi menggunakan hidrazin memiliki beberapa hambatan dalam pengaplikasian rGO, seperti kelarutan terhadap air yang lemah. Untuk mengatasi hal tersebut, dikembangkan metode *green reduction* yang memanfaatkan

bahan alam seperti ekstrak daun, kulit, bio-senyawa dan mikroba sebagai agen pereduksi (Vatandost et al., 2020). Daun teh merupakan salah satu tumbuhan yang bisa dijadikan agen pereduksi pada *graphene*. Kandungan polifenol yang tinggi pada daun teh dapat berperan sebagai agen pereduksi pada *reduced Graphene Oxide* (rGO) (Vatandost et al., 2020). Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan kesesuaian hasil karakterisasi dengan ciri khas yang dimiliki rGO (Riley et al., 2021) (Jiao et al., 2017) (Abbas et al., 2021).

Penelitian ini berlandaskan nilai-nilai islam yang mendorong manusia untuk memanfaatkan dan meneliti ciptaan tuhan. Sebagaimana Allah berfirman dalam QS. An-nur 35:

اللَّهُ نُورُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ ۚ مِثْلُ نُورِهِ كَمِشْكُوتٍ فِيهَا مِصْبَاحٌ ۚ الْمِصْبَاحُ فِي زُجَاجَةٍ ۚ الزُّجَاجَةُ كَأَنَّهَا كَوْكَبٌ دُرِّيٌّ يُوقَدُ مِنْ شَجَرَةٍ مُبَارَكَةٍ زَيْتُونَةٍ لَا شَرْقِيَّةٍ وَلَا غَرْبِيَّةٍ يَكَادُ زَيْتُهَا يُضِيءُ وَلَوْ لَمْ تَمْسَسْهُ نَارٌ ۚ نُورٌ عَلَى نُورٍ يَهْدِي اللَّهُ لِنُورِهِ مَنْ يَشَاءُ ۚ وَيَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَالَ لِلنَّاسِ وَاللَّهُ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ ﴿٣٥﴾

*Artinya : Allah (pemberi) cahaya (pada) langit dan bumi. Perumpamaan cahaya-Nya seperti sebuah lubang (pada dinding) yang tidak tembus yang di dalamnya ada pelita besar. Pelita itu di dalam tabung kaca (dan) tabung kaca itu bagaikan bintang (yang berkilauan seperti) mutiara, yang dinyalakan dengan minyak dari pohon yang diberkahi, (yaitu) pohon zaitun yang tumbuh tidak di timur dan tidak pula di barat, yang minyaknya (saja) hampir-hampir menerangi walaupun tidak disentuh api. Cahaya di atas cahaya (berlapis-lapis). Allah memberi petunjuk menuju cahaya-Nya kepada orang yang Dia kehendaki. Allah membuat perumpamaan-perumpamaan bagi manusia. Allah Maha Mengetahui segala sesuatu.*

Penelitian ini mengintegrasikan temuan saintifik dengan QS. An-Nur: 35 melalui pendekatan tafsir syari. Sebagaimana tafsir Ibnu Katsir menjelaskan bahwa potensi cahaya yang terkandung dalam minyak zaitun sangat murni hingga hampir menerangi tanpa api, material rGO pun memiliki potensi transmisi elektron yang luar biasa. Ekstrak daun teh berperan sebagai agen pemurni (reduktor) yang

mengembalikan sifat 'cahaya' (konduktivitas) pada material karbon tersebut. Proses ini merefleksikan keagungan penciptaan di mana unsur nabati yang diberkati dapat menjadi wasilah bagi aktifnya energi listrik dalam material anorganik, menciptakan sinergi manfaat yang disebut sebagai 'cahaya di atas cahaya' (Nurun 'ala Nuurin).

Berdasarkan pertimbangan di atas, penelitian akan dilakukan menggunakan metode *green reduction* untuk mensintesis *reduced Graphene Oxide* (rGO). Saya menggunakan bahan alami yaitu daun teh dalam proses reduksi yang dibantu dengan proses *stirring* dan radiasi gelombang *microwave*. Untuk menganalisis sifat listrik yang dihasilkan, maka dilakukan uji XRD, FTIR, LCR Meter dan UV-Vis.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi daun teh terhadap gugus fungsi, ukuran kristal, dan sifat optik dari sampel yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi daun teh terhadap konduktivitas, kapasitansi dan impedansi listrik dari sampel yang dihasilkan?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi komposisi daun teh terhadap gugus fungsi, ukuran kristal, dan sifat optik dari sampel yang dihasilkan.
2. Menganalisis pengaruh variasi komposisi daun teh terhadap konduktivitas, kapasitansi dan impedansi listrik dari sampel yang dihasilkan.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh variasi komposisi daun teh terhadap gugus fungsi, ukuran kristal, dan sifat optik dari sampel, yang dapat digunakan sebagai referensi dalam pengembangan material berbasis bahan alami.
2. Memberikan pemahaman mengenai hubungan antara variasi komposisi daun teh dengan konduktivitas, kapasitansi dan impedansi listrik sampel, yang bermanfaat dalam aplikasi material ramah lingkungan.

#### 1.5 Batasan Penelitian

Batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

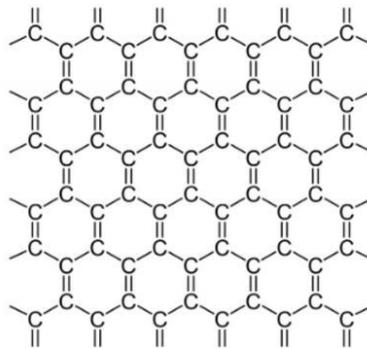
1. Penelitian ini difokuskan pada sintesis *reduced Graphene Oxide* (rGO) menggunakan pendekatan *green reduction* berbasis ekstrak daun teh, dengan proses pemanasan suhu tinggi melalui kombinasi *stirring* dan *microwave*.
2. Digunakan parameter tertentu seperti suhu, waktu dan hasil karakterisasi *graphene* sebagai indikator keberhasilan.
3. Penelitian ini tidak mencakup analisis dalam skala industri.
4. Fokus penelitian ini terbatas pada efek perlakuan terhadap *graphene*, tanpa mempertimbangkan variabel lain seperti jenis bahan baku atau pengaruh eksternal.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Grafena

Secara sederhana, grafena adalah satu lapis lembaran grafit yang tersusun atas atom karbon hingga membentuk struktur seperti sarang lebah 2D yang sekaligus merupakan unit dasar dari CNT, fullerene dan grafit. Grafena memiliki ketebalan sekitar 0.335 nm dengan panjang ikatan karbon sekitar 0,142 nm dan sudut sebesar  $120^\circ$  (Wu et al., 2019).



Gambar 2.1 Struktur Grafena (Rashi, 2023)

Sejak tahun 2004 grafena mulai banyak dikaji para ilmuwan karna keunikan yang dimilikinya dan merupakan penemuan paling inovatif dalam beberapa dekade terakhir. Grafena dianggap penemuan inovatif dan unik karna memiliki stabilitas termal yang baik, luas permukaan spesifik yang tinggi, kekuatan tarik intrinsik yang kuat dan penghalang van der Waals interlayer yang sangat rendah (Jin et al., 2023).

Sifat grafena yang paling menonjol adalah konduktivitasnya yang tinggi. konduktivitas yang dimiliki grafena 100x lipat lebih tinggi dari konduktor logam terkuat seperti emas dan tembaga (Ruang Saintek, 2023). Dimana mobilitas elektron grafena lebih dari  $2 \times 10^5 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  (Vivi Fauzia, 2025). Selain itu,

grafena juga memiliki transparansi yang tinggi dan konduktivitas termal yang bagus (Ruang Saintek, 2023).

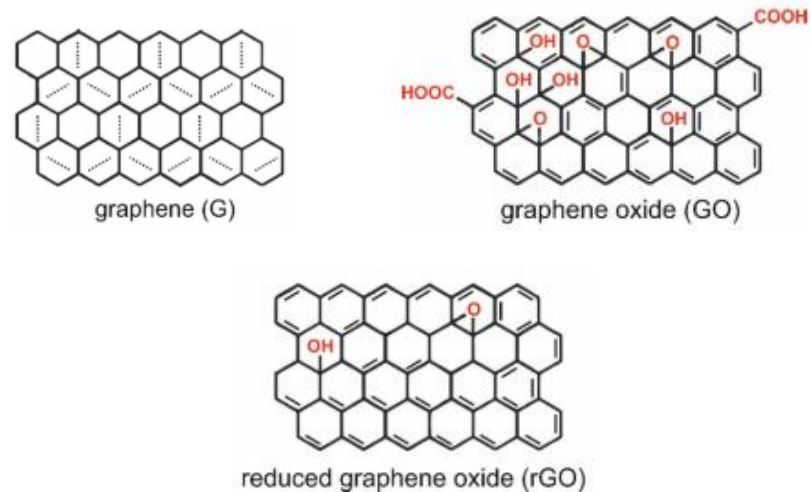
Konduktivitas termal yang dimiliki grafena lebih tinggi 10 kali lipat dari tembaga, dan lebih besar 1 kali lipat dari intan yakni sebesar  $5 \times 10^3$  W/mK pada suhu kamar. Konduktivitas termal yang tinggi pada grafena biasa dimanfaatkan untuk pembuangan panas. Selain itu, grafena juga memiliki kekuatan Tarik sebesar 130 GPa dengan modulus elastisitas sebesar 1,0 TPa (Wu et al., 2019).

Grafena memiliki sifat khusus pada aspek optik. Transimisi pada grafena lebih besar 2,3% ke berbagai cahaya untuk setiap perbedaan satu lapisan, sehingga informasi lapisan dapat dianalisis dengan transluesi grafena. Selain itu, grafena juga berpotensi dalam menciptakan penyerapan saturasi nonlinier pada cahaya (Wu et al., 2019).

Keunikan-keunikan tersebut tidak hanya dimiliki grafena, namun juga dimiliki oleh produk turunan grafena seperti *Graphene Oxide* (GO) dan *reduced Graphene Oxide* (rGO) (Jin et al., 2023). Maka dari itu tidak heran jika turunan karbon menjadi topik kajian yang menarik hingga kini.

## **2.2 Reduced Graphene Oxide (rGO)**

Dibalik berbagai sifatnya yang unik dan karakteristik yang baik, grafena memiliki keterbatasan untuk diaplikasikan dalam skala industri. Keterbatasan tersebut menjadi tantangan bagi para peneliti untuk mengatasi dan menciptakan sesuatu yang baru hingga ditemukannya turunan dari grafena berupa *Graphene Oxide* (GO) dan *reduced Graphene Oxide* (rGO) (Ahmed et al., 2023).



Gambar 2.2 Struktur Grafena (G), *Graphene Oxide* (GO) dan *reduced Graphene Oxide* (rGO)

*Graphene Oxide* (GO) merupakan struktur karbon heksagonal yang mengandung lembaran grafena dengan berbagai gugus fungsi oksigen. Untuk mendapatkan sifat yang mirip dengan grafena murni yang memiliki sedikit gugus oksigen, *Graphene Oxide* (GO) terus dimodifikasi hingga ditemukan beberapa metode untuk mereduksi oksigen pada *Graphene Oxide* (GO) dan dihasilkan *reduced Graphene Oxide* (rGO). rGO memiliki gugus fungsi kimia permukaan, kinerja mekanik, listrik, termal dan dispersibilitas pelarut yang lebih seimbang daripada GO. Selain itu, rGO merupakan konduktor dengan tingkat reduksi yang tinggi dan berpotensi menjadi superkapasitor seperti halnya grafena, sedangkan GO bersifat isolator (Abbas et al., 2021).

### 2.3 Daun Teh Hijau

Teh merupakan minuman paling umum dan terkenal akan khasiatnya terhadap kesehatan. daun teh hijau mengandung polifenol tingkat tinggi seperti flavonoid, asam galat dan asam tanat yang memiliki efek positif terhadap kesehatan dalam pencegahan penyakit yang berhubungan dengan gaya hidup manusia

(Vatandost et al., 2020). Ditinjau dari kandungan yang dimiliki, teh hijau dapat dimanfaatkan sebagai pereduksi *Graphene Oxide* (GO) untuk menjadi *reduced Graphene Oxide* (rGO). Polifenol seperti asam galat dan asam tanat terbukti menjadi agen pereduksi dan penstabil yang baik dalam proses sintesis rGO. Polifenol akan diubah menjadi kuinon pada proses reduksi dan polifenol teroksidasi selanjutnya akan berperan dalam menstabilkan rGO yang terbentuk untuk mencegah agregasi (Han et al., 2016).

Reduksi menggunakan ekstrak tumbuhan menghasilkan rGO lebih baik dari pada rGO yang direduksi menggunakan bahan kimia. Bahan kimia yang sering digunakan sebagai pereduksi seperti hydrazine hidrokuinon, natrium borohibrida dan asam askorbat merupakan zat beracun dan berbahaya bagi lingkungan dan kehidupan. Tidak hanya itu, rGO yang disintesis menggunakan bahan kimia cenderung menggumpal akibat gaya Van Der Waals yang berinteraksi antar lapisan (Vatandost et al., 2020).

Pemanfaatan daun teh ini berlandaskan nilai-nilai islam yang mendorong manusia untuk memanfaatkan dan meneliti ciptaan tuhan. Sebagaimana Allah berfirman dalam QS. Yasin; 80:

الَّذِي جَعَلَ لَكُم مِّنَ الشَّجَرِ الْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَا أَنْتُمْ مِّنْهُ تُوقِدُونَ ﴿٨٠﴾

*Artinya : (Dialah) yang menjadikan api untukmu dari kayu yang hijau. Kemudian, seketika itu kamu menyalakan (api) darinya.*

Penelitian analisis sifat listrik material *reduced Graphene Oxide* (rGO) yang direduksi menggunakan ekstrak daun teh dapat diintegrasikan dengan QS. Yasin [36]: 80 yang menyatakan bahwa Allah menjadikan energi dari tumbuhan hijau sehingga darinya dapat dinyalakan api. Menurut tafsir Ibnu Katsir, ayat ini

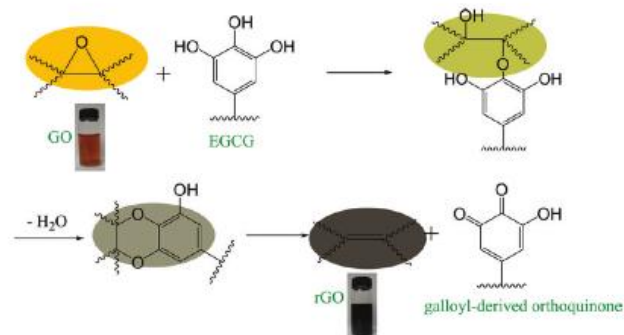
menunjukkan adanya potensi energi laten dalam unsur nabati yang dapat diaktifkan melalui proses tertentu. Secara ilmiah, ekstrak daun teh berperan sebagai agen pereduksi alami yang mengaktifkan kembali mobilitas elektron pada material *Graphene Oxide* sehingga meningkatkan konduktivitas listrik rGO. Dengan demikian, ayat ini merefleksikan prinsip bahwa sumber nabati yang tampak sederhana dapat menjadi medium pengaktifan energi pada material lain, sebagaimana terjadi dalam proses reduksi GO menjadi rGO.

## **2.4 Green Reduction Methode**

Beragam metode telah dikembangkan untuk memproduksi Grafena dan turunannya. Beberapa diantaranya adalah *mechanical or ultrasonic exfoliation*, *chemical vapor deposition*, pertumbuhan epitaksi dan *chemical reduction*. Diantara beberapa metode tersebut, yang sering kali digunakan adalah *chemical reduction* atau memanfaatkan bahan kimia sebagai agen pereduksi. Reduksi kimia memberikan kemudahan fungsional dan berpotensi untuk diproduksi dalam skala industry (Wang et al., 2011). Bahan kimia yang biasa digunakan meliputi hidrazin, dimetilhidrazin, dan  $\text{NaBH}_4$ , bubuk seng, hidrokuinon dan beberapa bahan lainnya. Namun bahan kimia tersebut memiliki beberapa kelemahan seperti toksisitasnya yang tinggi, mengandung zat yang berbahaya, terutama dalam aplikasi terkait biologi seperti katalis dan penghantaran obat. Pengolahannya dalam skala industri menghasilkan limbah yang banyak dan membutuhkan biaya yang besar untuk pengolahannya (Perumal et al., 2022). Pembuangan limbah yang sembarangan akan membahayakan lingkungan, baik perairan maupun kesuburan tanah (Ismail, 2019). Selain itu, rGO yang disintesis menggunakan bahan kimia cenderung bersifat hidrofobik atau sulit larut dengan air dan mudah beragregasi (menggumpal) karna

interaksi van der Waals yang ada diantara lembaran rGO (Zhu et al., 2017) (Vatandost et al., 2020).

Untuk mengatasi hal tersebut, telah banyak berkembang metode *Green Reduction* yang memanfaatkan suhu tinggi (Wang et al., 2011). Salah satu bahan pereduksi alami yang bisa digunakan adalah ekstrak daun teh hijau. Daun teh merupakan temuan paling awal sebagai bahan yang digunakan sebagai agen pereduksi yakni pada tahun 2011 (Ismail, 2019). Daun teh hijau mengandung 10-15% polifenol dan merupakan agen antioksidan yang sangat mudah bereaksi dengan oksigen reaktif. 50-80% dari polifenol merupakan *epigallocatechin gallate* (ECGC) yang berperan dalam mereduksi berbagai gugus oksigen pada *Graphene Oxide* (GO) seperti epoksida, hidroksil dan karboksil (Liao et al., 2011).



Gambar 2.3 Mekanisme Reduksi Oksigen pada *Graphene Oxide* (GO) oleh ECGC

Pertama-tama polifenol akan menempel pada permukaan GO dan membentuk ikatan hidrogen antara gugus hidroksil (-OH) dari ECGC dengan gugus oksigen dari GO. Gugus hidroksil (-OH) akan melepas proton ( $H^+$ ) dan elektron ( $e^-$ ). Elektron-elektron ini akan mereduksi gugus epoksida (C-O-C) menjadi gugus hidroksil (C-OH) dan mengubah gugus hidroksil (C-OH) menjadi karbonil (C=O). Reaksi tersebut mengurangi oksigen yang ada pada GO dan mengubahnya menjadi *reduced Graphene Oxide* (rGO) (Liao et al., 2011).

Tabel 2.1 Penelitian Green Reduction Sebelumnya

| <b>Penulis (Tahun)</b>                                                                                                             | <b>Hasil</b>                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yang Wang, Zixing Shi,<br>Jie Yin (2011)                                                                                           | Menunjukkan rGO yang memiliki puncak UV-Vis serupa dengan reduksi menggunakan bahan kimia hidrazin dan fenilhidrazin yakni 270 nm dan lebih tinggi dibandingkan rGO yang direduksi dengan bahan alami lainnya. |
| Wei Han, Wen-Yi Niu,<br>Bing Sun, Guang-Can<br>Shi , Xiu-Qin Cui<br>(2016)                                                         | Menunjukkan rGO yang memiliki puncak UV-Vis serupa dengan reduksi menggunakan bahan kimia hidrazin dan fenilhidrazin yakni 270 nm dan lebih tinggi dibandingkan rGO yang direduksi dengan bahan alami lainnya. |
| Xin Zhu, Xiaolin Xu,<br>Feng Liu, Jizhong Jin,<br>Lintao Liu, Zhi-wen<br>Chen, Zhan-song Zhou,<br>and Jianjun Yu, Yi Zhi<br>(2017) | Data Raman, XRD, dan XPS menunjukkan deoksigenasi GO menggunakan <i>C. colocynthis</i> polifenol ekstrak daun yang efektif.                                                                                    |
| Ahmed Ali Moosa,<br>Jaafar Noori Jaafar<br>(2017)                                                                                  | Setelah reduksi GO dengan ekstrak daun teh, puncak serapan UV-Vis bergeser dari 228 nm menjadi 271 nm karena penghilangan sebagian besar gugus fungsi oksigen.                                                 |
| Elham Vatandost, Azade<br>Ghorbani-HasanSaraei,                                                                                    | Peran teh hijau dikonfirmasi sebagai agen bio-reduktor dengan spektroskopi UV-Vis. Puncak                                                                                                                      |

| Penulis (Tahun)                                                                  | Hasil                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fereshteh Chekin,<br>Shahram Naghizadeh<br>Raeisi, Seyed-Ahmad<br>Shahidi (2020) | serapan suspense GO sekitar 240 nm, sedangkan puncak serapan suspensi tereduksi bergeser ke panjang gelombang sekitar 270 nm. Hal ini dikonfirmasi bahwa fitomolekul ekstrak teh hijau tidak hanya bertindak sebagai agen pereduksi tetapi juga memfungsikan permukaan lembaran rGO. |

Metode *green reduction* termasuk ke dalam reduksi solvothermal atau proses reduksi yang memanfaatkan suhu tinggi. Seperti beberapa contoh yang telah dijabarkan pada Tabel. 2.1 semua proses reduksi menggunakan metode *green reduction* yang memanfaatkan refluks untuk ekstraksi dan dilakukan pada titik didih pelarut, dengan waktu dan jumlah tertentu (Irianti & Nuranto, 2021). Selain metode refluks, terdapat pendekatan lain dalam ekstraksi yang dapat digunakan, seperti kombinasi *magnetic stirring* dan pemanasan *microwave*. Pada penelitian ini, pendekatan tersebut dipilih untuk mengeksplorasi metode ekstraksi dalam proses reduksi.

#### 2.4.1 Magnetic Stirrer

*Magnetic stirrer* adalah satu set alat laboratorium yang terdiri dari *Hot Plate* dan *Stirrer Bar*. Alat ini biasa digunakan untuk memanaskan sampel dan menghomogenkan suatu larutan dengan pengadukan. *Hot plate* mampu memberikan panas untuk mempercepat proses homogenisasi. Dan *Stirrer bar* membantu pengadukan dengan kecepatan yang bisa disesuaikan melalui *Hot plate* (Suharti & Rahmayati, 2022) (Zulkarnain, 2024).

### 2.4.2 Microwave

*Microwave* sering kali dianggap sama dengan oven karna memiliki fungsi yang sama yakni untuk memasak. Namun pada mekanismenya, oven memanfaatkan prinsip udara kering dengan suhu yang tinggi, sedangkan *microwave* memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik yang merambat dalam memanaskan bahan (Saputri & Purwayantie, 2024). Dalam laboratorium, *microwave* biasa digunakan untuk mengambil bioaktif atau senyawa kimia tertentu dari suatu matriks yang dilarutkan menggunakan pelarut yang sesuai (Saputri & Purwayantie, 2024). Ekstraksi memanfaatkan gelombang mikro yang dihasilkan oleh medan Listrik dan medan magnet yang saling berosilasi dengan adanya dua fenomena yang berjalan secara simultan, yaitu konduksi ionic dan rotasi dipol. Proses ini menyebabkan timbulnya panas dan tekanan, sehingga susunan senyawa akan pecah dan yang terkandung didalamnya akan keluar (Bintari et al., 2018).

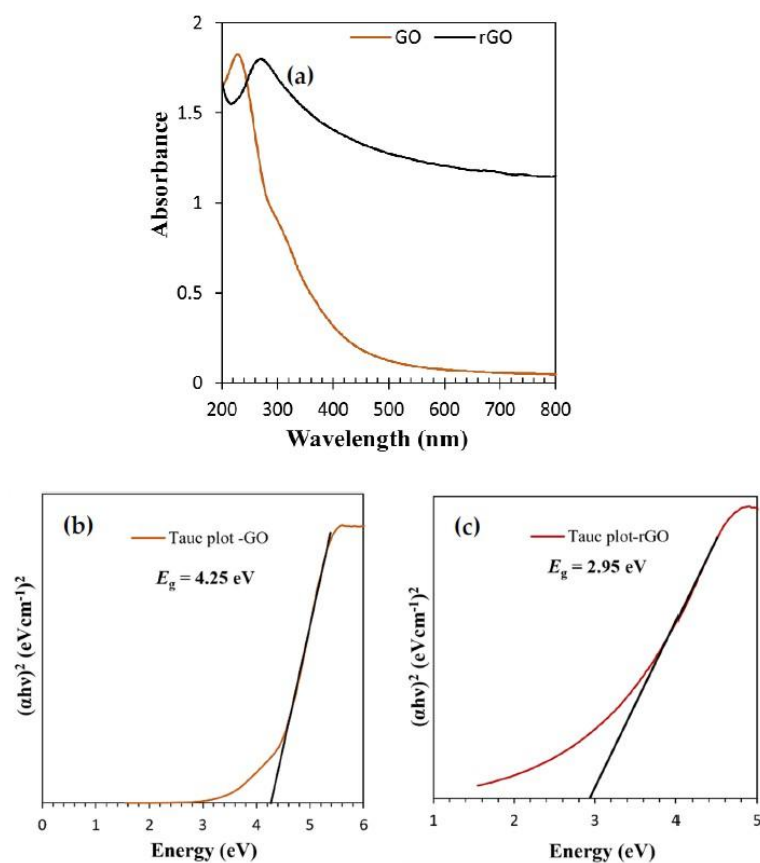
## 2.5 Karakterisasi

Analisis hasil eksperimen dilakukan melalui perlakuan beberapa karakterisasi yang diantaranya adalah melalui karakterisasi UV-Vis, XRD, FTIR, dan LCR-Meter.

### 2.5.1 Spektrofotometer UV-Vis

Spektroskopi adalah ilmu yang mempelajari interaksi antara radiasi dan materi. Juga dapat didefinisikan sebagai metode pengukuran yang berdasar pada pengukuran *absorbs* (penyerapan) radiasi gelombang elektromagnetik (Ningrum, 2023). Teknik spektroskopi menggunakan cahaya untuk berinteraksi dengan sampel yang diinginkan bertujuan untuk menyelidiki strukturnya atau parameter lain seperti konsentrasi. Ciri-ciri molekul suatu senyawa dijelaskan

melalui radiasi elektromagnetik yang memiliki energi berbeda yang berguna untuk menganalisis beragam ciri senyawa. Fenomena serapan spektrum dijelaskan oleh hukum Beer-Lambert yang berbunyi ketika cahaya monokromatik bergerak melewati suatu sampel yang menyerap cahaya, konsentrasi zat penyerap dalam larutan sampel berbanding lurus dengan absorbansinya. Sehingga semakin tinggi jumlah molekul penyerap dalam sampel, semakin tinggi pula tingkat penyerapan cahaya oleh sampel (Mir et al., 2023) (Olha Rantung et al., 2022).



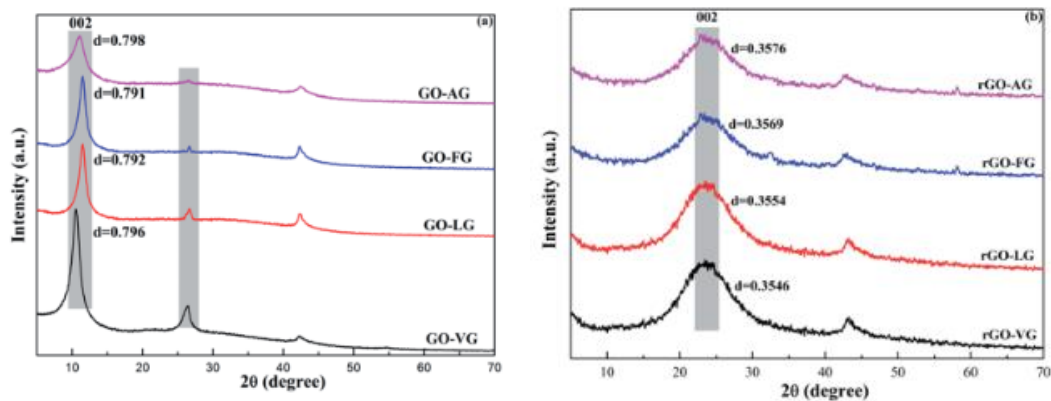
Gambar 2.4 (a) Spektrofotometer UV-Vis dari GO dan rGO; (b) *band gap* dari GO; (c) *band gap* dari rGO

Gambar 2.4 merupakan salah satu contoh hasil karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil reduksi dari GO menjadi rGO dapat diamati melalui perubahan rasio karbon dan oksigen pada GO yang digambarkan oleh celah pita atau *band gap*. Penurunan *band gap* menunjukkan penurunan atau bahkan

penghilangan oksigen dalam molekul. Pada Gambar 2.4 tampak *band gap* turun dari 4.25 eV menjadi 2.95 eV yang berarti penurunan atau bahkan penghilangan kadar oksigen pada GO sehingga bisa disimpulkan bahwa reduksi berhasil (Sharma et al., 2020).

### 2.5.2 X-Ray Diffraction (XRD)

Sinar-X atau X-Ray merupakan radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang yang berkisar antara 0.01 hingga 100Å. Analisis sinar-X khususnya difraksi dan reflektometri merupakan teknik analisis yang biasa digunakan untuk mendeteksi sifat kristal suatu material. Difraksi Sinar-X atau XRD digunakan untuk menentukan kristalinitas atau struktur kristal suatu material, keadaan amorf dan kemurnian suatu material. Dalam skala industry, analisis ini biasa digunakan untuk menentukan kekasaran permukaan material, regangan material, tegangan, tekstur, kepadatan dan komposisi fasa (Nasir et al., 2008).



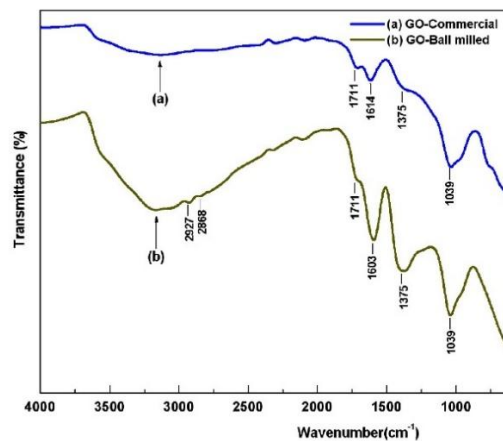
Gambar 2.5 Hasil XRD Perubahan GO menjadi rGO

Berdasarkan jurnal yang ditulis oleh (Moosa & Jaafar, 2017), dijelaskan bahwa perubahan *Graphene Oxide* (GO) menjadi *reduced Graphene Oxide* (rGO) ditunjukkan melalui hasil XRD dari GO yang memiliki peak  $2\theta \approx 11,16^\circ$  (001)

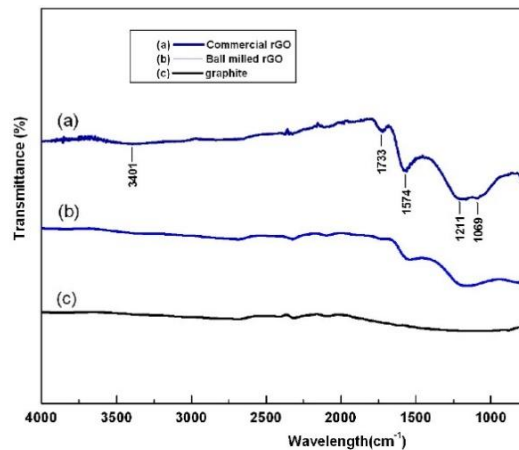
dengan jarak antar lapisan 0,79 nm bergeser menjadi peak  $2\theta \approx 23^\circ$ - $26^\circ$  dengan jarak antar lapisan  $\sim 0,34$  nm. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan kesesuaian hasil karakterisasi dengan ciri khas yang dimiliki rGO. Beberapa ciri khas yang dimiliki rGO diantaranya adalah pola XRD yang menunjukkan puncak karakterisasi pada  $2\theta \approx 24^\circ$ - $28^\circ$  dengan jarak antar lapisan yang mendekati ciri jarak antar lapisan grafena yakni  $\sim 0,336$  nm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa struktur kristal dapat dipulihkan setelah melalui proses reduksi (Riley et al., 2021) (Jiao et al., 2017) (Abbas et al., 2021).

### 2.5.3 Fourier Transform Infra Red (FTIR)

FTIR atau spektroskopi inframerah merupakan metode analisis komposisi kimia dari senyawa organik, anorganik, *coating*, polimer, sampel biologis, dan mineral menggunakan radiasi elektromagnetik pada rentang panjang gelombang 0,75 – 1000 m. Hasil analisis digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi senyawa, mengidentifikasi kemurnian, struktur molekul dan mempelajari reaksi yang berlangsung pada berbagai fase sampel (gas, padat, dan cair) tanpa merusak sampel (Ningrum, 2023) (Yusan, 2024).



Gambar 2.6 Hasil FTIR *Graphene Oxide* (GO)



Gambar 2.7 Hasil FTIR *reduced Graphene Oxide* (rGO)

Ciri utama hasil FTIR dari *Graphene Oxide* adalah adanya puncak pada rentang  $3700\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan tingginya gugus O-H atau hidroksida yang mengandung hidrogen dan oksigen. Oleh karena itu, salah satu ciri keberhasilan proses reduksi dapat ditandai melalui pengurangan atau bahkan hilangnya puncak pada rentang  $3700\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$ . Selain itu, keberhasilan proses reduksi *reduced Graphene Oxide* (rGO) juga bisa dilihat melalui peningkatan pada puncak  $1580\text{--}1620\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan tingginya gugus C=C atau karbon yang merupakan memang tujuan utama dari proses reduksi agar rGO memiliki karakteristik yang sama dengan grafena. Seperti pada contoh Gambar 2.6 Puncak (b) cenderung menghilang setelah proses reduksi yang menunjukkan hilangnya gugus O-H. Hal tersebut menunjukkan keberhasilan proses reduksi (Manorathne et al., 2017).

#### 2.5.4 LCR-Meter

LCR meter merupakan alat uji listrik yang digunakan untuk mengukur nilai induktansi (L), kapasitansi (C), dan resistansi (R) pada rangkaian dengan berbagai frekuensi. Prinsip dasar LCR meter adalah untuk menunjukkan tegangan yang

melintasi komponen dan arus melalui komponen yang diuji ketika sinyal uji diterapkan ke komponen menggunakan arus bolak-balik (AC) (Selvam, 2024). Selain menampilkan karakteristik listrik tersebut, LCR Meter juga dapat memberikan nilai impedansi (Z) dan menampilkan konduktansi (*Lcr\_meter\_guide*, n.d.). Impedansi adalah total hambatan (resistansi) yang diberikan suatu rangkaian terhadap arus bolak-balik (AC). Impedansi (Z) berubah sesuai dengan komponen dalam rangkaian dan frekuensi arus AC yang diterapkan (Labs, 2018).

Kapasitor merupakan komponen yang dapat menyimpan muatan listrik. Sedangkan kapasitansi merupakan kemampuan kapasitor untuk dapat menampung muatan elektron dengan satuan Farad (F). Kapasitansi dihitung melalui luas permukaan plat metal (A), jarak (d) antara kedua plat metal dan konstanta (k) bahan dielektrik (mashadi, 2010).

Berbeda dengan kapasitansi, jika kapasitansi merupakan kemampuan untuk menampung muatan listrik, sedangkan konduktivitas listrik ( $\sigma$ ) digunakan untuk mengukur kemampuan material dalam menghantarkan listrik. Konduktivitas dapat diketahui melalui persamaan berikut (Callister & Rethwisch, 2018):

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.1)$$

Resistivitas listrik ( $\rho$ ) suatu material dapat diketahui melalui persamaan berikut (Callister & Rethwisch, 2018):

$$\rho = \frac{RA}{l} \quad (2.2)$$

$l$  adalah jarak antara dua titik tegangan yang diukur, dan A adalah luas penampang tegak lurus terhadap arah arus.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Jenis Penelitian**

Penelitian ini membahas tentang eksperimen dengan variabel yang telah ditentukan dan pengujian karakteristik yang telah disesuaikan. Sampel yang digunakan adalah *reduced Graphene Oxide* (rGO) yang direduksi menggunakan metode *green reduction* dengan ekstrak daun teh hijau sebagai agen pereduksi. Analisa penelitian didasarkan pada hasil pengujian karakteristik pada setiap sampel menggunakan XRD untuk menentukan struktur sampel, FTIR untuk menganalisa komposisi kimia dan struktur molekuler suatu sampel, Spektroskopi UV-Vis untuk menganalisa nilai absorbansi suatu sampel, dan karakterisasi LCR meter yang digunakan untuk menganalisa konduktivitas listrik yang dimiliki sampel.

#### **3.2 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dimulai sejak bulan Mei 2025 dan dilaksanakan di Laboratorium Fisika Material Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

#### **3.3 Alat dan Bahan**

##### **3.3.1 Alat Penelitian**

1. Spatula
2. Gelas Beaker 50 ml
3. Gelas Beaker 1000 ml
4. Alumunium Foil

5. Gelas Ukur 100 ml
6. Corong
7. Kertas Saring
8. Cawan Petri
9. Pinset Laboratorium
10. *Magnetic Stirrer* dan *magnetic Bar*
11. *Sonicator*
12. *Microwave*
13. Timbangan digital

### **3.3.2 Bahan Penelitian**

1. *Graphene Oxide* (GO)
2. *Green Tea Powder*
3. Aquades

### **3.3.3 Alat Karakterisasi**

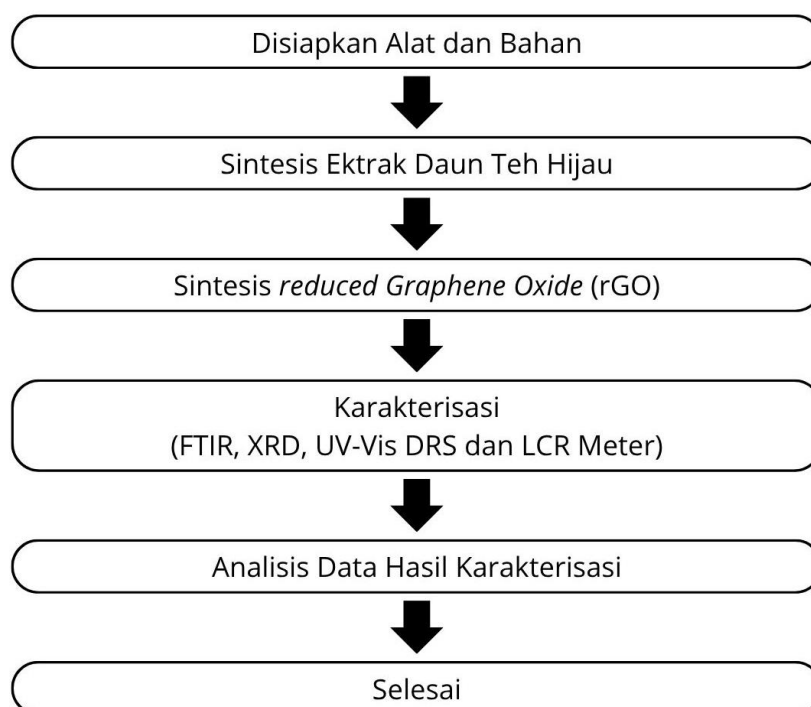
1. Spektrofotometer UV-Vis
2. XRD (*X-Ray Diffraction*)
3. FTIR (*Forier Transform Infra Red*)
4. LCR Meter

## **3.4 Variabel Penelitian**

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah komposisi ekstrak daun teh hijau yang digunakan untuk mereduksi *Graphene Oxide* (GO) menjadi *reduced Graphene Oxide* (rGO). Untuk membuat larutan GO digunakan perbandingan 10 mg GO : 20 ml Aquades. Dan perbandingan untuk membuat

larutan ekstrak daun teh hijau adalah variasi *green tea powder* (3gr, 5gr, 7gr, 9gr, 11gr) : 50 ml aquades. Perbandingan komposisi antara larutan GO dan larutan ekstrak daun teh dalam proses reduksi GO adalah setiap larutan GO yang dihasilkan, direduksi menggunakan 10 ml larutan ekstrak daun teh.

### 3.5 Prosedur Penelitian



#### 3.5.1. Sintesis Ekstrak Daun Teh

##### Sintesis Ekstrak Green Tea Powder

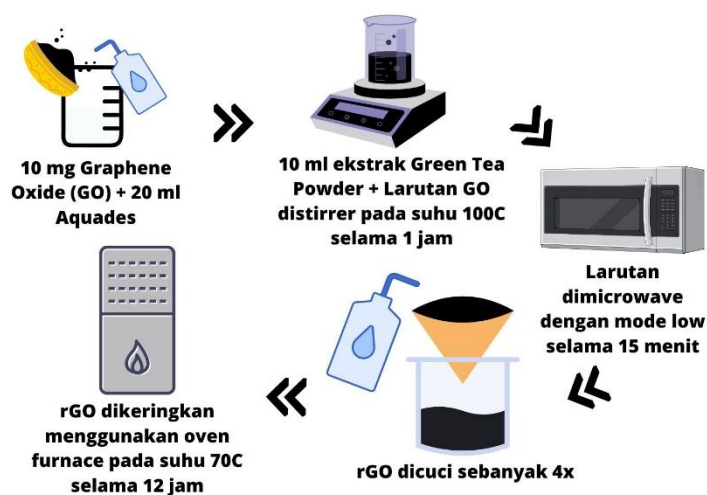


Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Sintesis Ekstrak Daun Teh

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses sintesis ekstrak daun teh adalah sebagai berikut:

1. Serbuk daun teh dilarutkan dengan 50 ml aquades dan disonikasi selama 30 menit pada suhu 50°C.
2. Setelah disonikasi, larutan disaring untuk memisahkan dari serbuk/pasta daun teh.
3. Larutan ekstrak yang telah disaring disimpan pada kulkas hingga akan digunakan.
4. Proses diatas diulang sebanyak 5x sesuai dengan banyak variasi ekstrak serbuk daun teh (3gr, 5gr, 7 gr, 9gr, dan 11gr).

### 3.5.2. Sintesis *reduced Graphene Oxide* (rGO)



Gambar 3.2 Diagram Alir Proses Sintesis *reduced Graphene Oxide* (rGO)

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses sintesis *Graphene Oxide* (GO) menjadi *reduced Graphene Oxide* (rGO) adalah sebagai berikut:

1. Setiap 10 mg serbuk *Graphene Oxide* (GO), dilarutkan ke dalam 20 ml aquades dan 10 ml ekstrak daun teh.

2. Larutan distirrer selama 1 jam pada suhu 100°C.
3. Setelah distirrer, larutan dimicrowave pada mode *low* selama 15 menit.
4. Setelah dimicrowave, pasta rGO disaring untuk memisahkan dari larutannya.
5. Pasta rGO yang dihasilkan lalu dikeringkan menggunakan oven *furniche* selama 12 jam pada suhu 70°C.
6. Proses di atas diulangi sebanyak 5x sesuai dengan banyak variasi ekstrak serbuk daun teh.
7. *reduced Graphene Oxide* (rGO) siap untuk dikarakterisasi untuk dianalisis hasilnya.

### 3.6 Karakterisasi dan Rencana Analisis Data

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa karakterisasi untuk analisis *reduced Graphene Oxide* (rGO) yang dihasilkan. Karakterisasi tersebut adalah sebagai berikut:

#### 3.6.1. XRD (X-Ray Diffraction)

Karakterisasi XRD digunakan untuk mempelajari perubahan struktur kristal pada rGO. Puncak difraksi XRD biasanya akan muncul disekitar  $2\theta \approx 10^\circ$ - $13^\circ$  yang menunjukkan bahwa lapisan GO berjarak lebih besar akibat adanya gugus oksigen antar lapisan. Setelah direduksi, puncak tersebut akan bergeser menjadi antara  $2\theta \approx 24^\circ$ - $28^\circ$  yang menandakan pengurangan atau bahkan penghilangan gugus oksigen. Sehingga menghasilkan jarak antar lapisan yang lebih kecil. Hasil karakterisasi XRD akan diolah menggunakan *software* origin dan dilakukan pencocokan

dengan referensi pendukung. Untuk menghitung ukuran kristal (D) dan jarak antar lapisan (d), digunakan persamaan sebagai berikut.

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (3.1)$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \quad (3.2)$$

*Tabel 3.1 Rencana Analisis Data Karakterisasi XRD*

| No | Sampel                     | FWHM | Peak (2θ) | D (nm) | d (nm) |
|----|----------------------------|------|-----------|--------|--------|
| 1  | <i>Graphene Oxide</i> (GO) |      |           |        |        |
| 2  | rGO + GT3                  |      |           |        |        |
| 3  | rGO + GT5                  |      |           |        |        |
| 4  | rGO + GT7                  |      |           |        |        |
| 5  | rGO + GT9                  |      |           |        |        |
| 6  | rGO + GT11                 |      |           |        |        |

### 3.6.2. FTIR (*Forier Transform Infra Red*)

FTIR digunakan untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi kimia selama proses reduksi. GO kaya akan gugus oksigen yang diantaranya seperti gugus hidroksil (-OH), epoksi (C-O-C), karbonil (C=O), dan karboksil (-COOH). Setelah direduksi, gugus-gugus oksigen tersebut akan menurun atau bahkan menghilang.

*Tabel 3.2 Rencana Analisis Data Karakterisasi FTIR*

| No | Sampel                     | Wavenumber (cm <sup>-1</sup> ) | Gugus Fungsi | Nama Senyawa |
|----|----------------------------|--------------------------------|--------------|--------------|
| 1  | <i>Graphene Oxide</i> (GO) |                                |              |              |
| 2  | rGO + GT3                  |                                |              |              |
| 3  | rGO + GT5                  |                                |              |              |
| 4  | rGO + GT7                  |                                |              |              |
| 5  | rGO + GT9                  |                                |              |              |
| 6  | rGO + GT11                 |                                |              |              |

### 3.6.3. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk menganalisis absorbansi dan merekam perubahan pergeseran puncak serapan optik yang dapat memberikan informasi mengenai perubahan panjang gelombang serapan yang menunjukkan pengurangan gugus oksigen.

### 3.6.4. LCR Meter

Karakterisasi LCR Meter digunakan untuk mengukur perubahan sifat listrik. Uji LCR Meter diulang beberapa kali dan dengan beberapa variasi frekuensi yang kemudian dianalisis dan digunakan untuk mengevaluasi respons listrik material terhadap medan listrik bolak-balik. Data yang diperoleh berupa nilai resistansi paralel ( $R_p$ ), kapasitansi paralel ( $C_p$ ), *Disipation Factor* ( $D$ ) dan sudut fasa ( $\theta$ ). Dari data tersebut kemudian diolah untuk menentukan nilai konduktivitas ( $\sigma$ ), kapasitansi ( $C_p$ ) dan impedansi ( $Z$ ). *Graphene Oxide* (GO) memiliki sifat isolator karna adanya gugus oksigen yang mengganggu konduktivitas elektron. Setelah direduksi, sifat listrik pada rGO akan meningkat dan menunjukkan bahwa proses reduksi berhasil (Labs, 2018).

Dari data yang didapatkan, konduktivitas dapat ditentukan melalui resistivitas. Resistivitas ( $\rho$ ) material dapat diketahui melalui persamaan berikut (Callister & Rethwisch, 2018):

$$\rho = \frac{R_p \cdot A}{l} \quad (3.3)$$

Dimana  $l$  adalah jarak antara titik (ketebalan sampel),  $A$  adalah luas penampang tegak lurus terhadap arus dan  $R_p$  adalah hambatan material yang dialiri arus (Callister & Rethwisch, 2018).

Dan konduktivitas ( $\sigma$ ) material dapat diketahui melalui persamaan berikut (Callister & Rethwisch, 2018):

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (3.4)$$

*Tabel 3.3 Rencana Analisis Data Konduktivitas*

| Frekuensi | Konduktivitas (S/cm) |         |           |           |           |            |
|-----------|----------------------|---------|-----------|-----------|-----------|------------|
|           | GO                   | rGO+GT3 | rGO + GT5 | rGO + GT7 | rGO + GT9 | rGO + GT11 |
| 100 kHz   |                      |         |           |           |           |            |
| 200 kHz   |                      |         |           |           |           |            |
| 300 kHz   |                      |         |           |           |           |            |
| 400 kHz   |                      |         |           |           |           |            |
| 500 kHz   |                      |         |           |           |           |            |

Berbeda dengan konduktivitas ( $\sigma$ ), kapasitansi (C) material dapat diketahui langsung melalui data yang diperoleh dari karakterisasi LCR Meter. Yakni nilai Cp yang didapat dari uji LCR Meter.

*Tabel 3.4 Rencana Analisis Data Kapasitansi*

| Frekuensi | Kapasitansi (S/cm) |         |           |           |           |            |
|-----------|--------------------|---------|-----------|-----------|-----------|------------|
|           | GO                 | rGO+GT3 | rGO + GT5 | rGO + GT7 | rGO + GT9 | rGO + GT11 |
| 100 kHz   |                    |         |           |           |           |            |
| 200 kHz   |                    |         |           |           |           |            |
| 300 kHz   |                    |         |           |           |           |            |
| 400 kHz   |                    |         |           |           |           |            |
| 500 kHz   |                    |         |           |           |           |            |

Impedansi pada penelitian ini dihitung menggunakan model rangkaian ekuivalen paralel berdasarkan nilai resistansi paralel ( $R_p$ ) dan kapasitansi paralel ( $C_p$ ) yang diperoleh dari pengukuran LCR Meter. Nilai impedansi dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut (Labs Inc, 2019).

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + (2\pi fC)^2}} \quad (3.5)$$

Dimana,

R = Resistansi

$f$  = Frekuensi

$C$  = Kapasitansi

Persamaan tersebut menghasilkan magnitudo impedansi ( $|Z|$ ) atau besar impedansi total material terhadap arus bolak-balik (AC), sehingga tidak secara langsung merepresentasikan komponen impedansi real ( $Z'$ ) maupun impedansi imajiner ( $Z''$ ). Nilai magnitudo impedansi menggambarkan hambatan total yang dialami arus AC akibat kontribusi komponen resistif dan kapasitif secara bersamaan. Oleh karena itu, pada penelitian ini analisis impedansi difokuskan pada perubahan nilai impedansi total sebagai indikator kemampuan transport muatan pada material rGO hasil reduksi menggunakan ekstrak daun teh. Penurunan nilai impedansi menunjukkan berkurangnya hambatan terhadap pergerakan muatan listrik, yang mengindikasikan peningkatan kualitas reduksi dan perbaikan sifat listrik material yang dihasilkan. Sedangkan impedansi real adalah Komponen real merepresentasikan hambatan resistif yang menyebabkan disipasi energi listrik menjadi panas. Dan impedansi imajiner adalah komponen imajiner yang merepresentasikan hambatan reaktif yang berkaitan dengan kemampuan material dalam menyimpan dan melepaskan energi listrik.

*Tabel 3.5 Rencana Analisis Data Impedansi*

| Frekuensi | Impedansi ( $\Omega$ ) |         |           |           |           |            |
|-----------|------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|------------|
|           | GO                     | rGO+GT3 | rGO + GT5 | rGO + GT7 | rGO + GT9 | rGO + GT11 |
| 100 kHz   |                        |         |           |           |           |            |
| 200 kHz   |                        |         |           |           |           |            |
| 300 kHz   |                        |         |           |           |           |            |
| 400 kHz   |                        |         |           |           |           |            |
| 500 kHz   |                        |         |           |           |           |            |

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Data Hasil Penelitian

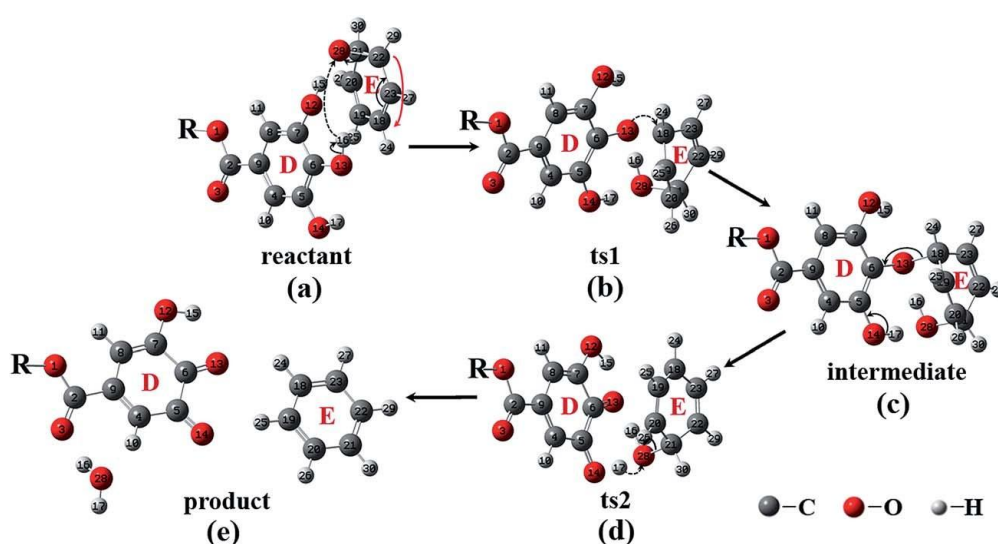
Pada bagian ini disajikan dan dibahas data hasil penelitian mengenai proses reduksi *Graphene Oxide* (GO) menjadi *reduced Graphene Oxide* (rGO) menggunakan ekstrak daun teh sebagai agen pereduksi alami. Proses penelitian dilakukan melalui 3 tahapan, yaitu tahap *pre-treatment* ekstrak daun teh untuk memperoleh larutan ekstrak yang berperan dalam reaksi reduksi, tahap reduksi GO menggunakan ekstrak tersebut, dan yang terakhir adalah tahap karakterisasi terhadap material yang dihasilkan. Karakterisasi dilakukan menggunakan empat teknik analisis, yaitu *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk melihat perubahan struktur kristal dan jarak antar-lapisan, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang mengalami perubahan selama proses reduksi, *Ultraviolet–Visible Spectroscopy* (UV–Vis) untuk mengamati pergeseran serapan dan perubahan absorbansi, serta LCR meter untuk menentukan sifat listrik melalui pengukuran konduktivitas, kapasitansi, dan impedansi. Melalui serangkaian analisis ini, efektivitas ekstrak daun teh sebagai pereduksi GO dievaluasi secara menyeluruh guna memperoleh pemahaman yang lebih mendalam terkait keberhasilan proses reduksi dan kualitas rGO yang dihasilkan.

##### 4.1.1. Sintesis Ekstrak Daun Teh

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah sintesis ekstrak daun teh, yang bertujuan untuk memperoleh ekstrak murni yang mengandung senyawa aktif sebagai agen pereduksi. Pada tahap ini, serbuk daun teh diekstraksi menggunakan pelarut air melalui proses pemanasan terkendali untuk melarutkan senyawa bioaktif

seperti polifenol, katekin, flavonoid, dan tanin, yang diketahui memiliki sifat antioksidan kuat dan berperan penting dalam proses reduksi *Graphene Oxide* (GO) (Han et al., 2016). Ekstrak yang diperoleh kemudian disaring untuk memisahkan residu padat sehingga didapatkan larutan ekstrak daun teh yang siap digunakan sebagai pereduksi pada tahap selanjutnya.

#### 4.1.2. Sintesis *reduced Graphene Oxide* (rGO)



Gambar 4.1 Mekanisme Reduksi GO oleh *Green Tea Extract* (Abdullah et al., 2014a)

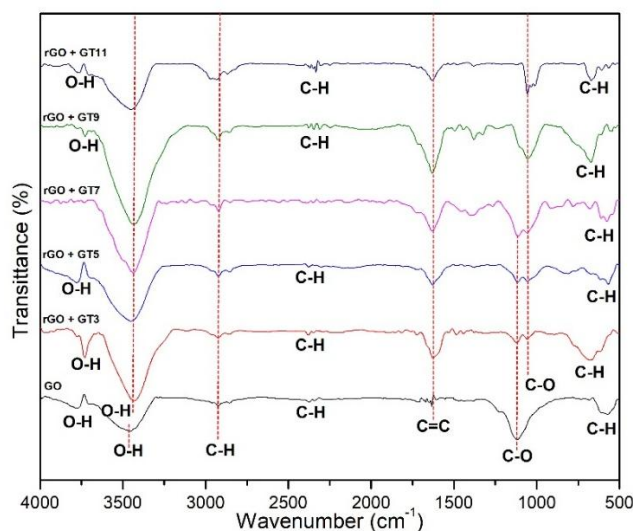
Pada tahap ini, proses reduksi *Graphene Oxide* (GO) dilakukan dengan memanfaatkan ekstrak daun teh sebagai agen pereduksi alami. Mekanisme reduksi *Graphene Oxide* (GO) oleh polifenol ekstrak teh hijau yang dijelaskan oleh Abdullah et al. (2014) ditunjukkan pada Gambar 4.1. Proses reduksi diawali dengan interaksi antara gugus hidroksil pada senyawa *epigallocatechin gallate* (EGCG) dengan gugus epoksi pada permukaan GO. Pada gambar tersebut ECGC ditunjukkan dengan *ring D* dan gugus epoksi dari GO ditunjukkan dengan *ring E*. Tahap awal (Gambar 4.1(a)), atom hidrogen dari gugus hidroksil EGCG ditransfer

menuju atom oksigen pada gugus epoksi GO sehingga memicu pembukaan cincin epoksi (ring opening) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1(b). Selanjutnya, terbentuk struktur intermediat melalui ikatan sementara antara molekul EGCG dan permukaan GO (Gambar 4.1(c)). Pada tahap berikutnya (Gambar 4.1(d)), terjadi transfer atom hidrogen lanjutan yang disertai pemutusan ikatan intermediat, sehingga gugus oksigen pada GO tereliminasi dalam bentuk molekul air dan menghasilkan *reduced Graphene Oxide* (rGO) (Gambar 4.1(e)). Proses ini menyebabkan berkurangnya gugus fungsi beroksigen serta terjadinya pemulihan jaringan karbon pada struktur grafena (Abdullah et al., 2014a).

### 4.1.3. Karakterisasi

#### 4.1.3.1 FTIR

Data FTIR disajikan dalam bentuk grafik dari wavenumber dan transmitansi. Wavenumber menunjukkan vibrasi khas setiap ikatan kimia, sedangkan transmitansi menunjukkan intensitas serapan inframerah oleh gugus fungsi tersebut. Karakterisasi FTIR dilaksanakan di laboratorium GreenLabs Indonesia yang beralamat di Jalan Cimanuk No.6, Citarum, Bandung.



Gambar 4.2 Grafik Karakterisasi FTIR

Gugus fungsi yang teridentifikasi ditunjukkan pada Gambar 4.2 Berdasarkan hasil uji FTIR pada gambar tersebut, teramati beberapa puncak serapan dijelaskan pada Tabel 4.1.

*Tabel 4.1 Gugus Fungsi Hasil Karakterisasi FTIR*

| Sampel    | Wavelength ( $\text{cm}^{-1}$ ) | Gugus Fungsi                      | Senyawa   |
|-----------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------|
| GO        | 3779                            | $O - H$                           | Hidroksil |
|           | 3454                            | $O - H$                           | Hidroksil |
|           | 2368                            | <i>CH Stretching Vibration</i>    | Alkana    |
|           | 1116                            | <i>C - O Bending Vibration</i>    | Alkohol   |
|           | 568                             | <i>C - H out-of-plane bending</i> | Alkana    |
| rGO + GT3 | 3729                            | $O - H$                           | Hidroksil |
|           | 3450                            | $O - H$                           | Hidroksil |
|           | 2926                            | $C - H$                           | Alkana    |
|           | 2374                            | <i>CH Stretching Vibration</i>    | Alkana    |
|           | 1623                            | <i>C = C streaching</i>           | Aromatik  |
|           | 1119                            | <i>C - O Bending Vibration</i>    | Alkohol   |
|           | 1057                            | <i>C - O Bending Vibration</i>    | Alkohol   |
|           | 672                             | <i>C - H out-of-plane bending</i> | Alkana    |
| rGO + GT5 | 3771                            | $O - H$                           | Hidroksil |
|           | 3436                            | $O - H$                           | Hidroksil |
|           | 2921                            | $C - H$                           | Alkana    |
|           | 2368                            | <i>CH Stretching Vibration</i>    | Alkana    |
|           | 1626                            | $C = C$                           | Aromatik  |
|           | 1115                            | <i>C - O Bending Vibration</i>    | Alkohol   |
|           | 1057                            | <i>C - O Bending Vibration</i>    | Alkohol   |
|           | 567                             | <i>C - H out-of-plane bending</i> | Alkana    |
| rGO + GT7 | 3436                            | $O - H$                           | Hidroksil |
|           | 2921                            | $C - H$                           | Alkana    |
|           | 1628                            | $C = C$                           | Aromatik  |
|           | 1112                            | <i>C - O Bending Vibration</i>    | Alkohol   |
|           | 1057                            | <i>C - O Bending Vibration</i>    | Alkohol   |
|           | 574                             | <i>C - H out-of-plane bending</i> | Alkana    |
| rGO + GT9 | 3722                            | $O - H$                           | Hidroksil |

| Sampel     | Wavelength ( $\text{cm}^{-1}$ ) | Gugus Fungsi                      | Senyawa   |
|------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------|
|            | 3432                            | $O - H$                           | Hidroksil |
|            | 2926                            | $C - H$                           | Alkana    |
|            | 2303                            | <i>CH Stretching Vibration</i>    | Alkana    |
|            | 1629                            | $C = C$                           | Aromatik  |
|            | 1379                            | $C - O - C$                       | epoksi    |
|            | 1054                            | <i>C - O Bending Vibration</i>    | Alkohol   |
|            | 672                             | <i>C - H out-of-plane bending</i> | Alkana    |
| rGO + GT11 | 3771                            | $O - H$                           | Hidroksil |
|            | 3431                            | $O - H$                           | Hidroksil |
|            | 2930                            | $C - H$                           | Alkana    |
|            | 2324                            | <i>CH Stretching Vibration</i>    | Alkana    |
|            | 1630                            | $C = C$                           | Aromatik  |
|            | 1055                            | <i>C - O Bending Vibration</i>    | Alkohol   |
|            | 670                             | <i>C - H out-of-plane bending</i> | Alkana    |

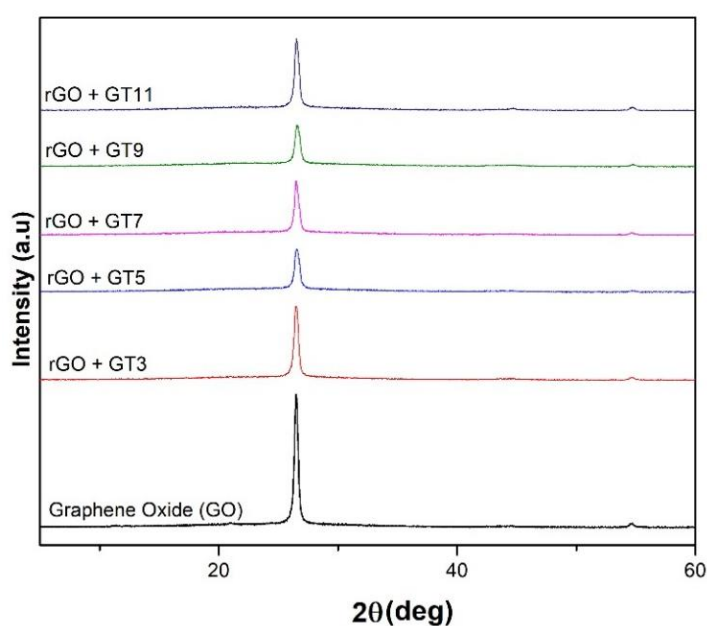
Puncak serapan pada 3779–3431  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya O–H *stretching vibration*, yang berasal dari gugus hidroksil (–OH) dan molekul air yang teradsorpsi dan merupakan karakteristik khas gugus O–H pada material berbasis grafena yang masih mengandung gugus oksigen (Alves et al., 2024; Aunkor et al., 2016).

Puncak serapan pada 2921–2930  $\text{cm}^{-1}$  berkaitan dengan C–H *stretching vibration* dari gugus –CH<sub>2</sub> (metilen) atau –CH. Kehadiran puncak ini mengindikasikan bahwa sebagian kerangka karbon mulai kembali terbentuk setelah GO direduksi (Aunkor et al., 2016).

Puncak aromatik C=C terlihat pada rentang 1650–1600  $\text{cm}^{-1}$ , yang menunjukkan ciri-ciri vibrasi ikatan rangkap karbon dari grafena. Munculnya puncak ini dengan intensitas yang lebih jelas pada rGO merupakan bukti bahwa struktur grafena yang semula rusak akibat oksidasi telah mengalami pemulihan setelah proses reduksi (Aunkor et al., 2016).

Selanjutnya, puncak serapan pada rentang  $1119\text{--}1054\text{ cm}^{-1}$  merupakan C–O *stretching vibration* (alkohol). Pada GO, puncak ini sangat kuat karena banyaknya gugus oksigen. Namun, intensitas puncak ini menurun pada rGO, menunjukkan terjadinya penghilangan gugus oksigen selama proses reduksi (Alves et al., 2024; Aunkor et al., 2016). Dan puncak terakhir yang terdeteksi pada rentang  $670\text{--}567\text{ cm}^{-1}$  yakni C–H *out-of-plane bending* yang menunjukkan struktur karbon heksagonal grafitik (Khanra et al., 2015).

#### 4.1.3.2 XRD



Gambar 4.3 Hasil Karakterisasi XRD

Karakterisasi XRD dilaksanakan di laboratorium GreenLabs Indonesia yang beralamat di Jalan Cimanuk No.6, Citarum, Bandung. Berikut data hasil karakterisasi XRD. Hasil XRD menunjukkan bahwa semua sampel memiliki puncak utama pada  $2\theta \approx 26,45\text{--}26,57^\circ$ , yang merupakan puncak karakteristik bidang (002) dari struktur grafitik. Reduksi menggunakan ekstrak daun teh tidak menyebabkan pergeseran posisi puncak yang signifikan, namun mempengaruhi lebar puncak (FWHM), ukuran kristalit, dan jarak antar lapisan. Pada sampel GO,

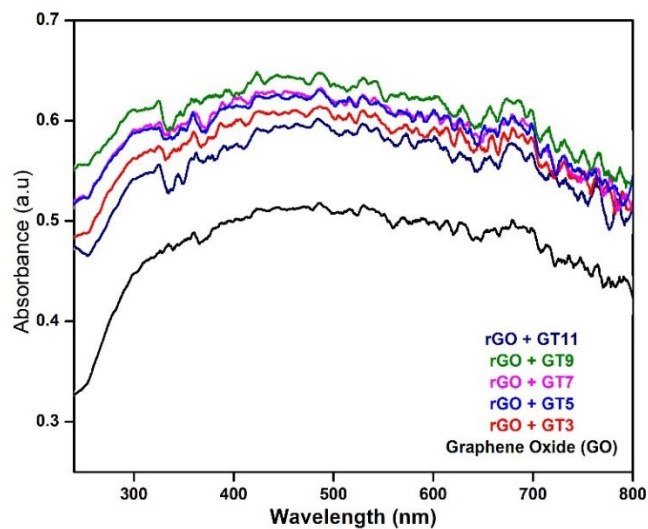
puncak (002) terletak pada  $2\theta = 26,471^\circ$  dengan jarak antar-lapisan (*d-spacing*) sebesar 0,335 nm, sedangkan pada sampel rGO, nilai *d-spacing* berada pada kisaran 0,333–0,336 nm (KAFTELEN-ODABAŞI, 2024a; Tienne et al., 2022a).

*Tabel 4.2 Ukuran kristal dan jarak antar lapisan GO dan rGO*

| Sampel     | Peak Position | FWHM   | <i>d</i> – <i>spacing</i> (nm) | D (nm) |
|------------|---------------|--------|--------------------------------|--------|
| GO         | 26,471        | 0.350  | 0,3357                         | 23,26  |
| rGO + GT3  | 26,522        | 0.467  | 0,3365                         | 20,24  |
| rGO + GT5  | 26, 475       | 0. 403 | 0,3357                         | 19,81  |
| rGO + GT7  | 26,4566       | 0.416  | 0,3349                         | 17,47  |
| rGO + GT9  | 26,575        | 0.483  | 0,3338                         | 16,92  |
| rGO + GT11 | 26,497        | 0.418  | 0,3361                         | 19,79  |

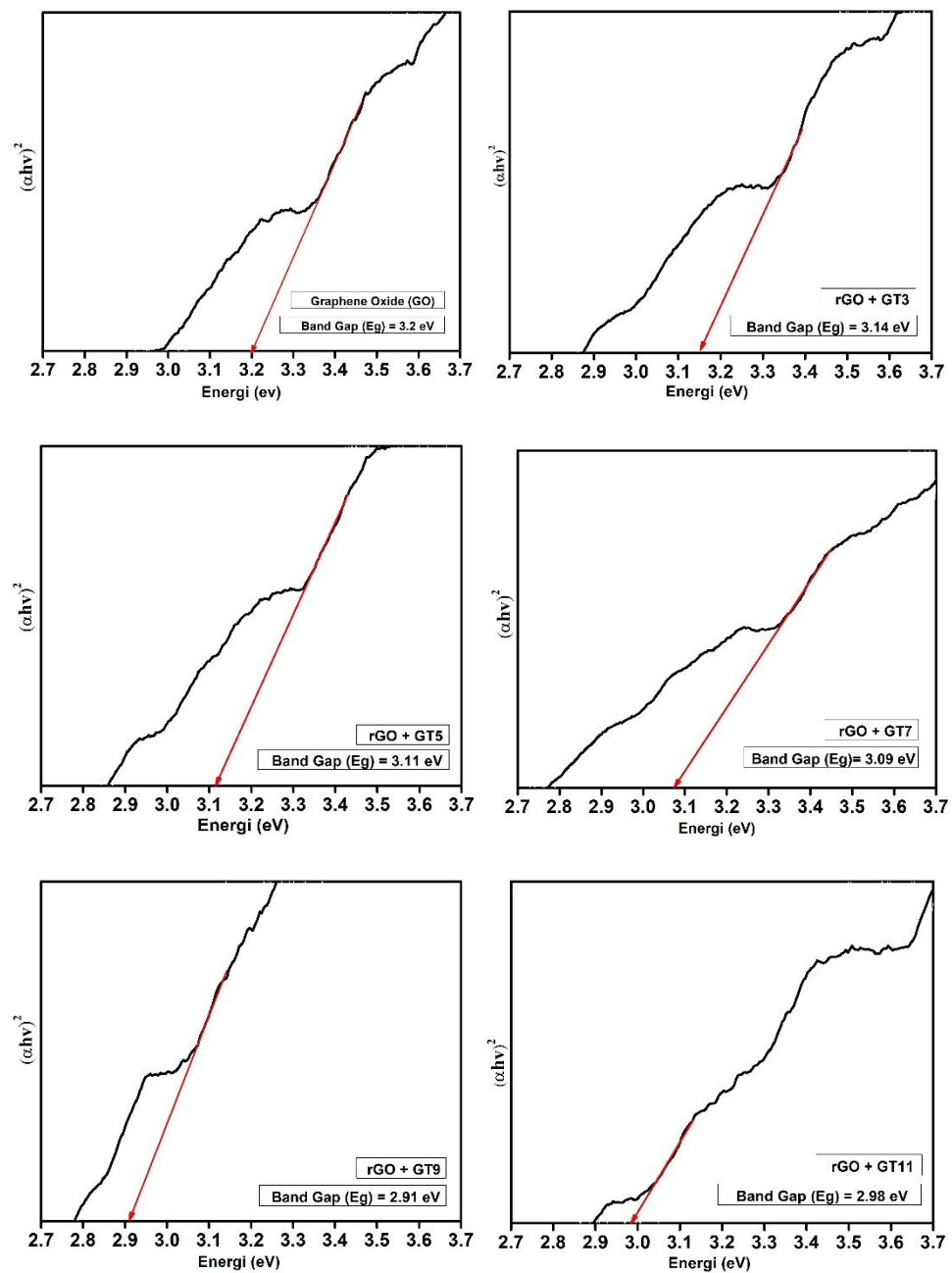
Pengaruh reduksi tidak hanya terlihat dari nilai *d-spacing*, tetapi juga dari ukuran kristal yang dihitung menggunakan persamaan *Debye–Scherrer*. Pada sampel GO, ukuran kristal tercatat sebesar 23,26 nm, sedangkan pada sampel rGO, nilainya bervariasi pada rentang 16,92–20,24 nm (KAFTELEN-ODABAŞI, 2024a; Tienne et al., 2022a).

#### 4.1.3.3 Spektrofotometer UV-Vis



Gambar 4.4 Grafik Absorbansi GO dan rGO

Karakterasi UV-Vis dilaksanakan di Laboratorium Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Malang. Pada Gambar 4.4 kurva GO murni menunjukkan nilai absorbansi yang paling rendah dibandingkan seluruh sampel GO yang telah direduksi. Setelah direduksi reaktif terjadi peningkatan absorbansi di seluruh rentang panjang gelombang (Sharma et al., 2020).



Gambar 4.5 Grafik *Band Gap*

Tidak hanya absorbansi, dari pengujian UV-Vis juga dapat dianalisis nilai *Band Gap* suatu material. Berdasarkan hasil analisis *band gap* menggunakan metode Tauc Plot dari data UV-Vis DRS, diperoleh nilai *band gap* sebesar 3.2 eV untuk sampel GO. Setelah proses reduksi menggunakan ekstrak daun teh, nilai *band gap* mengalami penurunan menjadi 3.14 eV (rGO+GT3), 3.11 eV (rGO+GT5), 3.06 eV (rGO+GT7), dan mencapai nilai terendah 2.91 eV pada rGO+GT9.

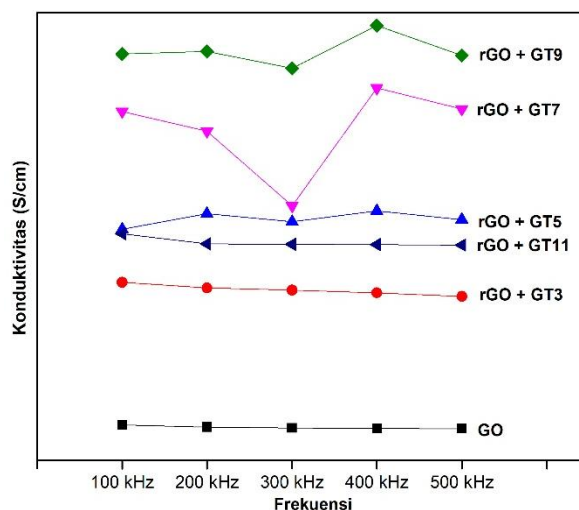
#### 4.1.3.4 LCR

Pengujian LCR Meter dilakukan untuk mengkaji sifat listrik material hasil sintesis, khususnya perubahan konduktivitas, kapasitansi dan impedansi pada *Graphene Oxide* (GO) setelah direduksi menggunakan ekstrak daun teh. Pengukuran ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi massa ekstrak daun teh terhadap konduktivitas, kapasitansi dan impedansi listrik serta menilai efektivitas proses reduksi yang terjadi pada material. Pengujian dilakukan menggunakan rentang frekuensi 100 kHz hingga 500 kHz dengan interval 100 kHz. Variasi frekuensi digunakan untuk mengevaluasi respons listrik material terhadap medan listrik bolak-balik. Pengujian menggunakan variasi frekuensi memungkinkan analisis perubahan konduktivitas, kapasitansi, dan impedansi sehingga karakteristik transport muatan serta kemampuan penyimpanan muatan pada material rGO dapat dipahami secara lebih komprehensif. Karakterisasi LCR Meter dilaksanakan di Laboratorium Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Malang.

*Tabel 4.3 Nilai Konduktivitas GO dan rGO*

| Frekuensi | Konduktivitas (S/cm) |         |           |           |           |            |
|-----------|----------------------|---------|-----------|-----------|-----------|------------|
|           | GO                   | rGO+GT3 | rGO + GT5 | rGO + GT7 | rGO + GT9 | rGO + GT11 |
| 100 kHz   | 0,01021              | 0,05160 | 0,06698   | 0,10121   | 0,11786   | 0,065725   |

| Frekuensi | Konduktivitas (S/cm) |         |           |           |           |            |
|-----------|----------------------|---------|-----------|-----------|-----------|------------|
|           | GO                   | rGO+GT3 | rGO + GT5 | rGO + GT7 | rGO + GT9 | rGO + GT11 |
| 200 kHz   | 0,00958              | 0,04998 | 0,07149   | 0,09548   | 0,11863   | 0,062769   |
| 300 kHz   | 0,00931              | 0,04937 | 0,06917   | 0,07385   | 0,11377   | 0,062636   |
| 400 kHz   | 0,00916              | 0,04854 | 0,07234   | 0,10801   | 0,12618   | 0,062553   |
| 500 kHz   | 0,00911              | 0,04754 | 0,06982   | 0,10194   | 0,11748   | 0,062451   |

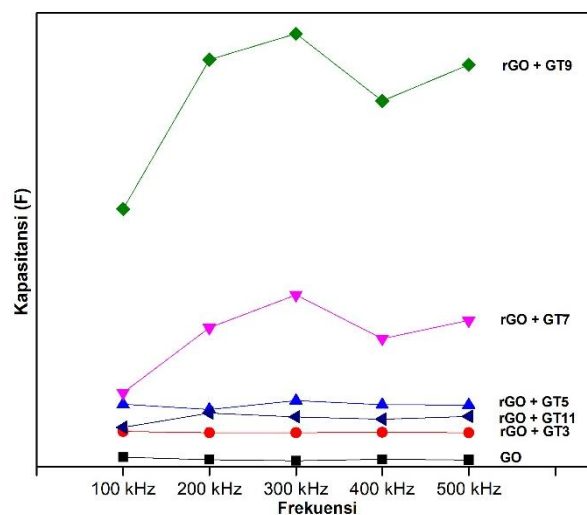


Gambar 4.6 Grafik Konduktivitas GO dan rGO

Hasil pengukuran konduktivitas menggunakan LCR Meter menunjukkan bahwa *Graphene Oxide* (GO) murni memiliki nilai konduktivitas paling rendah. Rendahnya konduktivitas ini berkaitan dengan banyaknya gugus fungsi beroksigen (seperti hidroksil, epoksi, dan karboksil) pada permukaan GO yang mengganggu jaringan karbon dan menghambat pergerakan elektron. Hal ini menegaskan sifat GO yang masih bersifat isolatif atau semikonduktor lemah (Punjabi, 2023). Setelah direduksi, terjadi peningkatan konduktivitas pada hampir seluruh sampel rGO. Nilai konduktivitas tertinggi diperoleh pada sampel rGO + GT9, dengan menunjukkan rentang 0,11377 S/cm hingga 0,12618 S/cm sesuai dengan frekuensi masing-masing.

Tabel 4.4 Nilai Kapasitansi GO dan rGO

| Frekuensi | Kapasitansi (F)        |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|           | GO                     | rGO+GT3               | rGO + GT5             | rGO + GT7             | rGO + GT9             | rGO + GT11            |
| 100 kHz   | $6,62 \times 10^{-10}$ | $2,47 \times 10^{-9}$ | $4,39 \times 10^{-9}$ | $5,19 \times 10^{-9}$ | $1,81 \times 10^{-8}$ | $2,75 \times 10^{-9}$ |
| 200 kHz   | $4,72 \times 10^{-10}$ | $2,37 \times 10^{-9}$ | $4,01 \times 10^{-9}$ | $9,77 \times 10^{-9}$ | $2,87 \times 10^{-8}$ | $3,75 \times 10^{-9}$ |
| 300 kHz   | $4,01 \times 10^{-10}$ | $2,37 \times 10^{-9}$ | $4,64 \times 10^{-9}$ | $1,21 \times 10^{-9}$ | $3,05 \times 10^{-8}$ | $3,50 \times 10^{-9}$ |
| 400 kHz   | $5,12 \times 10^{-10}$ | $2,40 \times 10^{-9}$ | $4,35 \times 10^{-9}$ | $9,02 \times 10^{-9}$ | $2,58 \times 10^{-8}$ | $3,34 \times 10^{-9}$ |
| 500 kHz   | $4,62 \times 10^{-10}$ | $2,38 \times 10^{-9}$ | $4,33 \times 10^{-9}$ | $1,03 \times 10^{-8}$ | $2,83 \times 10^{-8}$ | $3,53 \times 10^{-9}$ |



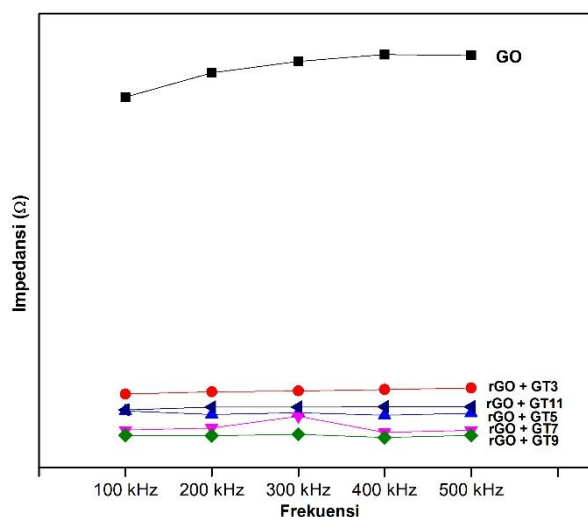
Gambar 4.7 Grafik Kapasitansi GO dan rGO

Hasil pengujian kapasitansi menggunakan LCR Meter menunjukkan bahwa *Graphene Oxide* (GO) memiliki nilai kapasitansi paling rendah, yaitu pada rentang  $4,01 \times 10^{-10}$  F hingga  $6,62 \times 10^{-10}$  F. Rendahnya nilai kapasitansi ini berkaitan dengan struktur GO yang masih didominasi oleh gugus fungsi beroksigen, sehingga kemampuan penyimpanan muatan listrik masih terbatas. Setelah GO direduksi, terjadi peningkatan nilai kapasitansi pada hampir seluruh sampel rGO, yang mana kapasitansi tertinggi diperoleh pada sampel rGO + GT9, dengan rentang nilai yang cukup lebar antara  $1,81 \times 10^{-8}$  F hingga  $3,05 \times 10^{-8}$  F.

Tabel 4.5 Nilai Impedansi GO dan rGO

| Frekuensi | Impedansi ( $\Omega$ ) |         |           |           |           |            |
|-----------|------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|------------|
|           | GO                     | rGO+GT3 | rGO + GT5 | rGO + GT7 | rGO + GT9 | rGO + GT11 |
| 100 kHz   | 36,7243                | 7,2662  | 5,597     | 3,7047    | 3,1795    | 5,7052     |

| Frekuensi | Impedansi ( $\Omega$ ) |         |           |           |           |            |
|-----------|------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|------------|
|           | GO                     | rGO+GT3 | rGO + GT5 | rGO + GT7 | rGO + GT9 | rGO + GT11 |
| 200 kHz   | 39,1263                | 7,5018  | 5,2446    | 3,9261    | 3,1559    | 5,9736     |
| 300 kHz   | 40,2502                | 7,5946  | 5,4203    | 5,0738    | 3,2892    | 5,9864     |
| 400 kHz   | 40,9312                | 7,7249  | 5,1829    | 3,4706    | 2,9673    | 5,9943     |
| 500 kHz   | 40,8557                | 7,8868  | 5,3705    | 3,6770    | 3,1874    | 6,0041     |



Gambar 4.8 Grafik Impedansi GO &amp; rGO

Tabel 4.5 merupakan hasil pengujian impedansi menggunakan LCR Meter yang menunjukkan adanya perubahan karakteristik listrik yang signifikan setelah proses reduksi *Graphene Oxide* (GO) menjadi *reduced Graphene Oxide* (rGO) menggunakan ekstrak daun teh. Nilai impedansi GO berada pada rentang relatif tinggi, yaitu sekitar 36,72–40,93  $\Omega$ , yang mencerminkan GO yang masih didominasi oleh gugus fungsi beroksigen. Setelah proses reduksi dengan penambahan ekstrak daun teh, terjadi penurunan nilai impedansi pada hampir seluruh sampel rGO. Sampel dengan penambahan ekstrak 3 gr hingga 9 gr menunjukkan penurunan impedansi bertahap, dengan nilai terendah diperoleh pada variasi 9 gr, yaitu sekitar 2,96–3,29  $\Omega$ .

## 4.2. Pembahasan

Penelitian ini berfokus pada sintesis dan analisis sifat listrik material *reduced Graphene Oxide* (rGO) yang diperoleh melalui reduksi *Graphene Oxide* (GO) menggunakan ekstrak daun teh sebagai agen pereduksi alami. Variasi massa ekstrak daun teh sebesar 3, 5, 7, 9, dan 11 gram digunakan untuk mengevaluasi pengaruh konsentrasi pereduksi terhadap perubahan struktur kimia, kristalinitas, sifat optik, serta sifat listrik rGO. Variasi komposisi ekstrak daun teh mempengaruhi efektivitas proses reduksi *Graphene Oxide* (GO) karena ekstrak daun teh mengandung senyawa polifenol yang berfungsi sebagai agen pereduksi. Semakin besar komposisi ekstrak daun teh yang digunakan, semakin banyak pula senyawa polifenol yang tersedia untuk mendonorkan atom hidrogen dalam proses reduksi. Bertambahnya jumlah donor hidrogen meningkatkan peluang terjadinya pembukaan cincin epoksi dan eliminasi gugus fungsi beroksigen pada permukaan GO, sehingga proses pemulihan jaringan karbon  $sp^2$  dapat berlangsung lebih efektif. Keberhasilan reduksi dievaluasi secara komprehensif melalui karakterisasi FTIR, XRD, UV-Vis, dan LCR Meter.

Hasil karakterisasi FTIR memberikan informasi penting mengenai perubahan gugus fungsi yang terjadi selama proses reduksi GO menjadi rGO. Pada spektrum FTIR GO, pita serapan lebar pada rentang  $3779\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$  merupakan karakteristik vibrasi regangan O–H, yang berasal dari gugus hidroksil dan molekul air terikat. Intensitas pita ini menunjukkan bahwa GO memiliki kandungan gugus oksigen yang tinggi. Setelah dilakukan reduksi menggunakan ekstrak daun teh, seluruh sampel rGO (GT3–GT11) masih menunjukkan keberadaan pita O–H. Berdasarkan spektrum FTIR yang diperoleh, intensitas pita O–H tidak

menunjukkan penurunan yang konsisten seiring peningkatan konsentrasi reduktan. Namun, keberadaan pita O–H yang relatif kuat dapat juga dipengaruhi oleh molekul air yang teradsorpsi pada permukaan material serta senyawa metabolit sekunder, seperti polifenol dan flavonoid dari ekstrak daun teh, yang masih berinteraksi dengan permukaan rGO. Fenomena serupa banyak dilaporkan pada proses *green reduction Graphene Oxide*. Di mana gugus O–H tetap terdeteksi meskipun telah terjadi reduksi gugus oksigen lainnya karena adanya residu senyawa organik dari agen pereduksi nabati. Oleh karena itu, keberhasilan proses reduksi pada penelitian ini tidak dapat dievaluasi hanya berdasarkan perubahan pita O–H, tetapi perlu didukung oleh hasil karakterisasi pendukung lainnya seperti XRD, UV-Vis DRS, dan pengukuran sifat listrik yang menunjukkan terjadinya pemulihan struktur karbon pada material rGO. Namun ini bukan berarti proses reduksi tidak efektif. Tapi panjang gelombang tersebut juga merupakan ciri khas atau karakteristik dari ekstrak daun teh. Jadi wajar apabila masih ada *peak* pada panjang gelombang tersebut (Alves et al., 2024; Aunkor et al., 2016) (Zulia Davita Sari, 2020).

Puncak serapan lain pada rentang  $2921\text{--}2930\text{ cm}^{-1}$  yang semakin jelas pada sampel rGO berkaitan dengan vibrasi regangan C–H dari gugus  $\text{--CH}_2$  atau  $\text{--CH}$ . Keberadaan puncak ini umumnya dikaitkan dengan residu senyawa organik dari ekstrak tumbuhan yang teradsorpsi pada permukaan rGO. Selain itu, kemunculan puncak ini juga mengindikasikan pemulihan sebagian kerangka karbon, yang sebelumnya terganggu akibat oksidasi (Aunkor et al., 2016). Secara mekanis, saat reduksi berlangsung, polifenol teh berperan sebagai donor elektron dan mereduksi gugus beroksigen GO, namun pada saat yang sama molekul organiknya dapat teradsorpsi pada permukaan karbon sehingga menambah fitur C–H dalam spektrum

(Abdullah et al., 2014b). Tidak hanya itu, puncak lain pada panjang gelombang  $\sim 2000 \text{ nm}^{-1}$  juga muncul pada rentang  $2303\text{--}2374 \text{ nm}^{-1}$ . Puncak tersebut juga berkaitan dengan vibrasi regangan C–H (Sari et al., 2020).

Pita serapan pada rentang  $1623\text{--}1630 \text{ cm}^{-1}$  diidentifikasi sebagai vibrasi regangan ikatan C=C pada kerangka karbon aromatik yang merupakan karakteristik struktur grafitik atau domain karbon pada material berbasis grafena. Pada *Graphene Oxide* (GO), keberadaan berbagai gugus oksigen seperti hidroksil, epoksi, dan karboksil menyebabkan jaringan karbon mengalami gangguan sehingga keteraturan struktur grafitik berkurang. Setelah proses reduksi menggunakan ekstrak daun teh, pita serapan C=C pada rentang  $1623\text{--}1630 \text{ cm}^{-1}$  cenderung menjadi lebih jelas dibandingkan GO. Hal ini mengindikasikan terjadinya pemulihan sebagian jaringan karbon akibat berkurangnya gugus oksigen pada permukaan GO. Penghilangan gugus oksigen selama proses reduksi memungkinkan terbentuknya kembali sistem terkonjugasi pada lembaran grafena, sehingga struktur karbon menjadi lebih teratur dan sifat konduktif material meningkat. Oleh karena itu, keberadaan dan dominasi pita C=C pada daerah  $1623\text{--}1630 \text{ cm}^{-1}$  merupakan salah satu indikator bahwa proses reduksi telah berlangsung dan struktur grafitik pada material telah mengalami restorasi menuju karakteristik *reduced Graphene Oxide* (rGO) (Aunkor et al., 2016).

Pita serapan C–O stretching pada rentang  $1119\text{--}1054 \text{ cm}^{-1}$  mengalami penurunan intensitas pada rGO. Penurunan intensitasnya menunjukkan terjadinya penghilangan gugus oksigen selama proses reduksi. Meskipun gugus oksigen masih teramati pada sampel rGO+GT7, rGO+GT9, dan rGO+GT11, kondisi ini menunjukkan bahwa proses reduksi yang terjadi tidak menghilangkan seluruh

gugus oksigen dari struktur *Graphene Oxide* (GO), melainkan hanya mengurangi sebagian gugus oksigen yang terikat pada lembaran karbon. Keberhasilan reduksi tidak hanya ditunjukkan oleh hilangnya seluruh puncak gugus oksigen, tetapi juga oleh terjadinya pengurangan kandungan oksigen yang diikuti dengan pemulihan jaringan karbon pada struktur grafena (Alves et al., 2024; Aunkor et al., 2016). Selain itu, pita serapan pada rentang 1119-1054 juga dimiliki oleh hasil FTIR ekstrak *green tea* murni. Ada kemungkinan peak yang masih tajam pada daerah tersebut berasal dari ekstrak *green tea* yang masih menempel pada rGO sehingga turut terbaca pada saat proses uji FTIR (Zulia Davita Sari, 2020). Dan pita serapan terakhir pada rentang  $670\text{--}567\text{ cm}^{-1}$  yang berkaitan dengan aromatic C–H *out-of-plane bending* semakin jelas pada rGO, menandakan terbentuknya kembali struktur karbon heksagonal khas grafitik. Kejelasan puncak ini pada rGO mendukung kembalinya struktur setelah reduksi. Secara keseluruhan, penurunan intensitas gugus O–H dan C–O, disertai dengan penguatan puncak aromatik C=C, hal tersebut mengonfirmasi bahwa sebagian proses reduksi berhasil, dan struktur karbon pada rGO perlahan terbentuk kembali (Daimay Lin-Vien, 1991; Khanra et al., 2015; Zahid et al., 2021).

Analisis yang kedua dilakukan melalui karakterisasi XRD. Karakterisasi XRD digunakan untuk menganalisis perubahan struktur kristal dan jarak antarlapisan material setelah proses reduksi. Hasil XRD menunjukkan bahwa seluruh sampel memiliki puncak utama pada  $2\theta \approx 26,45\text{--}26,57^\circ$ , yang merupakan puncak karakteristik bidang (002) dari struktur grafitik. Pada GO, puncak (002) berada pada  $2\theta = 26,471^\circ$  dengan nilai d-spacing sebesar 0,335 nm. Setelah direduksi, nilai d-spacing rGO berada pada kisaran 0,333–0,336 nm. Hal ini menunjukkan bahwa

gugus oksigen yang sebelumnya menyisip di antara lapisan GO telah berkurang, sehingga jarak antar-lapisan kembali menyempit. Sebagaimana dilaporkan oleh Stankovich et al. dan Dreyer et al., yang menyatakan bahwa reduksi GO akan menyebabkan pemulihan grafitik dan peningkatan keteraturan struktural (KAFTELEN-ODABAŞI, 2024b; Tienne et al., 2022b).

Indikator selain d-spacing yang dihasilkan dari karakterisasi XRD adalah ukuran kristal. Perhitungan ukuran kristal menggunakan persamaan Debye–Scherrer menunjukkan bahwa ukuran kristal GO sebesar 23,26 nm turun dalam rentang 20,24–16,92 nm pada hampir seluruh sampel rGO (GT3-GT9). Penurunan ukuran kristal ini menunjukkan bahwa proses reduksi menyebabkan fragmentasi sebagian domain oksida dan pembentukan domain grafitik baru yang lebih kecil. Domain yang lebih kecil namun lebih terhubung ini justru berkontribusi positif terhadap peningkatan sifat listrik material. Namun, pada sampel GT11, ukuran kristal kembali naik menjadi 19,79 nm. Hal ini diduga akibat kelebihan residu organik dari ekstrak daun teh yang menempel pada permukaan rGO, sehingga menghambat transport elektron dan mengurangi efektivitas. Hasil karakterisasi ini sejalan dengan karakterisasi rGO dalam penelitian terkini, yang menegaskan bahwa perubahan struktur kristal yang teramati melalui XRD merupakan indikator kuat keberhasilan reduksi GO menjadi rGO. Dengan demikian, baik dari parameter d-spacing maupun ukuran kristalit, dapat disimpulkan bahwa proses reduksi telah berhasil menghasilkan rGO dengan struktur lapisan karbon yang stabil, rapat, dan mendekati grafit (KAFTELEN-ODABAŞI, 2024b; Tienne et al., 2022b).

Analisis ketiga dilakukan melalui karakterisasi UV-Vis yang memberikan informasi mengenai sifat optik dan struktur elektronik material. Hasil karakterisasi

UV-Vis menunjukkan puncak panjang gelombang max ( $\lambda_{\text{max}}$ ) *Graphene Oxide* (GO) pada 298 nm dan menunjukkan absorbansi yang relatif lebih rendah daripada material *Graphene Oxide* (GO) setelah direduksi. Hasil ini menunjukkan panjang gelombang yang lebih tinggi dibandingkan pada hasil literatur karakterisasi UV-Vis GO pada umumnya yakni pada rentang panjang gelombang 230-250 nm. Namun hal ini bisa dijelaskan dengan fenomena efek hamburan cahaya atau *light scattering*. *Light scattering* merupakan fenomena di mana cahaya tidak dapat melewati sampel dengan sempurna. Hal tersebut biasa disebabkan oleh sampel yang berupa padatan, sampel cair namun keruh, gelembung udara pada dinding kuvet, partikel yang terlalu besar dan beberapa kemungkinan lainnya. Hamburan ini sering terjadi pada material 2D seperti GO dan rGO karena heterogenitas ukuran atau ketebalan lembaran. Sehingga grafik UV-Vis DRS yang dihasilkan menunjukkan adanya *noise* pada rentang panjang gelombang (Taniguchi & Lindsey, 2024). Perubahan puncak  $\lambda_{\text{max}}$  terjadi setelah proses reduksi, yakni bergeser pada rentang  $\sim 325$  nm. Pergeseran tersebut tergolong lebih tinggi dari puncak  $\lambda_{\text{max}}$  GO, namun tetap berada pada UV atas. Pergeseran ini mengidentifikasikan perubahan struktur elektronik GO akibat reduksi gugus oksigen, sehingga struktur karbon yang mulanya putus berangsur pulih yang ditandai dengan *redshift* relatif pada pita serapan dibanding GO (Khan et al., 2024). *Redshift* atau pergeseran merah merupakan pergeseran ke panjang gelombang yang lebih besar atau menuju tingkat energi lebih rendah. *Redshift* menandakan bahwa *energy gap* cenderung berkurang, dengan kata lain dibutuhkan energi yang makin kecil (panjang gelombang makin besar) untuk mengeksitasi elektron dalam sampel dengan menyerap spektrum UV (Wardani & Dwandaru, 2025).

Setelah direduksi, hampir semua sampel menunjukkan peningkatan absorbansi. Peningkatan tersebut mengkonfirmasi bahwasannya biomolekul polifenol dalam ekstrak daun teh mulai efektif dalam mereduksi gugus epoksi, hidroksil, dan karbonil pada GO. Peningkatan absorbansi tertinggi terjadi pada sampel yang direduksi menggunakan ekstrak daun teh 9 gr. Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi tersebut merupakan titik optimum dimana oksigen berkurang signifikan dan jaringan karbon pulih lebih efektif. Peningkatan absorbansi pada hasil karakterisasi UV-Vis DRS berkaitan erat dengan sifat listrik material rGO yang dihasilkan. Semakin tinggi absorbansi material, khususnya pada daerah visible (400-700 nm), menunjukkan bahwa elektron pada struktur karbon menjadi lebih mudah bergerak akibat pemulihan jaringan karbon setelah proses reduksi. Kondisi tersebut mendukung peningkatan konduktivitas listrik material karena delokalisasi elektron menjadi lebih baik dibandingkan GO awal. Hasil ini sejalan dengan karakterisasi menggunakan LCR meter yang menunjukkan adanya perubahan sifat listrik setelah proses reduksi. Dengan demikian, peningkatan absorbansi pada sampel rGO dapat digunakan sebagai indikasi bahwa proses reduksi menggunakan ekstrak daun teh berhasil memperbaiki struktur elektronik material sehingga sifat konduktivitasnya meningkat. Berbeda dengan sampel yang diekstrak menggunakan ekstrak daun teh 11 gr yang hasil absorbansi justru kembali menurun. Penurunan ini dapat dihubungkan dengan reduksi stabilitas dispersi akibat aglomerasi atau restacking lembaran GO yang dipicu oleh kelebihan molekul organik dari ekstrak daun teh (Khan et al., 2024).

Berdasarkan hasil analisis *band gap* menggunakan metode Tauc Plot dari data UV-Vis DRS, diperoleh nilai *band gap* sebesar 3.2 eV pada sampel *Graphene*

*Oxide* (GO). Setelah dilakukan proses reduksi menggunakan ekstrak daun teh, nilai band gap mengalami penurunan secara bertahap menjadi 3.14 eV pada sampel rGO+GT3, 3.11 eV pada rGO+GT5, 3.06 eV pada rGO+GT7, dan mencapai nilai terendah sebesar 2.91 eV pada rGO+GT9. Penurunan nilai *band gap* tersebut menunjukkan bahwa proses reduksi yang berlangsung semakin efektif dalam mengurangi gugus fungsi oksigen pada permukaan GO. Berkurangnya gugus oksigen menyebabkan pemulihan jaringan karbon sehingga elektron menjadi lebih mudah berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Akibatnya, energi yang dibutuhkan untuk eksitasi elektron semakin kecil dan sifat elektronik material cenderung meningkat. Namun, pada sampel rGO+GT11 nilai *band gap* kembali meningkat menjadi 2.98 eV. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa penambahan ekstrak daun teh yang lebih banyak tidak selalu menghasilkan proses reduksi yang lebih optimal. Kemungkinan terdapat residu senyawa organik dari ekstrak daun teh atau terbentuknya cacat struktur yang menghambat pemulihan jaringan karbon secara sempurna. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa reduksi GO menggunakan ekstrak daun teh mampu menurunkan nilai *band gap* dari 3.2 eV menjadi rentang 2.91–3.14 eV, dengan sampel rGO+GT9 menghasilkan nilai *band gap* terendah yang mengindikasikan tingkat reduksi paling efektif di antara seluruh variasi yang diteliti (Mulyana, 2017).

Analisis yang terakhir sekaligus terfokus pada sifat listrik material dilakukan melalui karakterisasi LCR Meter. Hasil karakterisasi LCR Meter menunjukkan bahwa penambahan *Green Tea Extract* pada *Graphene Oxide* (GO) memberikan pengaruh cukup signifikan pada sifat listrik material, yang ditunjukkan melalui konduktivitas, kapasitansi dan impedansi. Data hasil karakterisasi

menunjukkan GO murni memiliki konduktivitas paling rendah dibandingkan seluruh variasi sampel. Konduktivitas adalah sifat bawaan material dalam menghantarkan listrik tanpa dipengaruhi oleh ukuran material. Sedangkan konduktansi adalah kemampuan material dalam mengalirkan arus listrik yang bergantung pada ukuran dan bentuk. Sedangkan kebalikannya adalah resistansi dan resistivitas. Dimana resistivitas adalah sifat intrinsik atau bawaan dari material itu sendiri yang tidak bergantung pada ukuran atau bentuknya dan resistansi adalah kemampuan suatu material secara keseluruhan untuk menghambat aliran arus listrik (Callister & Rethwisch, 2018).

Setelah penambahan *Green Tea Extract*, konduktivitas meningkat secara bertahap hingga mencapai nilai maksimum pada komposisi 9 gram. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa senyawa polifenol dalam ekstrak teh hijau yang berperan sebagai agen pereduksi mampu mereduksi gugus oksigen pada GO, sehingga memulihkan sebagian jaringan karbon yang lebih kontinu dan meningkatkan mobilitas elektron (Strimaitis et al., 2022). Namun konduktivitas dan kembali mengalami penurunan pada variasi komposisi 11 gram. Penurunan ini diduga bahwa penambahan ekstrak daun teh yang berlebihan dapat menyebabkan efek samping seperti residu organik berlebih yang menempel pada permukaan rGO justru mengganggu keteraturan struktur rGO dan menghambat transport elektron, sehingga berdampak pada menurunnya sifat listrik material (Sharma et al., 2020). Berdasarkan hasil penelitian ini, sampel *reduced Graphene Oxide* (rGO) yang direduksi menggunakan variasi ekstrak daun teh pada rentang 5–11 gram menunjukkan nilai konduktivitas yang sesuai dengan kisaran yang dilaporkan dalam beberapa literatur ilmiah, yaitu sekitar 0,05–500 S/cm. Hal ini

mengindikasikan bahwa jumlah reduktor dalam rentang tersebut mampu menghasilkan derajat reduksi yang optimal sehingga meningkatkan konduktivitas material. Sebaliknya, pada variasi ekstrak daun teh sebesar 3 gram, nilai konduktivitas rGO yang diperoleh berada di bawah kisaran tersebut, yang menunjukkan bahwa jumlah reduktor yang digunakan belum cukup efektif untuk mereduksi *Graphene Oxide* secara maksimal (Politano & Versace, 2022). Meskipun demikian, ternyata jika dibandingkan dengan grafena murni, nilai konduktivitas tersebut masih tergolong relatif rendah. Hal ini dikarenakan beberapa literatur menyebutkan bahwa grafena murni dapat memiliki konduktivitas listrik yang sangat tinggi, yakni mencapai sekitar  $\sim 2 \times 10^3$  S/cm. Perbedaan ini menunjukkan bahwa material rGO hasil reduksi belum sepenuhnya mampu mengembalikan struktur grafena secara sempurna, sehingga masih terdapat cacat struktur dan sisa gugus oksigen yang menghambat pergerakan elektron. Oleh karena itu, meskipun telah mengalami peningkatan konduktivitas, performa listrik rGO tetap berada di bawah grafena murni (Jitapunkul et al., 2022).

Sama halnya dengan nilai konduktivitas, GO murni memiliki kapasitansi paling rendah diantara sampel lainnya yang telah direduksi. Kapasitansi adalah kemampuan material dalam menampung atau menyimpan muatan listrik (mashadi, 2010). Nilai kapasitansi GO berada pada rentang  $4,01 \times 10^{-10}$  F hingga  $6,62 \times 10^{-10}$  F, sedangkan penambahan *Green Tea Extract* cukup memberikan perubahan yang konsisten hingga mencapai nilai kapasitansi tertinggi pada sampel GO + GT9 yakni mencapai  $3,05 \times 10^{-8}$  F. Tingginya nilai kapasitansi ini menunjukkan bahwa pada komposisi ekstrak daun teh 9 gram, proses reduksi berlangsung paling optimal. Kenaikan kapasitansi mengindikasikan meningkatnya polarisasi antarmuka

dan/atau bertambahnya luas permukaan spesifik yang efektif menyimpan muatan. Dalam material GO dan rGO, perubahan gugus fungsi dan mikrostruktur meliputi jarak antar lapis, defect dan konektivitas jaringan antar karbon dapat mengubah respon listrik dan mempengaruhi kemampuan dalam penyimpanan muatan (Strimaitis et al., 2022). Atau secara singkatnya, luas permukaan spesifik berbanding lurus dengan nilai kapasitansi. Semakin besar luas permukaan spesifik material, semakin tinggi pula kapasitansi rGO (Siraj et al., 2020). Sama halnya dengan hasil karakterisasi lainnya, pada sampel rGO + GT11 nilai kapasitansi kembali menurun. Hal tersebut juga diduga karena residu organik yang justru mengganggu keteraturan struktur luas permukaan spesifik rGO dan mengurangi efektivitas penyimpanan muatan listrik (Sharma et al., 2020). Namun, meskipun seluruh sampel telah melalui proses reduksi, ternyata nilai kapasitansi yang diperoleh masih tergolong rendah jika dibandingkan dengan kapasitansi teoritis grafena murni, yang dilaporkan sekitar  $\sim 21 \mu\text{F cm}^{-2}$  atau setara dengan  $\sim 550 \text{ F/g}$ . Hal ini menunjukkan bahwa material hasil reduksi belum mampu mencapai performa elektrokimia optimal seperti grafena ideal, yang umumnya disebabkan oleh keterbatasan struktur, luas permukaan efektif, serta kemungkinan adanya cacat atau sisa gugus oksigen pada material (Jitapunkul et al., 2022).

Berbeda dengan konduktivitas dan kapasitansi, impedansi berlaku sebaliknya. Impedansi adalah total hambatan dari suatu komponen terhadap arus listrik yang diberikan. Semakin tinggi nilai hambatan, maka semakin kecil arus listrik yang dapat dialirkan (Labs, 2018). Kondisi ini sejalan dengan nilai konduktivitas GO yang rendah serta kapasitansi yang masih terbatas, sebagaimana telah dibahas sebelumnya. Maka tidak heran jika pada pengukuran ini nilai

impedansi GO justru paling tinggi diantara sampel lainnya. Impedansi atau hambatan yang dimiliki pada GO adalah banyaknya gugus fungsi oksigen, sehingga menghambat aliran arus yang diberikan (Valentini et al., 2023). Pada rGO nilai impedansi jelas lebih rendah dibandingkan dengan GO. Penurunan impedansi konsisten bertahap sampai pada sampel rGO + GT9. Sampel tersebut memiliki nilai impedansi paling rendah diantara yang lainnya yakni  $2,96 \Omega$ . Penurunan impedansi ini berkorelasi langsung dengan meningkatnya konduktivitas listrik akibat berkurangnya gugus oksigen dan terbentuknya kembali jaringan karbon yang lebih kontinu, sehingga impedansi atau hambatannya berangsur berkurang. Seperti hasil karakterisasi lainnya, sampel rGO + GT11 memiliki hasil yang berbeda. Impedansi kembali meningkat pada sampel ini. Fenomena ini mengindikasikan bahwa jumlah agen pereduksi yang berlebihan dapat menyebabkan efek aglomerasi atau sisa senyawa organik yang justru menghambat jalur konduksi muatan dan/atau pergerakan elektron. Hal ini juga konsisten dengan kecenderungan menurunnya konduktivitas dan kapasitansi pada variasi tersebut, sehingga menunjukkan adanya kondisi optimum reduksi pada konsentrasi ekstrak tertentu. Hasil pengujian impedansi ini memperkuat analisis kapasitansi dan konduktivitas sebelumnya, di mana penurunan impedansi berbanding terbalik dengan peningkatan konduktivitas dan kapasitansi (Sharma et al., 2020).

Berdasarkan hasil karakterisasi yang telah dilakukan, terdapat beberapa indikator yang menunjukkan bahwa *Graphene Oxide* (GO) telah berhasil tereduksi menjadi *reduced Graphene Oxide* (rGO) menggunakan ekstrak daun teh sebagai agen pereduksi. Hasil FTIR menunjukkan adanya perubahan karakteristik gugus fungsi oksigen, pada gugus C–O yang mengalami pergeseran dari  $1116 \text{ cm}^{-1}$  pada

GO menjadi sekitar  $1054\text{--}1057\text{ cm}^{-1}$  pada sampel rGO. Pergeseran ini mengindikasikan terjadinya perubahan lingkungan kimia akibat proses deoksigenasi selama reduksi. Bukti lain mengenai keberhasilan reduksi ditunjukkan oleh hasil UV-Vis dan pengukuran sifat listrik. Nilai *band gap* mengalami penurunan dari 3.2 eV pada GO menjadi 3.14 eV (rGO + GT3), 3.11 eV (rGO + GT5), 3.09 eV (rGO + GT7), 2.91 eV (rGO + GT9), dan 2.98 eV (rGO + GT11), yang menunjukkan terjadinya pemulihan sistem terkonjugasi akibat berkurangnya gangguan dari gugus-gugus oksigen. Penurunan *band gap* tersebut sejalan dengan peningkatan konduktivitas listrik yang diperoleh dari hasil pengukuran LCR Meter, yang mengindikasikan bahwa elektron dapat bergerak lebih bebas pada jaringan karbon setelah proses reduksi. Oleh karena itu, meskipun gugus oksigen masih teramati pada spektrum FTIR, hasil karakterisasi UV-Vis dan pengukuran sifat listrik secara konsisten menunjukkan terjadinya pemulihan struktur karbon serta peningkatan sifat elektronik material.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan komposisi reduktan tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan performa rGO. Akan tetapi, ternyata penggunaan ekstrak yang berlebihan dapat menyebabkan adanya residu senyawa organik yang menghambat pemulihan struktur karbon secara optimal. (dos Santos et al., 2024). Sampel dengan variasi komposisi 9 gram menunjukkan performa paling optimal, sedangkan pada variasi komposisi 11 gram justru performa kembali menurun. Hal tersebut biasa terjadi karna material memiliki titik jenuh/titik optimum (Sharma et al., 2020). Secara tidak langsung, fenomena ini selaras dengan prinsip yang dinyatakan oleh Q.S. Ar-Rad ayat 17 yang berbunyi:

فَأَمَّا الزَّبَدُ فَيَذْهَبُ جُفَاءً وَأَمَّا مَا يَنْفَعُ النَّاسَ فَيَمْكُثُ فِي الْأَرْضِ ۗ (١٧)

*“Adapun buih itu akan hilang sebagai sesuatu yang tidak berguna, sedangkan yang memberi manfaat kepada manusia akan tetap di bumi”*

Proses reduksi GO menjadi rGO menghilangkan gugus fungsi oksigen yang menghambat jalur konduksi dan mengurangi efektifitas kapasitansi, sehingga struktur karbon kembali pulih, lebih konduktif dan bermanfaat secara elektrik. Oksigen sangat dibutuhkan dalam kehidupan, namun pada penelitian ini berlaku sebaliknya. Proses ini dapat dianalogikan dengan perumpamaan Q.S. Ar-rad ayat 17, di mana Tafsir Al-Muyassar menjelaskan bahwa yang tidak bermanfaat akan hilang dan yang memberi manfaat akan tetap dipertahankan. Tidak hanya itu, penelitian ini juga sesuai dengan Q.S An-Nahl ayat 5 yang berbunyi:

وَالْأَنْعَامَ خَلَقَهَا لَكُمْ فِيهَا دِفْءٌ وَمَنْفَعٌ وَمِنْهَا تَأْكُلُونَ ﴿٥﴾

*“Dia telah menciptakan hewan ternak untukmu. Padanya (hewan ternak itu) ada (bulu) yang menhangatkan dan berbagai manfaat, serta Sebagian (daging)-nya kamu makan”.*

Tafsir Al-Muyassar dan tafsir Al-Madinah Al-Munawwarah menjelaskan bahwa ayat tersebut memberikan contoh bahwasannya tuhan menciptakan segala sesuatu dengan berbagai manfaatnya. Tuhan menciptakan sapi, kambing dan domba untuk diambil daging, bulu dan manfaat lain darinya. Begitu penelitian ini menerapkan kandungan ayat tersebut. Di mana tidak hanya memanfaatkan daun teh sebagai minuman dan obat, tapi juga mengolahnya sebagai reduktan untuk mengembalikan karakteristik *reduced Graphene Oxide* (rGO).

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi komposisi ekstrak daun teh berpengaruh terhadap gugus fungsi, ukuran kristal, dan sifat optik *reduced Graphene Oxide* (rGO). Hasil analisis FTIR menunjukkan penurunan intensitas gugus fungsi oksigen, khususnya O–H dan C–O, serta peningkatan ketajaman pita C=C yang mengindikasikan keberhasilan proses reduksi dan pemulihan struktur karbon. Analisis XRD menunjukkan terjadinya penyempitan d-spacing dan penurunan ukuran kristal dari 23,26 nm pada GO menjadi 16,92 nm pada sampel rGO+GT9. Selain itu, hasil analisis UV-Vis menunjukkan peningkatan absorbansi dan penurunan nilai band gap dari 3,20 eV menjadi 2,91 eV. Secara keseluruhan, peningkatan komposisi ekstrak daun teh meningkatkan efektivitas reduksi GO menjadi rGO hingga komposisi optimum pada rGO+GT9.
2. Penambahan ekstrak daun teh sebagai reduktor berpengaruh terhadap peningkatan sifat listrik *reduced Graphene Oxide* (rGO). Nilai konduktivitas dan kapasitansi meningkat, sedangkan nilai impedansi menurun seiring bertambahnya komposisi reduktor hingga mencapai kondisi optimum pada sampel rGO+GT9. Namun, pada sampel rGO+GT11 terjadi penurunan konduktivitas dan kapasitansi serta peningkatan impedansi, yang mengindikasikan menurunnya efisiensi reduksi akibat adanya residu senyawa organik yang menghambat transport elektron.

Dengan demikian, komposisi ekstrak daun teh sebesar 9 gram merupakan kondisi optimum untuk menghasilkan rGO dengan sifat listrik terbaik pada penelitian ini.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, proses reduksi *Graphene Oxide* (GO) menggunakan ekstrak daun teh sebagai agen pereduksi alami terbukti mampu meningkatkan kualitas struktur dan sifat listrik material hingga komposisi optimum tertentu. Namun demikian, apabila akan dilakukan penelitian lanjutan, disarankan untuk melakukan optimalisasi terhadap parameter proses, khususnya pada suhu reduksi. Pengaturan suhu yang lebih terkontrol dan kemungkinan penggunaan suhu yang lebih tinggi dalam metode *green reduction* berpotensi meningkatkan efektivitas penghilangan gugus oksigen secara lebih maksimal, sehingga pemulihan jaringan karbon dapat berlangsung lebih sempurna dan menghasilkan rGO dengan konduktivitas yang lebih baik.

Selain itu, optimalisasi pada tahap pencucian juga disarankan untuk memastikan bahwa residu organik dari ekstrak daun teh benar-benar tereliminasi dari permukaan material. Proses pencucian yang lebih efektif dan terstandarisasi dapat mencegah terjadinya penumpukan molekul organik yang berpotensi menghambat transport elektron dan memengaruhi struktur kristal serta sifat optik material. Dengan pengendalian suhu reduksi dan proses pemurnian yang lebih optimal, diharapkan penelitian selanjutnya dapat menghasilkan rGO dengan tingkat reduksi yang lebih tinggi, homogenitas yang lebih baik, serta performa listrik yang lebih maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, A., Eng, X. E., Ee, N., Saleem, F., Wu, D., Chen, W., Handayani, M., Tabish, T. A., Wai, N., & Lim, T. M. (2021). Development of reduced graphene oxide from biowaste as an electrode material for vanadium redox flow battery. *Journal of Energy Storage*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102848>
- Abdullah, M. F., Zakaria, R., & Zein, S. H. S. (2014a). Green tea polyphenol-reduced graphene oxide: Derivatisation, reduction efficiency, reduction mechanism and cytotoxicity. *RSC Advances*, 4(65), 34510–34518. <https://doi.org/10.1039/c4ra04292a>
- Abdullah, M. F., Zakaria, R., & Zein, S. H. S. (2014b). *Green tea polyphenol-reduced graphene oxide: Derivatisation, reduction efficiency, reduction mechanism and cytotoxicity*.
- Ahmed, A., Singh, A., Young, S. J., Gupta, V., Singh, M., & Arya, S. (2023). Synthesis techniques and advances in sensing applications of reduced graphene oxide (rGO) Composites: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 165, 107373. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESA.2022.107373>
- Alves, T., Mota, W. S., Barros, C., Almeida, D., Komatsu, D., Zielinska, A., Cardoso, J. C., Severino, P., Souto, E. B., & Chaud, M. V. (2024). Review of scientific literature and standard guidelines for the characterization of graphene-based materials. In *Journal of Materials Science* (Vol. 59, Number 32, pp. 14948–14980). Springer. <https://doi.org/10.1007/s10853-024-10061-4>
- Aunkor, M. T. H., Mahbubul, I. M., Saidur, R., & Metselaar, H. S. C. (2016). The green reduction of graphene oxide. In *RSC Advances* (Vol. 6, Number 33, pp. 27807–27825). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/c6ra03189g>
- Bintari, Y. R., Haryadi, W., & Rahardjo, T. J. (2018). *EKSTRAKSI LIPIDA DENGAN METODE Microwave Assisted Extraction DARI MIKROALGA YANG POTENSIAL SEBAGAI BIODIESEL* (Vol. 2, Number 2).
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering: An Introduction : Instructor Evaluation Copy*. Wiley. <https://books.google.co.id/books?id=yM9PswEACAAJ>
- Daimay Lin-Vien, N. B. C. W. G. F. J. G. G. (1991). *The Handbook of Infrared and Raman Characteristic Frequencies of Organic Molecules* (1st edition).
- dos Santos, F. K. F., Júnior, A. A. M. P., Filho, A. L. N., Fonseca, C. J. N., Isidório, D. K. M., Araújo, F. de A., Oliveira, P. H. A., & Veiga Júnior, V. F. da. (2024). Graphene and Natural Products: A Review of Antioxidant Properties in Graphene Oxide Reduction. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(10). <https://doi.org/10.3390/ijms25105182>

- Han, W., Niu, W. Y., Sun, B., Shi, G. C., & Cui, X. Q. (2016). Biofabrication of polyphenols stabilized reduced graphene oxide and its anti-tuberculosis activity. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 165, 305–309. <https://doi.org/10.1016/J.JPHOTOBIO.2016.10.032>
- Irianti, T. T., & Nuranto, S. (2021). *Antioksidan dan kesehatan*. Ugm Press.
- Ismail, Z. (2019). Green reduction of graphene oxide by plant extracts: A short review. In *Ceramics International* (Vol. 45, Number 18, pp. 23857–23868). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.08.114>
- Jiao, X., Qiu, Y., Zhang, L., & Zhang, X. (2017). Comparison of the characteristic properties of reduced graphene oxides synthesized from natural graphites with different graphitization degrees. *RSC Advances*, 7(82), 52337–52344. <https://doi.org/10.1039/c7ra10809e>
- Jin, B., Chen, G., He, Y., Zhang, C., & Luo, J. (2023). Lubrication properties of graphene under harsh working conditions. In *Materials Today Advances* (Vol. 18). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.mtadv.2023.100369>
- Jitapunkul, K., Chenwittayakhachon, A., & Iamprasertkun, P. (2022). Transition of electrochemical measurement to machine learning in the perspective of two-dimensional materials. *Frontiers in Materials*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.1070608>
- KAFTELEN-ODABAŞI, H. (2024a). Evaluation of morphological, structural, thermal, electrical, and chemical composition properties of graphene oxide, and reduced graphene oxide obtained by sequential reduction methods. *Carbon Trends*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.cartre.2024.100429>
- KAFTELEN-ODABAŞI, H. (2024b). Evaluation of morphological, structural, thermal, electrical, and chemical composition properties of graphene oxide, and reduced graphene oxide obtained by sequential reduction methods. *Carbon Trends*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.cartre.2024.100429>
- Khan, A., Sapakal, S. N., & Kadam, A. (2024). Comparative analysis of graphene oxide (GO) reduction methods: impact on crystallographic, morphological, and optical properties. *Graphene and 2D Materials*, 9(1), 101–109. <https://doi.org/10.1007/s41127-024-00072-y>
- Khanra, P., Uddin, M. E., Kim, N. H., Kuila, T., Lee, S. H., & Lee, J. H. (2015). Electrochemical performance of reduced graphene oxide surface-modified with 9-anthracene carboxylic acid. *RSC Advances*, 5(9), 6443–6451. <https://doi.org/10.1039/c4ra12356e>
- Labs, I. (2018). ♦ *PRECISION INSTRUMENTS FOR TEST AND MEASUREMENT* ♦ *LCR Measurement Primer*. [www.ietlabs.com](http://www.ietlabs.com)
- Labs Inc, I. (2019). *Series & Parallel Impedance Parameters and Equivalent Circuits A4*.

*lcr\_meter\_guide*. (n.d.).

Liao, R., Tang, Z., Lei, Y., & Guo, B. (2011). Polyphenol-reduced graphene oxide: Mechanism and derivatization. *Journal of Physical Chemistry C*, 115(42), 20740–20746. <https://doi.org/10.1021/jp2068683>

Manorathne, C. H., Rosa, S. R. D., & Kottegoda, I. R. M. (2017). XRD-HTA, UV Visible, FTIR and SEM Interpretation of Reduced Graphene Oxide Synthesized from High Purity Vein Graphite. *Material Science Research India*, 14(1), 19–30. <https://doi.org/10.13005/msri/140104>

mashadi. (2010). *SISTEM INSTRUMENTASI SIFAT ELEKTRIK UNTUK SAMPEL KAPASITOR BERBASIS KARBON TESIS*.

Mbayachi, V. B., Ndayiragije, E., Sammani, T., Taj, S., Mbuta, E. R., & Khan, A. ullah. (2021). Graphene synthesis, characterization and its applications: A review. In *Results in Chemistry* (Vol. 3). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2021.100163>

Mir, R. A., Shafi, S. M., & Zargar, S. M. (2023). *Principles of genomics and proteomics*. Elsevier.

Moosa, A. A., & Jaafar, J. N. (2017). *Green Reduction of Graphene Oxide Using Tea Leaves Extract with Applications to Lead Ions Removal from Water*. 7(2), 38–47. <https://doi.org/10.5923/j.nn.20170702.03>

Mulyana, I. (2017). *KARAKTERISASI SIFAT OPTIK DAN STRUKTUR NICKEL-DOPED ZINC OXIDE (NZO) THIN FILM DENGAN METODE PREPARASI SELF ASSEMBLED MONOLAYERS (SAMS) UNTUK APLIKASI TCO-SOLAR CELL* [Institut Teknologi Bandung]. [https://digilib.itb.ac.id/gdl/view\\_data/karakterisasi-sifat-optik-dan-struktur-nickel-doped-zinc-oxide-nzo-thin-film-dengan-metode-preparasi-self-assembled-monolayers-sams-untuk-aplikasi-tco-solar-cell](https://digilib.itb.ac.id/gdl/view_data/karakterisasi-sifat-optik-dan-struktur-nickel-doped-zinc-oxide-nzo-thin-film-dengan-metode-preparasi-self-assembled-monolayers-sams-untuk-aplikasi-tco-solar-cell)

Nasir, S., Hussein, M. Z., Zainal, Z., Yusof, N. A., Afif, S., Zobir, M., & Alibe, I. M. (2008). *Potential Valorization of By-product Materials from Oil Palm: A review of Alternative and Sustainable Carbon Sources for Carbon-based Nanomaterials Synthesis*.

Ningrum, D. M. (2023). *Buku Ajar Kimia Farmasi*. Yogyakarta: Penerbit Samudra Biru.

Olha Rantung, Aneke Ireine Korua, & Hasan Datau. (2022). Perbandingan Ekstraksi Vitamin C dari 10 Jenis Buah-Buahan Menggunakan Sonikasi dan Homogenisasi. *INDONESIAN JOURNAL OF LABORATORY*, 4 (3), 124–133.

Perumal, D., Albert, E. L., & Abdullah, C. A. C. (2022). Green Reduction of Graphene Oxide Involving Extracts of Plants from Different Taxonomy Groups. In *Journal of Composites Science* (Vol. 6, Number 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/jcs6020058>

- Politano, G. G., & Versace, C. (2022). Electrical and Optical Characterization of Graphene Oxide and Reduced Graphene Oxide Thin Films. *Crystals*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/cryst12091312>
- Punjabi, P. B. (2023). *Graphene-based Carbocatalysts: Synthesis, Properties and Applications*. Bentham Science Publishers. <https://books.google.co.id/books?id=e6nKEAAAQBAJ>
- Rashi. (2023). Exploring the methods of synthesis, functionalization, and characterization of graphene and graphene oxide for supercapacitor applications. *Ceramics International*, 49(1), 40–47. <https://doi.org/10.1016/J.CERAMINT.2022.10.333>
- Riley, P. R., Joshi, P., Penchev, H., Narayan, J., & Narayan, R. J. (2021). One-step formation of reduced graphene oxide from insulating polymers induced by laser writing method. *Crystals*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/cryst11111308>
- Ruang Saintek. (2023). *Grafena : Masa Depan Ilmu Material*. Tiram Media.
- Saputri, N. E., & Purwayantie, S. (2024). *Microwave untuk Pangan*. Penerbit NEM.
- Sari, K.-, Sunardi, S., Utomo, A. B. S., Suharyadi, E., Kartini, E., & Yulianti, E. (2020). Analisis struktur morfologi membran kitosan/PEO dan kitosan/PEG4000. *Jurnal Teras Fisika*, 3(1), 138. <https://doi.org/10.20884/1.jtf.2020.3.1.2756>
- Selvam, K. C. (2024). *Analog and Digital Meters*. Cambridge Scholars Publishing. <https://books.google.co.id/books?id=qdYBEQAAQBAJ>
- Sharma, N., Arif, M., Monga, S., Shkir, M., Mishra, Y. K., & Singh, A. (2020). Investigation of bandgap alteration in graphene oxide with different reduction routes. *Applied Surface Science*, 513, 145396. <https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2020.145396>
- Siraj, N., Macchi, S., Berry, B., & Viswanathan, T. (2020). Metal-Free Carbon-Based Supercapacitors—A Comprehensive Review. In *Electrochem* (Vol. 1, Number 4, pp. 410–438). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/electrochem1040028>
- Strimaitis, J., Danquah, S. A., Denize, C. F., Pradhan, S. K., & Bahoura, M. (2022). The Effects of Graphene Oxide and Reduced Graphene Oxide Conductive Additives on Activated Carbon Supercapacitors. *Processes*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/pr10112190>
- Suharti, P., & Rahmayati, K. (2022). *Buku panduan praktikum biodeverity kehidupan mikroorganisme*. UMSurabaya Publishing.
- Taniguchi, M., & Lindsey, J. S. (2024). *Light-scattering in absorption spectra: a literature survey of examples and corrections*. 34. <https://doi.org/10.1117/12.3000407>

- Tienne, L. G. P., Candido, L. D. S., Da Cruz, B. D. S. M., Gondim, F. F., Ribeiro, M. P., Simão, R. A., Marques, M. D. F. V., & Monteiro, S. N. (2022a). Reduced graphene oxide synthesized by a new modified Hummer's method for enhancing thermal and crystallinity properties of Poly(vinylidene fluoride). *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 4871–4893. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.04.092>
- Tienne, L. G. P., Candido, L. D. S., Da Cruz, B. D. S. M., Gondim, F. F., Ribeiro, M. P., Simão, R. A., Marques, M. D. F. V., & Monteiro, S. N. (2022b). Reduced graphene oxide synthesized by a new modified Hummer's method for enhancing thermal and crystallinity properties of Poly(vinylidene fluoride). *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 4871–4893. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.04.092>
- Valentini, C., Montes-García, V., Livio, P. A., Chudziak, T., Raya, J., Ciesielski, A., & Samorì, P. (2023). Tuning the electrical properties of graphene oxide through low-temperature thermal annealing. *Nanoscale*, 15(12), 5743–5755. <https://doi.org/10.1039/d2nr06091d>
- Vatandost, E., Ghorbani-HasanSaraei, A., Chekin, F., Naghizadeh Raeisi, S., & Shahidi, S. A. (2020). Green tea extract assisted green synthesis of reduced graphene oxide: Application for highly sensitive electrochemical detection of sunset yellow in food products. *Food Chemistry: X*, 6, 100085. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2020.100085>
- Vivi Fauzia. (2025). Nanomaterial Teori Dasar dan Aplikasi. In [https://www.google.co.id/books/edition/Nanomaterial\\_Teori\\_Dasar\\_dan\\_Aplikasi/a4FEEQAAQBAJ?hl=id&gbpv=1&dq=mobilitas+elektron+graphene&pg=PA142&printsec=frontcover](https://www.google.co.id/books/edition/Nanomaterial_Teori_Dasar_dan_Aplikasi/a4FEEQAAQBAJ?hl=id&gbpv=1&dq=mobilitas+elektron+graphene&pg=PA142&printsec=frontcover) (pp. 1–244). Penerbit Duta.
- Wang, Y., Shi, Z. X., & Yin, J. (2011). Facile synthesis of soluble graphene via a green reduction of graphene oxide in tea solution and its biocomposites. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 3(4), 1127–1133. <https://doi.org/10.1021/am1012613>
- Wardani, A. P., & Dwandaru, W. S. B. (2025). GRADATION STUDY OF LUMINESCENCE SPECTRUM ON CARBON NANODOTS NANOMATERIALS MADE FROM WEDANG UWUH. *Jurnal Ilmu Fisika Dan Terapannya*, 12(2), 34–43. <https://doi.org/10.21831/jifta.v12i2.20675>
- Wu, X., Gao, D., Wang, P., Yu, H., & Yu, J. (2019). NH<sub>4</sub>Cl-induced low-temperature formation of nitrogen-rich g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanosheets with improved photocatalytic hydrogen evolution. *Carbon*, 153, 757–766. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2019.07.083>
- Yusan, L. Y. (2024). *Nanopartikel Kitosan Limbah Cangkang Rajungan (Portunus pelagicus.) Terhadap Aktivitas Bakteri Pseudomonas aeruginosa pada Pasien Gangren*. Scopindo Media Pustaka.

- Zahid, M., Khalid, T., Rehan, Z. A., Javed, T., Akram, S., Rashid, A., Mustafa, S. K., Shabbir, R., Mora-Poblete, F., Asad, M. S., Liaquat, R., Hassan, M. M., Amin, M. A., & Shakoor, H. A. (2021). Fabrication and characterization of sulfonated graphene oxide (Sgo) doped pvdf nanocomposite membranes with improved anti-biofouling performance. *Membranes*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/membranes11100749>
- Zhu, X., Xu, X., Liu, F., Jin, J., Liu, L., Zhi, Y., Chen, Z. W., Zhou, Z. S., & Yu, J. (2017). Green synthesis of graphene nanosheets and their in vitro cytotoxicity against human prostate cancer (DU 145) cell lines. *Nanomaterials and Nanotechnology*, 7. <https://doi.org/10.1177/1847980417702794>
- Zulia Davita Sari. (2020). *GREEN SYNTHESIS HEMATIT ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) MENGGUNAKAN EKSTRAK DAUN TEH HIJAU (CAMELLIA SINENSIS) DENGAN METODE PRESIPITASI SKRIPSI Oleh: ZULIA DAVITA SARI NIM. 16630083 JURUSAN KIMIA FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG 2020.*
- Zulkarnain, H. (2024). *Kultur Jaringan Tanaman: Solusi perbanyak tanaman budi daya.* Bumi Aksara.

# LAMPIRAN

**LAMPIRAN 1 – Beberapa Dokumentasi Penelitian**

*Sintesis Green Tea Extract*



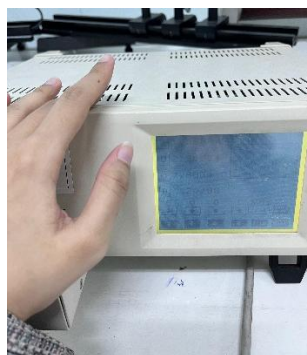
*Penyaringan Green Tea Etract*



*Sintesis reduced Graphene Oxide (rGO)*



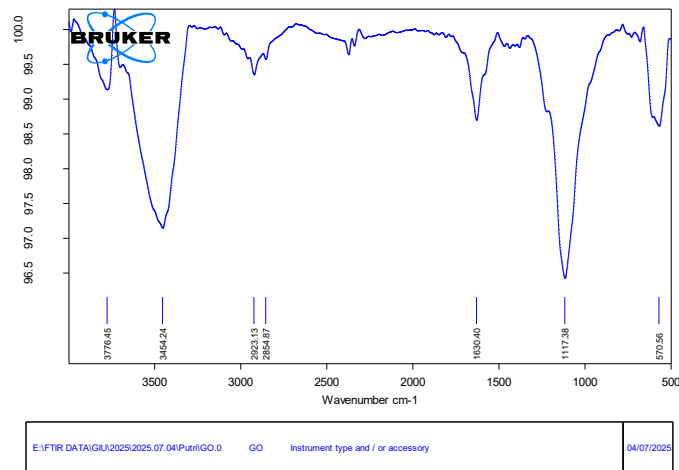
*Penyaringan rGO setelah proses reduksi*



*Contoh salah satu karakterisasi yakni LCR Meter*

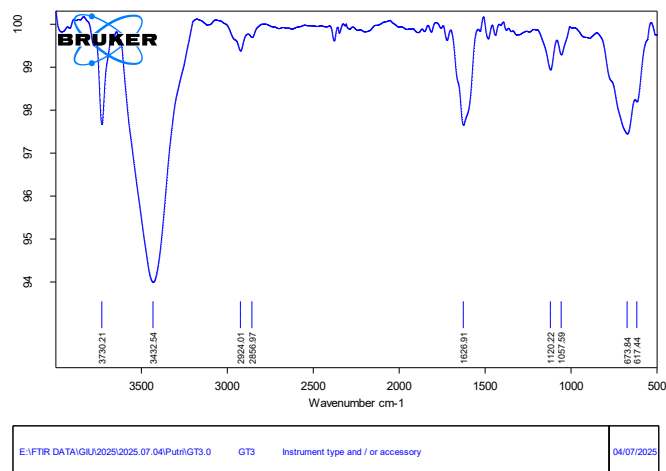
## LAMPIRAN 2 – Hasil Karakterisasi FTIR

### 1. Graphene Oxide (GO)



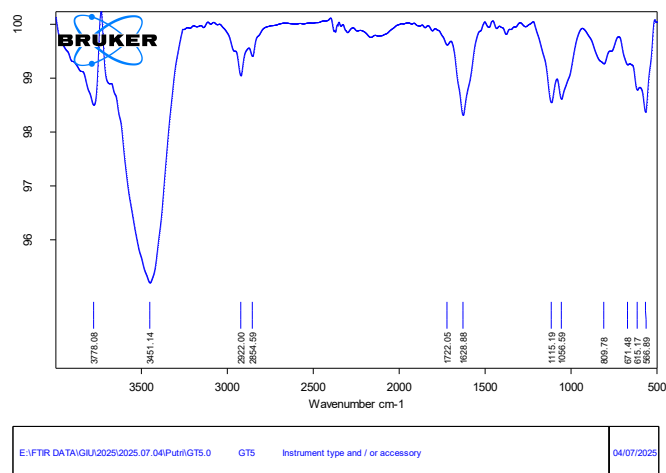
Page 1/1

### 2. GO + GT3



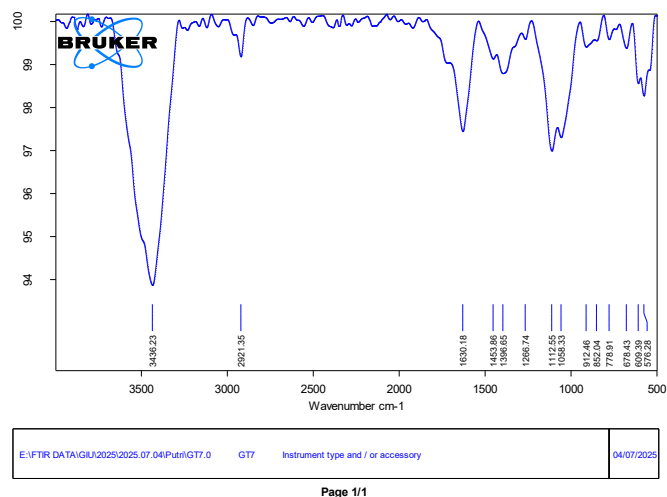
Page 1/1

### 3. GO + GT5



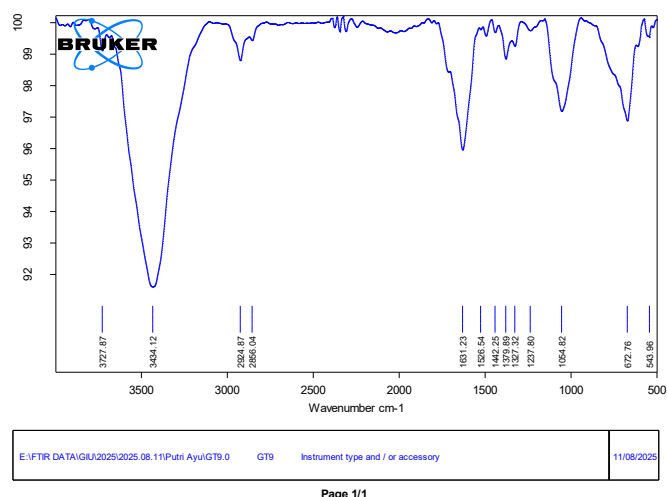
Page 1/1

### 4. GO + GT7



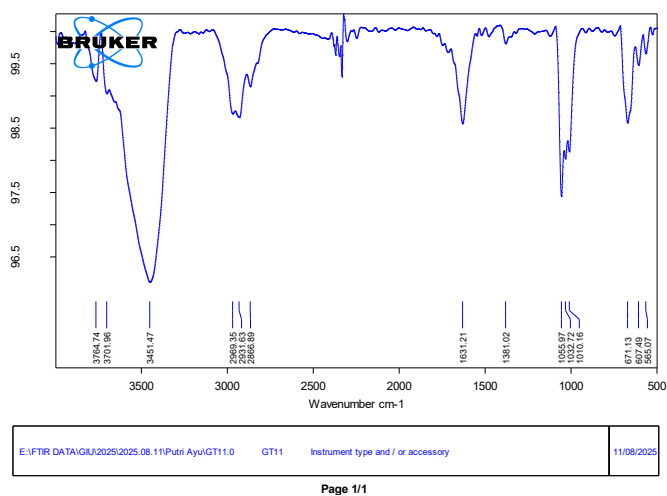
Page 1/1

## 5. GO + GT9



Page 1/1

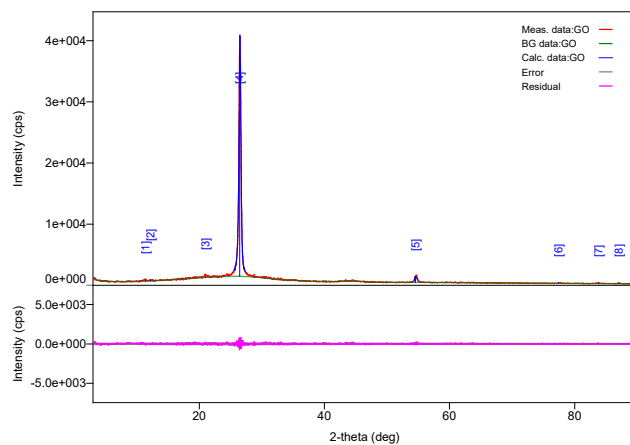
## 6. GO + GT11



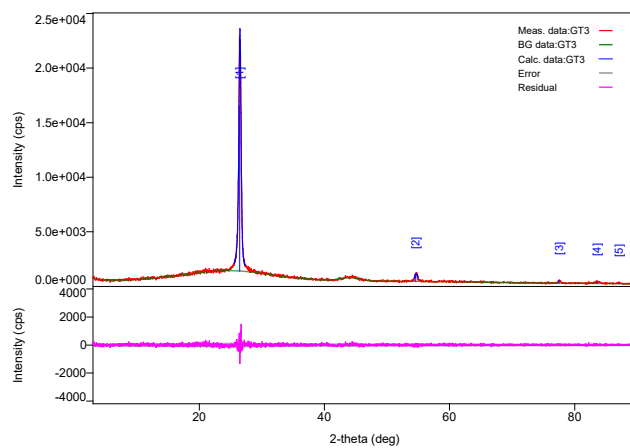
Page 1/1

## LAMPIRAN 3 – Hasil Karakterisasi XRD

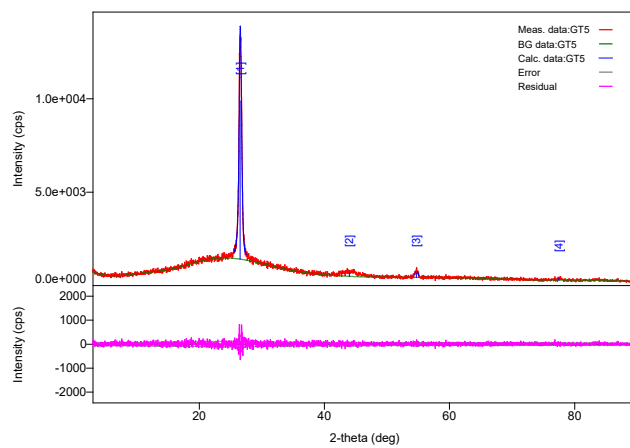
### 1. Graphene Oxide (GO)



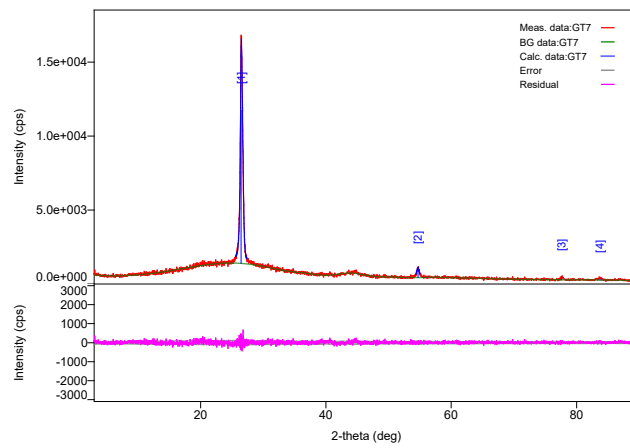
### 2. GO + GT3



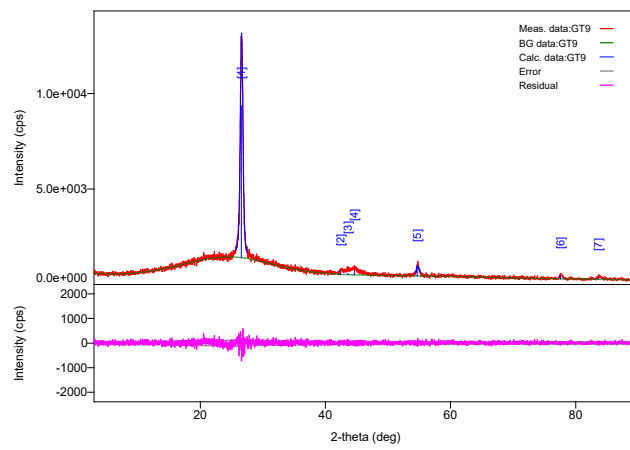
### 3. GO + GT5



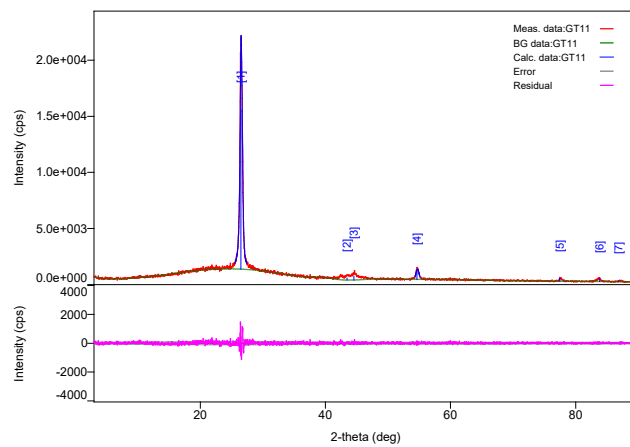
### 4. GO + GT7

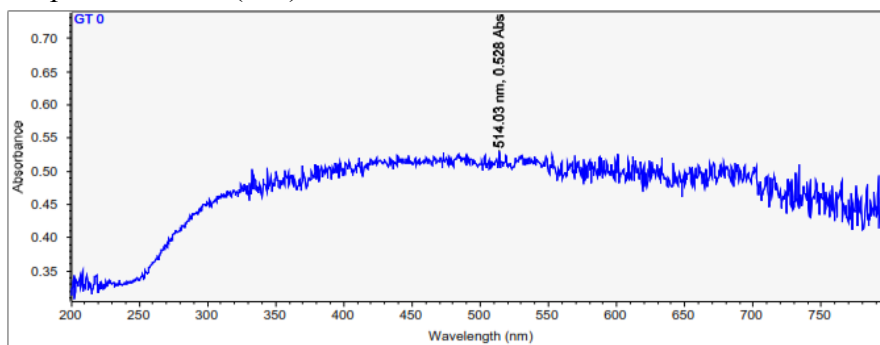
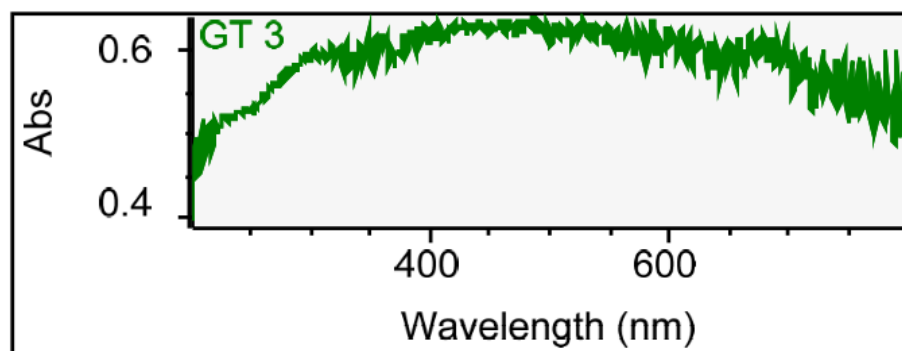


## 5. GO + GT9

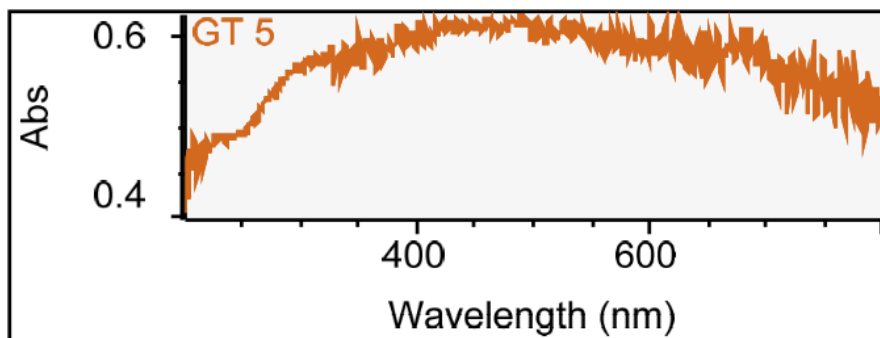


## 6. GO + GT11

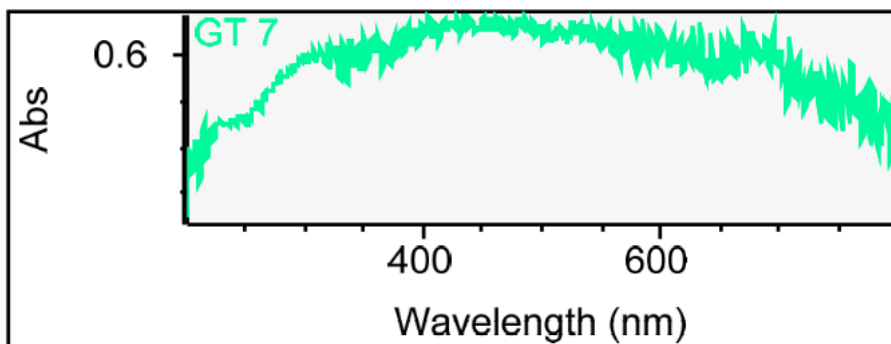


**LAMPIRAN 4 – Hasil Karakterisasi Spektrofotometer UV-Vis**1. *Graphene Oioxide (GO)*2. GO + 3 gram *Green Tea Etract*

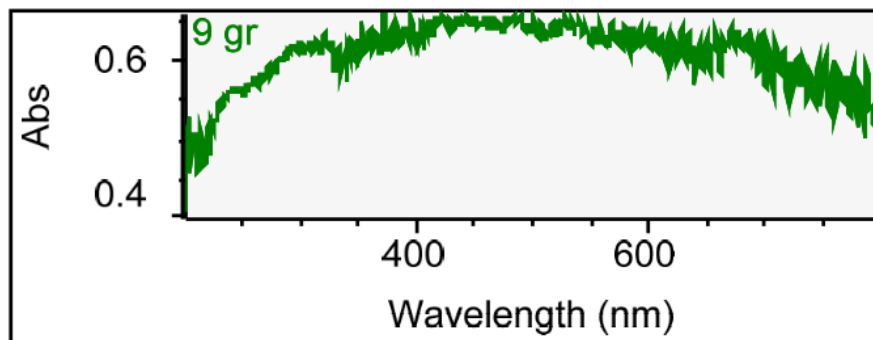
## 3. GO + GT5



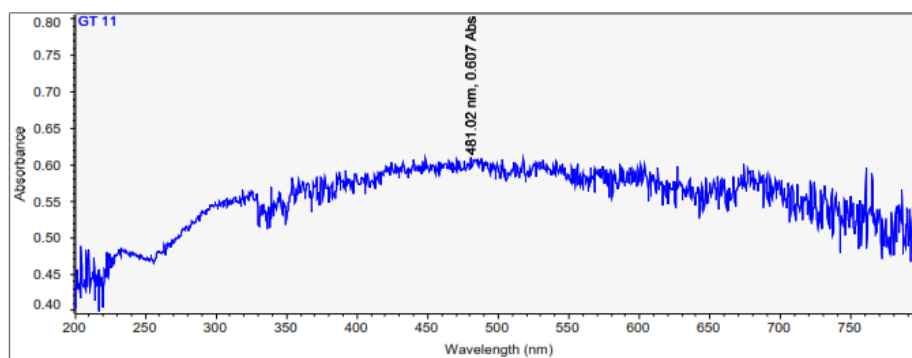
## 4. GO + GT7



## 5. GO + GT9



6. GO + GT11



[illegible]

| Q  | R      | S       | T       | U       | V         | W        | X                 | Y | Z | AA | AB | AC | AD | AE | AF | AG | AH |
|----|--------|---------|---------|---------|-----------|----------|-------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 25 | 4 MHz  |         |         |         |           |          |                   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 26 | Sampel | Rp1 (Q) | Rp2 (Q) | Rp3 (Q) | Rata-rata | p        | Konduktivitas (Q) |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 27 | GO     | 38,203  | 38,233  | 38,301  | 38,24567  | 101,9884 | 0,009805032       |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 28 | GT3    | 9,8036  | 9,8063  | 9,8068  | 9,805367  | 26,14418 | 0,038343583       |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 29 | GT5    | 7,7795  | 7,7736  | 7,7853  | 7,779467  | 20,74524 | 0,048203819       |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 30 | GT7    | 6,5093  | 6,5106  | 6,5132  | 6,511033  | 17,36276 | 0,057594545       |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 31 | GT9    | 2,341   | 2,4613  | 2,4756  | 2,425967  | 6,469244 | 0,154577557       |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 32 | GT11   | 5,2532  | 5,0581  | 5,0549  | 5,122067  | 13,65884 | 0,073212636       |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 33 |        |         |         |         |           |          |                   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 34 | 5 MHz  |         |         |         |           |          |                   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 35 | Sampel | Rp1 (Q) | Rp2 (Q) | Rp3 (Q) | Rata-rata | p        | Konduktivitas (Q) |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 36 | GO     | 35,204  | 35,208  | 35,278  | 35,23     | 93,94667 | 0,010644337       |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 37 | GT3    | 9,3016  | 9,3052  | 9,3088  | 9,3052    | 24,81387 | 0,040300047       |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 38 | GT5    | 7,5926  | 7,5956  | 7,6002  | 7,596133  | 20,25636 | 0,049367222       |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 39 | GT7    | 6,5436  | 6,5449  | 6,5473  | 6,545267  | 17,45404 | 0,057293311       |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 40 | GT9    | 2,2672  | 2,272   | 2,2667  | 2,268633  | 6,049689 | 0,165297756       |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 41 | GT11   | 4,5656  | 4,4926  | 4,4952  | 4,5178    | 12,04747 | 0,083005002       |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 42 |        |         |         |         |           |          |                   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 43 |        |         |         |         |           |          |                   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 44 |        |         |         |         |           |          |                   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 45 |        |         |         |         |           |          |                   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |

## 2. Kapasitansi

| A  | B                        | C        | D        | E        | F           | G | H | I | J | K | L | M | N | O |
|----|--------------------------|----------|----------|----------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7  |                          |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 8  | f = 100 kHz = 100.000 Hz |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 9  | Sampel                   | Cp1      | Cp2      | CP3      | Rata-rata   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 10 | GO                       | 6,63E-10 | 6,63E-10 | 6,6E-10  | 6,62E-10    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 11 | GT3                      | 2,37E-09 | 2,27E-09 | 2,77E-09 | 2,47E-09    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 12 | GT5                      | 4,33E-09 | 4,40E-09 | 4,45E-09 | 4,39333E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 13 | GT7                      | 5,08E-09 | 5,18E-09 | 5,33E-09 | 5,19667E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 14 | GT9                      | 1,81E-08 | 1,82E-08 | 1,82E-08 | 1,81667E-08 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 15 | GT11                     | 2,52E-09 | 2,92E-09 | 2,83E-09 | 2,75667E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 16 |                          |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 17 | f = 200 kHz = 200.000 Hz |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 18 | Sampel                   | Cp1      | Cp2      | CP3      | Rata-rata   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 19 | GO                       | 4,78E-10 | 4,72E-10 | 4,68E-10 | 4,72667E-10 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 20 | GT3                      | 2,41E-09 | 2,40E-09 | 2,32E-09 | 2,37667E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 21 | GT5                      | 4,08E-09 | 4,01E-09 | 3,96E-09 | 4,01667E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 22 | GT7                      | 9,73E-09 | 9,75E-09 | 9,85E-09 | 9,77667E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 23 | GT9                      | 2,87E-08 | 2,87E-08 | 2,87E-08 | 2,87E-08    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 24 | GT11                     | 3,79E-09 | 3,72E-09 | 3,76E-09 | 3,75667E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 25 |                          |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 26 | f = 300 kHz = 300.000 Hz |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 27 | Sampel                   | Cp1      | Cp2      | CP3      | Rata-rata   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 28 | GO                       | 4,02E-10 | 4,03E-10 | 4E-10    | 4,01667E-10 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 29 | GT3                      | 2,46E-09 | 2,29E-09 | 2,38E-09 | 2,37667E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 30 | GT5                      | 4,66E-09 | 4,64E-09 | 4,64E-09 | 4,64667E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 31 | GT7                      | 1,21E-08 | 1,21E-08 | 1,21E-08 | 1,21E-08    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 32 | GT9                      | 3,06E-08 | 3,05E-08 | 3,05E-08 | 3,05333E-08 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 33 | GT11                     | 3,47E-09 | 3,46E-09 | 3,59E-09 | 3,50667E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 34 |                          |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 35 | f = 400 kHz = 400.000 Hz |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 36 | Sampel                   | Cp1      | Cp2      | CP3      | Rata-rata   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 37 | GO                       | 3,63E-10 | 3,61E-10 | 3,56E-10 | 3,6E-10     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 38 | GT3                      | 2,50E-09 | 2,45E-09 | 2,54E-09 | 2,49667E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 39 | GT5                      | 4,76E-09 | 4,72E-09 | 4,79E-09 | 4,75667E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 40 | GT7                      | 1,22E-08 | 1,21E-08 | 1,14E-08 | 1,19E-08    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 41 | GT9                      | 2,88E-08 | 2,98E-08 | 2,93E-08 | 2,93E-08    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 42 | GT11                     | 3,44E-09 | 3,45E-09 | 3,44E-09 | 3,44333E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 43 |                          |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 44 | f = 500 kHz = 500.000 Hz |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 45 | Sampel                   | Cp1      | Cp2      | CP3      | Rata-rata   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

| A  | B                        | C        | D        | E        | F           | G | H | I | J | K | L | M | N | O |
|----|--------------------------|----------|----------|----------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 26 | f = 300 kHz = 300.000 Hz |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 27 | Sampel                   | Cp1      | Cp2      | CP3      | Rata-rata   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 28 | GO                       | 4,02E-10 | 4,03E-10 | 4E-10    | 4,01667E-10 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 29 | GT3                      | 2,46E-09 | 2,29E-09 | 2,38E-09 | 2,37667E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 30 | GT5                      | 4,66E-09 | 4,64E-09 | 4,64E-09 | 4,64667E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 31 | GT7                      | 1,21E-08 | 1,21E-08 | 1,21E-08 | 1,21E-08    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 32 | GT9                      | 3,06E-08 | 3,05E-08 | 3,05E-08 | 3,05333E-08 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 33 | GT11                     | 3,47E-09 | 3,46E-09 | 3,59E-09 | 3,50667E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 34 |                          |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 35 | f = 400 kHz = 400.000 Hz |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 36 | Sampel                   | Cp1      | Cp2      | CP3      | Rata-rata   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 37 | GO                       | 3,63E-10 | 3,61E-10 | 3,56E-10 | 3,6E-10     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 38 | GT3                      | 2,50E-09 | 2,45E-09 | 2,54E-09 | 2,49667E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 39 | GT5                      | 4,76E-09 | 4,72E-09 | 4,79E-09 | 4,75667E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 40 | GT7                      | 1,22E-08 | 1,21E-08 | 1,14E-08 | 1,19E-08    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 41 | GT9                      | 2,88E-08 | 2,98E-08 | 2,93E-08 | 2,93E-08    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 42 | GT11                     | 3,44E-09 | 3,45E-09 | 3,44E-09 | 3,44333E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 43 |                          |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 44 | f = 500 kHz = 500.000 Hz |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 45 | Sampel                   | Cp1      | Cp2      | CP3      | Rata-rata   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

| A                                | B                        | C        | D        | E        | F           | G | H                        | I        | J        | K        | L          | M | N | O |
|----------------------------------|--------------------------|----------|----------|----------|-------------|---|--------------------------|----------|----------|----------|------------|---|---|---|
| 44                               | f = 500 kHz = 500.000 Hz |          |          |          |             |   | f = 1 MHz = 1.000.000 Hz |          |          |          |            |   |   |   |
| 45                               | Sampel                   | Cp1      | Cp2      | CP3      | Rata-rata   |   | Sampel                   | Cp1      | Cp2      | CP3      | Rata-rata  |   |   |   |
| 46                               | GO                       | 4,61E-09 | 4,6E-09  | 4,6E-09  | 4,60333E-09 |   | GO                       | 3,24E-10 | 3,26E-10 | 3,26E-10 | 3,2533E-10 |   |   |   |
| 47                               | GT3                      | 3,4E-10  | 3,42E-10 | 3,41E-10 | 3,41E-10    |   | GT3                      | 3,1E-09  | 3,1E-09  | 3,08E-09 | 3,0933E-09 |   |   |   |
| 48                               | GT5                      | 2,61E-09 | 2,53E-09 | 2,63E-09 | 2,59E-09    |   | GT5                      | 5,21E-09 | 5,20E-09 | 5,21E-09 | 5,2067E-09 |   |   |   |
| 49                               | GT7                      | 1,14E-08 | 1,14E-08 | 1,14E-08 | 1,14E-08    |   | GT7                      | 6,92E-09 | 6,88E-09 | 6,88E-09 | 6,8933E-09 |   |   |   |
| 50                               | GT9                      | 2,66E-08 | 2,66E-08 | 2,66E-08 | 2,66E-08    |   | GT9                      | 1,42E-08 | 1,42E-08 | 1,41E-08 | 1,4167E-08 |   |   |   |
| 51                               | GT11                     | 3,33E-09 | 3,33E-09 | 3,33E-09 | 3,33E-09    |   | GT11                     | 3,50E-09 | 3,47E-09 | 3,44E-09 | 3,47E-09   |   |   |   |
| 52                               |                          |          |          |          |             |   |                          |          |          |          |            |   |   |   |
| 53                               |                          |          |          |          |             |   |                          |          |          |          |            |   |   |   |
| 54                               |                          |          |          |          |             |   |                          |          |          |          |            |   |   |   |
| 55                               |                          |          |          |          |             |   |                          |          |          |          |            |   |   |   |
| 56                               |                          |          |          |          |             |   |                          |          |          |          |            |   |   |   |
| 57                               |                          |          |          |          |             |   |                          |          |          |          |            |   |   |   |
| 58                               |                          |          |          |          |             |   |                          |          |          |          |            |   |   |   |
| 59                               |                          |          |          |          |             |   |                          |          |          |          |            |   |   |   |
| 60                               |                          |          |          |          |             |   |                          |          |          |          |            |   |   |   |
| 61                               |                          |          |          |          |             |   |                          |          |          |          |            |   |   |   |
| 62                               |                          |          |          |          |             |   |                          |          |          |          |            |   |   |   |
| 63                               |                          |          |          |          |             |   |                          |          |          |          |            |   |   |   |
| Sheet1                           |                          |          |          |          |             |   |                          |          |          |          |            |   |   |   |
| Read % Accessibility Investigate |                          |          |          |          |             |   |                          |          |          |          |            |   |   |   |

|    |      |                          |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|----|------|--------------------------|----------|----------|----------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|    | M    | N                        | O        | P        | Q        | R           | S | T | U | V | W | X | Y | Z | AA |
| 25 |      | f = 4 MHz = 4.000.000 Hz |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 26 |      | Sample                   | Cp1      | Cp2      | Cp3      | Rata-rata   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 27 | GO   |                          | 8,22E-10 | 8,18E-10 | 8,22E-10 | 8,20667E-10 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 28 | GT3  |                          | 3,63E-10 | 3,63E-10 | 3,63E-10 | 3,63E-10    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 29 | GT5  |                          | 1,79E-09 | 1,79E-09 | 1,79E-09 | 1,79E-09    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 30 | GT7  |                          | 3,13E-09 | 3,12E-09 | 3,12E-09 | 3,12333E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 31 | GT9  |                          | 4,62E-09 | 4,51E-09 | 4,34E-09 | 4,49E-09    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 32 | GT11 |                          | 3,39E-09 | 3,47E-09 | 3,43E-09 | 3,43E-09    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 33 |      | f = 5 MHz = 5.000.000 Hz |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 34 |      | Sample                   | Cp1      | Cp2      | Cp3      | Rata-rata   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 35 | GO   |                          | 7,46E-10 | 7,46E-10 | 7,46E-10 | 7,46E-10    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 36 | GT3  |                          | 3,87E-10 | 3,87E-10 | 3,87E-10 | 3,87E-10    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 37 | GT5  |                          | 1,64E-09 | 1,63E-09 | 1,63E-09 | 1,63333E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 38 | GT7  |                          | 2,77E-09 | 2,77E-09 | 2,77E-09 | 2,77E-09    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 39 | GT9  |                          | 4,23E-09 | 4,07E-09 | 4,52E-09 | 4,47333E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 40 | GT11 |                          | 4,42E-09 | 4,33E-09 | 4,44E-09 | 4,39667E-09 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 41 |      |                          |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 42 |      |                          |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 43 |      |                          |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 44 |      |                          |          |          |          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

### 3. Impedansi

|    | A      | B                                                                    | C            | D           | E | F      | G            | H            | I           | J | K      | L            | M            | N           | O |
|----|--------|----------------------------------------------------------------------|--------------|-------------|---|--------|--------------|--------------|-------------|---|--------|--------------|--------------|-------------|---|
| 1  |        |                                                                      |              |             |   |        |              |              |             |   |        |              |              |             |   |
| 2  |        | $ Z  = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{L}\right)^2 + (2\pi f C_p)^2}}$ |              |             |   |        |              |              |             |   |        |              |              |             |   |
| 3  |        |                                                                      |              |             |   |        |              |              |             |   |        |              |              |             |   |
| 4  |        |                                                                      |              |             |   |        |              |              |             |   |        |              |              |             |   |
| 5  |        |                                                                      |              |             |   |        |              |              |             |   |        |              |              |             |   |
| 6  |        |                                                                      |              |             |   |        |              |              |             |   |        |              |              |             |   |
| 7  |        | 100 kHz                                                              |              |             |   |        | 600 kHz      |              |             |   |        | 2 MHz        |              |             |   |
| 8  | Sample | Rata-rata Rp                                                         | Rata-rata Cp | Impedansi   |   | Sample | Rata-rata Rp | Rata-rata Cp | Impedansi   |   | Sample | Rata-rata Rp | Rata-rata Cp | Impedansi   |   |
| 9  | GO     | 36,72866667                                                          | 6,62E-10     | 36,72438133 |   | GO     | 41,44133333  | 3,22333E-10  | 41,43978182 |   | GO     | 42,88466667  | 3,41E-10     | 42,88285651 |   |
| 10 | GT3    | 7,266731333                                                          | 2,47E-09     | 7,266271272 |   | GT3    | 8,0672       | 3,23667E-09  | 8,066114558 |   | GT3    | 9,85676667   | 1,57E-09     | 9,856300757 |   |
| 11 | GT5    | 5,598033333                                                          | 4,38333E-09  | 5,597805071 |   | GT5    | 5,622433333  | 4,36E-09     | 5,621766529 |   | GT5    | 7,4648       | 3,26667E-09  | 7,463932973 |   |
| 12 | GT7    | 3,705                                                                | 5,19667E-09  | 3,704728921 |   | GT7    | 3,9177       | 1,03E-08     | 3,916441398 |   | GT7    | 5,907933333  | 4,79E-09     | 5,906999639 |   |
| 13 | GT9    | 3,1816                                                               | 1,81667E-08  | 3,179504018 |   | GT9    | 3,442        | 2,35E-08     | 3,437563324 |   | GT9    | 3,345333333  | 6,08333E-09  | 3,345059883 |   |
| 14 | GT11   | 5,705566667                                                          | 2,75667E-09  | 5,705288078 |   | GT11   | 6,041366667  | 2,55E-09     | 6,041083667 |   | GT11   | 6,104633333  | 4,5E-09      | 6,103724181 |   |
| 15 |        |                                                                      |              |             |   |        |              |              |             |   |        |              |              |             |   |
| 16 |        |                                                                      |              |             |   |        |              |              |             |   |        |              |              |             |   |
| 17 |        | 200 kHz                                                              |              |             |   |        | 700 kHz      |              |             |   |        | 3 MHz        |              |             |   |
| 18 | Sample | Rata-rata Rp                                                         | Rata-rata Cp | Impedansi   |   | Sample | Rata-rata Rp | Rata-rata Cp | Impedansi   |   | Sample | Rata-rata Rp | Rata-rata Cp | Impedansi   |   |
| 19 | GO     | 39,129                                                               | 4,72667E-10  | 39,12635825 |   | GO     | 42,58        | 4,05E-09     | 42,3322275  |   | GO     | 41,16633333  | 3,52E-10     | 41,16462719 |   |
| 20 | GT3    | 7,5023                                                               | 2,37667E-09  | 7,50182923  |   | GT3    | 8,270033333  | 3,26667E-10  | 8,270021419 |   | GT3    | 10,02766667  | 1,02E-09     | 10,0274596  |   |
| 21 | GT5    | 5,2451                                                               | 4,01667E-09  | 5,244640521 |   | GT5    | 5,830966667  | 2,26667E-09  | 5,830754832 |   | GT5    | 7,769666667  | 2,18E-09     | 7,769426673 |   |
| 22 | GT7    | 3,9273                                                               | 9,77667E-09  | 3,926157637 |   | GT7    | 4,151366667  | 9,42333E-09  | 4,150113192 |   | GT7    | 6,328566667  | 3,92E-09     | 6,327797999 |   |
| 23 | GT9    | 3,161066667                                                          | 2,87E-08     | 3,155843509 |   | GT9    | 4,021        | 2,06667E-08  | 4,015530018 |   | GT9    | 2,926666667  | 4,78667E-09  | 2,926553299 |   |
| 24 | GT11   | 5,9742                                                               | 3,75667E-09  | 5,973860105 |   | GT11   | 6,053066667  | 3,11667E-09  | 6,052641469 |   | GT11   | 5,749133333  | 4,48E-09     | 5,748380638 |   |
| 25 |        |                                                                      |              |             |   |        |              |              |             |   |        |              |              |             |   |
| 26 |        |                                                                      |              |             |   |        |              |              |             |   |        |              |              |             |   |

|    | A      | B                        | C            | D           | E | F      | G            | H            | I           | J | K      | L            | M            | N           | O |
|----|--------|--------------------------|--------------|-------------|---|--------|--------------|--------------|-------------|---|--------|--------------|--------------|-------------|---|
| 16 |        |                          |              |             |   |        |              |              |             |   |        |              |              |             |   |
| 17 |        | 200 kHz                  |              |             |   |        | 700 kHz      |              |             |   |        | 3 MHz        |              |             |   |
| 18 | Sample | Rata-rata Rp             | Rata-rata Cp | Impedansi   |   | Sample | Rata-rata Rp | Rata-rata Cp | Impedansi   |   | Sample | Rata-rata Rp | Rata-rata Cp | Impedansi   |   |
| 19 | GO     | 39,129                   | 4,72667E-10  | 39,12635825 |   | GO     | 42,58        | 4,05E-09     | 42,3322275  |   | GO     | 41,16633333  | 3,52E-10     | 41,16462719 |   |
| 20 | GT3    | 7,5023                   | 2,37667E-09  | 7,50182923  |   | GT3    | 8,270033333  | 3,26667E-10  | 8,270021419 |   | GT3    | 10,02766667  | 1,02E-09     | 10,0274596  |   |
| 21 | GT5    | 5,2451                   | 4,01667E-09  | 5,244640521 |   | GT5    | 5,830966667  | 2,26667E-09  | 5,830754832 |   | GT5    | 7,769666667  | 2,18E-09     | 7,769426673 |   |
| 22 | GT7    | 3,9273                   | 9,77667E-09  | 3,926157637 |   | GT7    | 4,151366667  | 9,42333E-09  | 4,150113192 |   | GT7    | 6,328566667  | 3,92E-09     | 6,327797999 |   |
| 23 | GT9    | 3,161066667              | 2,87E-08     | 3,155843509 |   | GT9    | 4,021        | 2,06667E-08  | 4,015530018 |   | GT9    | 2,926666667  | 4,78667E-09  | 2,926553299 |   |
| 24 | GT11   | 5,9742                   | 3,75667E-09  | 5,973860105 |   | GT11   | 6,053066667  | 3,11667E-09  | 6,052641469 |   | GT11   | 5,749133333  | 4,48E-09     | 5,748380638 |   |
| 25 |        |                          |              |             |   |        |              |              |             |   |        |              |              |             |   |
| 26 |        |                          |              |             |   |        |              |              |             |   |        |              |              |             |   |
| 27 |        | f = 300 kHz = 300.000 Hz |              |             |   |        | 800 kHz      |              |             |   |        | 4 MHz        |              |             |   |
| 28 | Sample | Rata-rata Rp             | Rata-rata Cp | Impedansi   |   | Sample | Rata-rata Rp | Rata-rata Cp | Impedansi   |   | Sample | Rata-rata Rp | Rata-rata Cp | Impedansi   |   |
| 29 | GO     | 40,25233333              | 4,01667E-10  | 40,2502565  |   | GO     | 42,783       | 3,23667E-10  | 42,78138075 |   | GO     | 38,24566667  | 8,20667E-10  | 38,23821363 |   |
| 30 | GT3    | 7,595166667              | 2,37667E-09  | 7,594676136 |   | GT3    | 8,4939       | 2,28333E-09  | 8,493269418 |   | GT3    | 9,805566667  | 3,63E-10     | 9,805542144 |   |
| 31 | GT5    | 5,421                    | 4,64667E-09  | 5,420121157 |   | GT5    | 6,027233333  | 3,70333E-09  | 6,026640674 |   | GT5    | 7,779466667  | 1,79E-09     | 7,779168911 |   |
| 32 | GT7    | 5,077666667              | 1,21E-08     | 5,073887396 |   | GT7    | 4,373533333  | 8,53667E-09  | 4,372330447 |   | GT7    | 6,511033333  | 3,12333E-09  | 6,510501883 |   |
| 33 | GT9    | 3,295866667              | 3,05333E-08  | 3,289297849 |   | GT9    | 3,621666667  | 1,82333E-08  | 3,618553323 |   | GT9    | 2,425966667  | 4,49E-09     | 2,425909852 |   |
| 34 | GT11   | 5,989333333              | 3,50667E-09  | 5,986412528 |   | GT11   | 5,969        | 3,02667E-09  | 5,968615478 |   | GT11   | 5,122066667  | 3,43E-09     | 5,121754624 |   |
| 35 |        |                          |              |             |   |        |              |              |             |   |        |              |              |             |   |

|    | A                         | B            | C            | D           | E | F       | G            | H            | I           | J | K      | L            | M            | N           | O |
|----|---------------------------|--------------|--------------|-------------|---|---------|--------------|--------------|-------------|---|--------|--------------|--------------|-------------|---|
| 36 |                           |              |              |             |   |         |              |              |             |   |        |              |              |             |   |
| 37 | 400 kHz                   |              |              |             |   | 900 kHz |              |              |             |   | 5 MHz  |              |              |             |   |
| 38 | Sample                    | Rata-rata Rp | Rata-rata Cp | Impedansi   |   | Sample  | Rata-rata Rp | Rata-rata Cp | Impedansi   |   | Sample | Rata-rata Rp | Rata-rata Cp | Impedansi   |   |
| 39 | GO                        | 40,933       | 3,6E-10      | 40,9312456  |   | GO      | 43,006       | 3,22333E-10  | 43,00436882 |   | GO     | 35,23        | 7,46E-10     | 35,22519762 |   |
| 40 | GT3                       | 7,72533333   | 2,49667E-09  | 7,724966065 |   | GT3     | 8,704233333  | 2,32667E-09  | 8,703528743 |   | GT3    | 9,3052       | 3,87E-10     | 9,305176181 |   |
| 41 | GT5                       | 5,183566667  | 4,75667E-09  | 5,182944734 |   | GT5     | 6,238666667  | 3,38667E-09  | 6,238116956 |   | GT5    | 7,596133333  | 1,63333E-09  | 7,595902533 |   |
| 42 | GT7                       | 3,471833333  | 1,19E-08     | 3,470664155 |   | GT7     | 4,590233333  | 7,67E-09     | 4,589110629 |   | GT7    | 6,545266667  | 2,77E-09     | 6,544842019 |   |
| 43 | GT9                       | 2,9718       | 2,93E-08     | 2,96736238  |   | GT9     | 3,513666667  | 1,60333E-08  | 3,511467535 |   | GT9    | 2,268633333  | 4,47333E-09  | 2,268587215 |   |
| 44 | GT11                      | 5,9949       | 3,44333E-09  | 5,994395828 |   | GT11    | 5,984533333  | 3,01667E-09  | 5,984148358 |   | GT11   | 4,5178       | 4,39667E-09  | 4,517448191 |   |
| 45 |                           |              |              |             |   |         |              |              |             |   |        |              |              |             |   |
| 46 |                           |              |              |             |   |         |              |              |             |   |        |              |              |             |   |
| 47 | f = 500 kHz = 500.000 Hz  |              |              |             |   | 1 MHz   |              |              |             |   |        |              |              |             |   |
| 48 | Sample                    | Rata-rata Rp | Rata-rata Cp | Impedansi   |   | Sample  | Rata-rata Rp | Rata-rata Cp | Impedansi   |   |        |              |              |             |   |
| 49 | GO                        | 41,144       | 4,60333E-09  | 40,85572232 |   | GO      | 43,50566667  | 3,25333E-10  | 43,50394639 |   |        |              |              |             |   |
| 50 | GT3                       | 7,886866667  | 3,41E-10     | 7,886855406 |   | GT3     | 8,917633333  | 3,09333E-09  | 8,916294168 |   |        |              |              |             |   |
| 51 | GT5                       | 5,370733333  | 2,59E-09     | 5,370528215 |   | GT5     | 6,439433333  | 5,20667E-09  | 6,43800494  |   |        |              |              |             |   |
| 52 | GT7                       | 3,678333333  | 1,14E-08     | 3,677057286 |   | GT7     | 4,749233333  | 6,89333E-09  | 4,793200203 |   |        |              |              |             |   |
| 53 | GT9                       | 3,192        | 2,66E-08     | 3,187467815 |   | GT9     | 3,717        | 1,16467E-08  | 3,714967239 |   |        |              |              |             |   |
| 54 | GT11                      | 6,004633333  | 3,33E-09     | 6,004159499 |   | GT11    | 6,181866667  | 3,47E-09     | 6,181305246 |   |        |              |              |             |   |
| 55 |                           |              |              |             |   |         |              |              |             |   |        |              |              |             |   |
|    | Sheet1                    |              |              |             |   |         |              |              |             |   |        |              |              |             |   |
|    | Accessibility Investigate |              |              |             |   |         |              |              |             |   |        |              |              |             |   |
|    | Show desktop              |              |              |             |   |         |              |              |             |   |        |              |              |             |   |

## LAMPIRAN 6 – Perhitungan *d-spacing* dan ukuran kristal (D)

### 1. *Graphene Oxide* (GO)

Diket:

$$\theta = 13,236^\circ = 0,23101178 \text{ rad}$$

$$\beta = 0,006108652 \text{ rad}$$

$$\lambda = 1,54 \text{ \AA} = 0,15406 \text{ nm}$$

$$Kc = 0,9$$

Ditanya:

$$D = \dots?$$

$$d = \dots?$$

Jawab:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} = \frac{0,9 \times 0,15406}{0,006108652 \cos 0,23101178} = 23,26 \text{ nm}$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1,54}{2 \sin 0,23101178} = 0,3357 \text{ \AA}$$

### 2. GO + GT3

Diket:

$$\theta = 13,238^\circ = 0,231046686 \text{ rad}$$

$$\beta = 0,0070336769 \text{ rad}$$

$$\lambda = 1,54 \text{ \AA} = 0,15406 \text{ nm}$$

$$Kc = 0,9$$

Ditanya:

$$D = \dots?$$

$$d = \dots?$$

Jawab:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} = \frac{0,9 \times 0,15406}{0,0070336769 \cos 0,231046686} = 20,24 \text{ nm}$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1,54}{2 \sin 0,231046686} = 0,3365 \text{ \AA}$$

### 3. GO + GT5

Diket:

$$\theta = 13,2238^\circ = 0,2309 \text{ rad}$$

$$\beta = 0,0072605697 \text{ rad}$$

$$\lambda = 1,54 \text{ \AA} = 0,15406 \text{ nm}$$

$$Kc = 0,9$$

Ditanya:

$$D = \dots?$$

$$d = \dots?$$

Jawab:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} = \frac{0,9 \times 0,15406}{0,0072605697 \cos 0,2309} = 19,81 \text{ nm}$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1,54}{2 \sin 0,231046686} = 0,3357 \text{ \AA}$$

4. GO + GT7

Diket:

$$\theta = 13,261^\circ = 0,231448112 \text{ rad}$$

$$\beta = 0,0081506876 \text{ rad}$$

$$\lambda = 1,54 \text{ \AA} = 0,15405 \text{ nm}$$

$$Kc = 0,9$$

Ditanya:

$$D = \dots?$$

$$d = \dots?$$

Jawab:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} = \frac{0,9 \times 0,15406}{0,0081506876 \cos 0,231448112} = 17,47 \text{ nm}$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1,54}{2 \sin 0,231448112} = 0,3349 \text{ \AA}$$

5. GO + GT9

Diket:

$$\theta = 13,238^\circ = 0,23191951 \text{ rad}$$

$$\beta = 0,0084299403 \text{ rad}$$

$$\lambda = 1,54 \text{ \AA} = 0,15405 \text{ nm}$$

$$Kc = 0,9$$

Ditanya:

$$D = \dots?$$

$$d = \dots?$$

Jawab:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} = \frac{0,9 \times 0,15406}{0,0084299403 \cos 0,23191951} = 16,92 \text{ nm}$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1,54}{2 \sin 0,23191951} = 0,3338 \text{ Å}$$

6. GO + GT11

Diket:

$$\theta = 13,238^\circ = 0,231238673 \text{ rad}$$

$$\beta = 0,0072082098 \text{ rad}$$

$$\lambda = 1,54 \text{ Å} = 0,15405 \text{ nm}$$

$$Kc = 0,9$$

Ditanya:

$$D = \dots?$$

$$d = \dots?$$

Jawab:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} = \frac{0,9 \times 0,15406}{0,0072082098 \cos 0,231238673} = 19,79 \text{ nm}$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1,54}{2 \sin 0,231238673} = 0,3361 \text{ Å}$$

## LAMPIRAN 7 – Perhitungan Konduktivitas

### 1. *Graphene Oxide* (GO)

- Frekuensi 100 kHz

Diketahui:

$$R_p = 36,728 \, \Omega$$

$$\gamma = 0,3$$

$$A = 0,8 \, \text{cm}^2$$

Ditanya:

$$\sigma = \dots?$$

Jawab:

$$\rho = \frac{R_p \times A}{l} = \frac{36,728 \times 0,8}{0,3} = 97,943 \, \Omega/\text{cm}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{97,943} = 0,01021 \, \text{S/cm}$$

- Frekuensi 500 kHz

Diketahui:

$$R_p = 41,144 \, \Omega$$

$$\gamma = 0,3$$

$$A = 0,8 \, \text{cm}^2$$

Ditanya:

$$\sigma = \dots?$$

Jawab:

$$\rho = \frac{R_p \times A}{l} = \frac{41,144 \times 0,8}{0,3} = 109,717 \, \Omega/\text{cm}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{109,717} = 0,0091 \, \text{S/cm}$$

- Frekuensi 1 MHz

Diketahui:

$$R_p = 43,505 \, \Omega$$

$$\gamma = 0,3$$

$$A = 0,8 \, \text{cm}^2$$

Ditanya:

$$\sigma = \dots?$$

Jawab:

$$\rho = \frac{R_p \times A}{l} = \frac{43,505 \times 0,8}{0,3} = 116,015 \, \Omega/\text{cm}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{116,015} = 0,0086 \, \text{S/cm}$$

## 2. GO + GT3

- Frekuensi 100 kHz

Diketahui:

$$R_p = 7,266 \, \Omega$$

$$\gamma = 0,3$$

$$A = 0,8 \, \text{cm}^2$$

Ditanya:

$$\sigma = \dots?$$

Jawab:

$$\rho = \frac{R_p \times A}{l} = \frac{7,266 \times 0,8}{0,3} = 19,377 \, \Omega/\text{cm}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{19,377} = 0,05160 \, \text{S/cm}$$

- Frekuensi 500 kHz

Diketahui:

$$R_p = 7,886 \, \Omega$$

$$\gamma = 0,3$$

$$A = 0,8 \, \text{cm}^2$$

Ditanya:

$$\sigma = \dots?$$

Jawab:

$$\rho = \frac{R_p \times A}{l} = \frac{7,886 \times 0,8}{0,3} = 21,031 \, \Omega$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{21,031} = 0,0475 \, \text{S/cm}$$

- Frekuensi 1 MHz

Diketahui:

$$R_p = 8,917 \, \Omega$$

$$\gamma = 0,3$$

$$A = 0,8 \, \text{cm}^2$$

Ditanya:

$$\sigma = \dots?$$

Jawab:

$$\rho = \frac{R_p \times A}{l} = \frac{8,917 \times 0,8}{0,3} = 23,780 \, \Omega/\text{cm}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{23,780} = 0,0420 \, \text{S/cm}$$

### 3. GO + GT5

- Frekuensi 100 kHz

Diketahui:

$$R_p = 5,598 \, \Omega$$

$$\gamma = 0,3$$

$$A = 0,8 \, \text{cm}^2$$

Ditanya:

$$\sigma = \dots?$$

Jawab:

$$\rho = \frac{R_p \times A}{l} = \frac{5,598 \times 0,8}{0,3} = 14,928 \, \Omega/\text{cm}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{14,928} = 0,06698 \, \text{S/cm}$$

- Frekuensi 500 kHz

Diketahui:

$$R_p = 5,370 \, \Omega$$

$$\gamma = 0,3$$

$$A = 0,8 \, \text{cm}^2$$

Ditanya:

$$\sigma = \dots?$$

Jawab:

$$\rho = \frac{R_p \times A}{l} = \frac{5,370 \times 0,8}{0,3} = 14,321 \, \Omega/\text{m}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{14,321} = 0,0698 \, \text{S/m}$$

- Frekuensi 1 MHz

Diketahui:

$$R_p = 6,439 \, \Omega$$

$$\gamma = 0,3$$

$$A = 0,8 \, \text{cm}^2$$

Ditanya:

$$\sigma = \dots?$$

Jawab:

$$\rho = \frac{R_p \times A}{l} = \frac{6,439 \times 0,8}{0,3} = 17,171 \, \Omega/\text{cm}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{17,171} = 0,0582 \, \text{S/cm}$$

#### 4. GO + GT7

- Frekuensi 100 kHz

Diketahui:

$$R_p = 3,705 \, \Omega$$

$$\gamma = 0,3$$

$$A = 0,8 \, \text{cm}^2$$

Ditanya:

$$\sigma = \dots?$$

Jawab:

$$\rho = \frac{R_p \times A}{l} = \frac{3,705 \times 0,8}{0,3} = 9,88 \, \Omega/\text{cm}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{9,88} = 0,1012 \, \text{S/cm}$$

- Frekuensi 500 kHz

Diketahui:

$$R_p = 3,678 \, \Omega$$

$$\gamma = 0,3$$

$$A = 0,8 \, \text{cm}^2$$

Ditanya:

$$\sigma = \dots?$$

Jawab:

$$\rho = \frac{R_p \times A}{l} = \frac{3,678 \times 0,8}{0,3} = 9,808 \, \Omega/\text{cm}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{9,808} = 0,1019 \, \text{S/cm}$$

- Frekuensi 1 MHz

Diketahui:

$$R_p = 4,794 \, \Omega$$

$$\gamma = 0,3$$

$$A = 0,8 \, \text{cm}^2$$

Ditanya:

$$\sigma = \dots?$$

Jawab:

$$\rho = \frac{R_p \times A}{l} = \frac{4,794 \times 0,8}{0,3} = 12,784 \, \Omega/\text{cm}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{12,784} = 0,0782 \, \text{S/cm}$$

#### 5. GO + GT9

- Frekuensi 100 kHz

Diketahui:

$$R_p = 3,181 \, \Omega$$

$$\gamma = 0,3$$

$$A = 0,8 \, \text{cm}^2$$

Ditanya:

$$\sigma = \dots?$$

Jawab:

$$\rho = \frac{R_p \times A}{l} = \frac{3,181 \times 0,8}{0,3} = 8,484 \, \Omega/\text{cm}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{8,484} = 0,1178 \, \text{S/cm}$$

- Frekuensi 500 kHz

Diketahui:

$$R_p = 3,192 \, \Omega$$

$$\gamma = 0,3$$

$$A = 0,8 \, \text{cm}^2$$

Ditanya:

$$\sigma = \dots?$$

Jawab:

$$\rho = \frac{R_p \times A}{l} = \frac{3,192 \times 0,8}{0,3} = 8,512 \, \Omega/\text{cm}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{8,512} = 0,1174 \, \text{S/cm}$$

- Frekuensi 1 MHz

Diketahui:

$$R_p = 3,717 \, \Omega$$

$$\gamma = 0,3$$

$$A = 0,8 \text{ cm}^2$$

Ditanya:

$$\sigma = \dots?$$

Jawab:

$$\rho = \frac{R_p \times A}{l} = \frac{3,717 \times 0,8}{0,3} = 9,912 \text{ } \Omega/\text{cm}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{9,912} = 0,1008 \text{ S/cm}$$

#### 6. GO + GT11

- Frekuensi 100 kHz

Diketahui:

$$R_p = 5,705 \text{ } \Omega$$

$$\gamma = 0,3$$

$$A = 0,8 \text{ cm}^2$$

Ditanya:

$$\sigma = \dots?$$

Jawab:

$$\rho = \frac{R_p \times A}{l} = \frac{5,705 \times 0,8}{0,3} = 15,214 \text{ } \Omega/\text{cm}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{15,214} = 0,0657 \text{ S/cm}$$

- Frekuensi 500 kHz

Diketahui:

$$R_p = 6,004 \text{ } \Omega$$

$$\gamma = 0,3$$

$$A = 0,8 \text{ cm}^2$$

Ditanya:

$$\sigma = \dots?$$

Jawab:

$$\rho = \frac{R_p \times A}{l} = \frac{6,004 \times 0,8}{0,3} = 16,012 \text{ } \Omega/\text{cm}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{16,012} = 0,0624 \text{ S/cm}$$

- Frekuensi 1 MHz

Diketahui:

$$R_p = 6,181 \text{ } \Omega$$

$$\gamma = 0,3$$

$$A = 0,8 \text{ cm}^2$$

Ditanya:

$$\sigma = \dots?$$

Jawab:

$$\rho = \frac{R_p \times A}{l} = \frac{6,181 \times 0,8}{0,3} = 16,484 \text{ } \Omega/\text{cm}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{16,484} = 0,0606 \text{ S/cm}$$



### JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

#### IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 200604110070  
Nama : PUTRI AYU NURMAKHMUDA  
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI  
Jurusan : FISIKA  
Dosen Pembimbing 1 : UTIYA HIKMAH, S.Si., M.Si  
Dosen Pembimbing 2 : Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si  
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : ANALISIS SIFAT LISTRIK MATERIAL REDUCED GRAPHENE OXIDE (rGO) MENGGUNAKAN EKSTRAK DAUN TEH

#### IDENTITAS BIMBINGAN

| No | Tanggal Bimbingan | Nama Pembimbing                      | Deskripsi Proses Bimbingan                                                             | Tahun Akademik   | Status          |
|----|-------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------|
| 1  | 29 April 2025     | UTIYA HIKMAH, S.Si., M.Si            | Konsultasi tentang judul dan kerangka skripsi                                          | Genap 2024/2025  | Sudah Dikoreksi |
| 2  | 06 Mei 2025       | UTIYA HIKMAH, S.Si., M.Si            | Konsultasi revisi proposal                                                             | Genap 2024/2025  | Sudah Dikoreksi |
| 3  | 15 Mei 2025       | UTIYA HIKMAH, S.Si., M.Si            | Tanda tangan untuk pengajuan judul                                                     | Genap 2024/2025  | Sudah Dikoreksi |
| 4  | 05 Juni 2025      | UTIYA HIKMAH, S.Si., M.Si            | Konsultasi untuk persiapan seminar proposal                                            | Ganjil 2025/2026 | Sudah Dikoreksi |
| 5  | 12 Juni 2025      | UTIYA HIKMAH, S.Si., M.Si            | Konsultasi untuk persiapan seminar proposal                                            | Ganjil 2025/2026 | Sudah Dikoreksi |
| 6  | 03 Juli 2025      | UTIYA HIKMAH, S.Si., M.Si            | Konsultasi dan tanda tangan persetujuan untuk daftar seminar proposal                  | Ganjil 2025/2026 | Sudah Dikoreksi |
| 7  | 01 Agustus 2025   | UTIYA HIKMAH, S.Si., M.Si            | Konsultasi mengenai revisi seminar proposal dan mempersiapkan untuk ujian komprehensif | Ganjil 2025/2026 | Sudah Dikoreksi |
| 8  | 11 Agustus 2025   | UTIYA HIKMAH, S.Si., M.Si            | Konsultasi mengenai revisi seminar proposal dan mempersiapkan untuk ujian komprehensif | Ganjil 2025/2026 | Sudah Dikoreksi |
| 9  | 11 September 2025 | UTIYA HIKMAH, S.Si., M.Si            | Konsultasi mengenai revisi seminar proposal dan mempersiapkan untuk ujian komprehensif | Ganjil 2025/2026 | Sudah Dikoreksi |
| 10 | 11 November 2025  | UTIYA HIKMAH, S.Si., M.Si            | Tanda tangan lembar pengesahan seminar proposal.                                       | Ganjil 2025/2026 | Sudah Dikoreksi |
| 11 | 21 November 2025  | UTIYA HIKMAH, S.Si., M.Si            | Konsultasi untuk ujian komprehensif                                                    | Ganjil 2025/2026 | Sudah Dikoreksi |
| 12 | 17 Desember 2025  | Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si | Konsultasi integrasi                                                                   | Ganjil 2025/2026 | Sudah Dikoreksi |
| 13 | 24 Desember 2025  | Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si | Konsultasi Integrasi                                                                   | Ganjil 2025/2026 | Sudah Dikoreksi |
| 14 | 11 Mei 2026       | UTIYA HIKMAH, S.Si., M.Si            | Konsultasi untuk ujian seminar hasil                                                   | Genap 2025/2026  | Sudah Dikoreksi |
| 15 | 18 Mei 2026       | UTIYA HIKMAH, S.Si., M.Si            | Konsultasi dan tanda tangan untuk ujian seminar hasil                                  | Genap 2025/2026  | Sudah Dikoreksi |
| 16 | 20 Mei 2026       | Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si | Konsultasi dan tanda tangan untuk daftar ujian seminar hasil                           | Genap 2025/2026  | Sudah Dikoreksi |

Telah disetujui  
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

Prof. Dr. Drs. MOKHAMMAD TIRONO, M.Si

Malang, 17 Juni 2026

Dosen Pembimbing 1

UTIYA HIKMAH, S.Si., M.Si

Kajur / Kaprodi,