

**ANALISIS STRUKTUR MIKRO OKSIDA GRAFENA  
BERBAHAN DASAR LIMBAH TONGKOL JAGUNG YANG  
DISINTESIS DENGAN METODE HUMMER MODIFIKASI**



**Oleh:  
Istiqomah Wulan Sari  
NIM. 18034083/2018**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN IMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2022**

**ANALISIS STRUKTUR MIKRO OKSIDA GRAFENA  
BERBAHAN DASAR LIMBAH TONGKOL JAGUNG YANG  
DISINTESIS DENGAN METODE HUMMER MODIFIKASI**

**SKRIPSI**

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar  
Sarjana Sains*



**Oleh:  
Istiqomah Wulan Sari  
NIM. 18034083/2018**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN IMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2022**

## PERSETUJUAN SKRIPSI

### ANALISIS STRUKTUR MIKRO OKSIDA GRAFENA BERBAHAN DASAR LIMBAH TONGKOL JAGUNG YANG DISINTESIS DENGAN METODE HUMMER MODIFIKASI

Nama : Istiqomah Wulan Sari

NIM : 18034083

Program Studi : Fisika

Departemen : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 18 Agustus 2022

Mengetahui  
Kepala Departemen Fisika

Prof. Dr. Ratnawulan, M.Si.  
NIP. 196901201993032002

Disetujui Oleh:  
Pembimbing

Dr. Ramli S.Pd, M Si  
NIP. 197302042001121002

## PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Istiqomah Wulan Sari  
NIM : 18034083  
Program Studi : Fisika  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

### ANALISIS STRUKTUR MIKRO OKSIDA GRAFENA BERBAHAN DASAR LIMBAH TONGKOL JAGUNG YANG DISINTESIS DENGAN METODE HUMMER MODIFIKASI

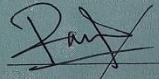
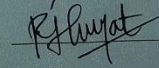
Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi Departemen  
Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri  
Padang

Padang, 18 Agustus 2022

#### Tim Penguji

|            | Nama                           |
|------------|--------------------------------|
| 1. Ketua   | : Dr. Ramli S.Pd, M Si         |
| 2. Anggota | : Drs. Gusnedi, M.Si.          |
| 3. Anggota | : Rahmat Hidayat, S.Pd., M.Si. |

#### Tanda Tangan

|    |                                                                                       |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. |  |
| 2. |  |
| 3. |  |

## **SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama :  
NIM/TM : 18034135/2018  
Program Studi : Fisika  
Jurusan : Fisika  
Fakultas : FMIPA

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi saya dengan judul : ” **Analisis Struktur Mikro Oksida Grafena Berbahan Dasar Limbah Tongkol Jagung yang Disintesis dengan Metode Hummer Termodifikasi** ” adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di Institusi UNP maupun dimasyarakat dan hukum Negara.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Saya yang menyatakan,



Istiqomah Wulan Sari

NIM. 18034083

# **Analisis Struktur Mikro Oksida Grafena Berbahan Dasar Limbah Tongkol Jagung yang Disintesis dengan Metode Hummer Modifikasi**

**Istiqomah Wulan Sari**

## **ABSTRAK**

Tongkol jagung memiliki kandungan senyawa karbon yang cukup tinggi yang mengindikasikan bahwa tongkol jagung berpotensi sebagai bahan pembuat arang aktif. Tongkol jagung yang telah diproses menjadi arang melalui proses pembakaran dapat dimanfaatkan sebagai bahan untuk pembuatan nanoteknologi khususnya dalam mensintesis oksida grafena (GO). GO memiliki banyak pengaplikasian yang salah satunya yaitu superkapasitor.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur mikro oksida grafena berbahan dasar limbah tongkol jagung yang disintesis dengan metode Hummer Modifikasi. GO disintesis menggunakan variasi temperatur pembakaran yaitu 300°C, 350 °C, 400 °C, dan 450°C dengan lama waktu pembakaran 30 menit. Oksidator yang digunakan untuk mensintesis GO yaitu KMNO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan NaNO<sub>3</sub>. FTIR, XRD dan SEM merupakan alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi oksida grafena(GO) berbahan dasar limbah tongkol jagung ini.

Hasil pengujian menggunakan FTIR pada sampel GO menunjukkan terbentuknya material GO dimana sampel mengandung gugus fungsi yang mengandung ikatan antara karbon (C), Hidrogen (H) dan Oksigen (O), Hasil terbaik terdapat pada GO tongkol jagung suhu 300°C dimana pada suhu ini ukuran butir kristal yaitu 40,86931 nm lebih kecil dari pada tiga suhu lainnya yang mana semakin kecil ukuran butir maka semakin luas permukaan yang membuat superkapasitor yang dihasilkan semakin baik.

Kata kunci: Oksida Grafena, Struktur Mikro, Metode Hummer Modifikasi

# **Microstructure Analysis of Graphene Oxide Based on Corncobs Waste Synthesized with Modified Hummer Method**

**Istiqomah Wulan Sari**

## **ABSTRACT**

Corn cobs have a high content of carbon compounds which indicates that corn cobs have the potential as an ingredient for making activated charcoal. Corn cobs that have been processed into charcoal through the combustion process can be used as materials for the manufacture of nanotechnology, especially in the synthesis of graphene oxide (GO).

This study aims to analyze the microstructure of graphene oxide based on corncob waste synthesized by the Modified Hummer method. GO was synthesized using various combustion temperatures, namely 300°C, 350°C, 400°C, and 450°C with a burning time of 30 minutes. The oxidizing agents used to synthesize GO were KMNO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, and NaNO<sub>3</sub>. FTIR, XRD, and SEM are tools used to characterize graphene oxide based on corncob waste.

The test results using FTIR on GO samples show the formation of GO material where the sample contains functional groups containing bonds between carbon (C), Hydrogen (H), and Oxygen (O). The best XRD was obtained at GO 300°C where the smaller the crystal size, the larger the surface pores of the sample so that a better supercapacitor absorber was produced.

**Keywords:** Graphene Oxide, Microstructure, Hummer Modified Method

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT karena berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya akhirnya penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan judul Analisis Struktur Mikro Oksida Grafena Berbahan Dasar Limbah Tongkol Jagung yang Disintesis dengan Metode Hummer Modifikasi. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam memperoleh gelar sarjana sains pada program studi Fisika FMIPA UNP.

Pada saat melaksanakan penelitian ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan, dorongan, bimbingan pelajaran dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada:

1. Bapak Dr. Ramli, M.Si sebagai pembimbing skripsi yang telah memberikan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Drs. Gusnedi, M.Si sebagai penguji yang telah memberikan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Rahmat Hidayat, S.Pd, M.Si sebagai penguji yang telah memberikan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Dra. Hidayati, M.Si sebagai pembimbing akademik yang telah memberikan masukan serta bimbingan akademik selama perkuliahan menuju penulisan skripsi ini.
5. Ibu Prof. Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si selaku ketua Departemen Fisika FMIPA UNP.
6. Ibu Syafriani, M.Si, Ph.D selaku ketua prodi Departemen Fisika FMIPA UNP

7. Bapak, ibu staf pengajar, karyawan, dan laboratorium Departemen Fisika FMIPA UNP.

Semoga bimbingan dan motivasi yang telah diberikan menjadi amal bagi Bapak, Ibu mendapatkan balasan yang berlipat ganda dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan kelemahan. Untuk itu, penulis mengharapkan saran dalam penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca.

Skripsi ini merupakan bagian dari Penelitian Dasar Kompetitif Nasional tahun 2022 yang dibiayai oleh Direktorat Riset, Teknologi dan Pengabdian Masyarakat (DRTPM) Dirjen Dikti, Riset dan Teknologi, Kemeterian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi dengan ketua peneliti bapak Dr. Ramli, M.Si. Penulis menyampaikan penghargaan yang tinggi dan terimakasih kepada DRTPM Dirjen Dikti, Riset dan Teknologi, Kemeterian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah membiayai penelitian ini dengan nomor kontrak penelitian: 197/E5/PG.02.00.PT/2022.

Padang, Agustus 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                      |      |
|------------------------------------------------------|------|
| PERSETUJUAN SKRIPSI .....                            | i    |
| PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI .....                 | ii   |
| PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT .....                       | iii  |
| ABSTRAK.....                                         | iv   |
| ABSTRACT.....                                        | v    |
| KATA PENGANTAR .....                                 | vi   |
| DAFTAR ISI.....                                      | viii |
| DAFTAR GAMBAR .....                                  | x    |
| DAFTAR TABEL.....                                    | xii  |
| DAFTAR LAMPIRAN.....                                 | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN .....                              | 1    |
| A. Latar Belakang .....                              | 1    |
| B. Identifikasi Masalah .....                        | 7    |
| C. Rumusan Masalah .....                             | 7    |
| D. Batasan Masalah.....                              | 7    |
| E. Tujuan Penelitian.....                            | 8    |
| F. Manfaat Penelitian .....                          | 8    |
| BAB II TINJAUAN KEPUSTAKAAN .....                    | 9    |
| A. Grafena.....                                      | 9    |
| B. Oksida Grafena.....                               | 11   |
| C. Metode Sintesis Oksida Grafena.....               | 13   |
| D. Tongkol Jagung.....                               | 14   |
| E. Karbon.....                                       | 16   |
| F. Karbon Aktif .....                                | 18   |
| G. Struktur Mikro.....                               | 20   |
| H. Karakterisasi.....                                | 23   |
| 1. XRD(X-ray Diffraction).....                       | 23   |
| 2. FTIR (Fourier Transform Infra Red) .....          | 25   |
| 3. SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) ..... | 28   |
| I. Penelitian yang Relevan.....                      | 30   |
| BAB III METODE PENELITIAN.....                       | 31   |

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| A. Jenis Penelitian.....                                             | 31 |
| B. Tempat dan Waktu Penelitian .....                                 | 31 |
| C. Variabel Penelitian .....                                         | 31 |
| D. Prosedur Penelitian.....                                          | 32 |
| E. Teknik Pengumpulan Data .....                                     | 54 |
| F. Teknik Pengolahan Data .....                                      | 54 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....                                    | 56 |
| A. Deskripsi Data Hasil Penelitian .....                             | 56 |
| 1. Data Pengujian Oksida Grafena Menggunakan FTIR .....              | 56 |
| 2. Data Pengujian Oksida Grafena Menggunakan XRD.....                | 60 |
| 3. Data Pengujian Oksida Grafena Menggunakan SEM .....               | 64 |
| B. Analisis Data Hasil Penelitian .....                              | 66 |
| 1. Analisis Data Karakterisasi Oksida Grafena menggunakan FTIR ..... | 66 |
| 2. Analisis Data Karakterisasi Oksida Grafena Menggunakan XRD .....  | 67 |
| 3. Analisis Data Karakterisasi Oksida Grafena Menggunakan SEM .....  | 69 |
| C. Pembahasan .....                                                  | 72 |
| BAB V PENUTUP.....                                                   | 75 |
| A. Kesimpulan .....                                                  | 75 |
| B. Saran.....                                                        | 75 |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                                 | 76 |
| LAMPIRAN.....                                                        | 80 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1. Limbah tongkol jagung bercampur daun jagung.....                                                                 | 3  |
| Gambar 2. Struktur Grafena.....                                                                                            | 9  |
| Gambar 3.(a) 0D Molekul Fullerene, (b) 1D Carbon Nanotubes, dan (c) 3D Grafite disusun oleh Lapisan <i>Graphene</i> . .... | 9  |
| Gambar 4. Skema Pembuatan Grafena dari Grafite.....                                                                        | 11 |
| Gambar 5. Sintesis Graphene Oxide dengan Metode Modifikasi Hummers .....                                                   | 12 |
| Gambar 6. Jagung.....                                                                                                      | 14 |
| Gambar 7. Peta Sebaran Rata-Rata Produktivitas Jagung di Indonesia, 2020.....                                              | 15 |
| Gambar 8. Skema Hubungan Struktur dan Performans Produk.....                                                               | 20 |
| Gambar 9. Model sketsa yang diusulkan untuk GO. ....                                                                       | 23 |
| Gambar 10. Spektra XRD Oksida Grafena .....                                                                                | 24 |
| Gambar 11. Skema alat spektrofotometer FT-IR.....                                                                          | 26 |
| Gambar 12. Spektrum inframerah.....                                                                                        | 26 |
| Gambar 13. Spektrum FT-IR Oksida Grafena .....                                                                             | 28 |
| Gambar 14. gambar SEM dari NFG yang diterima .....                                                                         | 29 |
| Gambar 15. Mikrograf SEM dari GO disintesis oleh pemrosesan Hummers.....                                                   | 29 |
| Gambar 16. Nampan stainless.....                                                                                           | 33 |
| Gambar 17.Oven XU225 .....                                                                                                 | 34 |
| Gambar 18. Cawan Penguap .....                                                                                             | 34 |
| Gambar 19. Aluminium Foil .....                                                                                            | 35 |
| Gambar 20. Furnace HT40 AL .....                                                                                           | 35 |
| Gambar 21. Lumpang dan Alu.....                                                                                            | 36 |
| Gambar 22. Penyaringan 170 mesh .....                                                                                      | 36 |
| Gambar 23. Spatula.....                                                                                                    | 36 |
| Gambar 24. Cup Pudding .....                                                                                               | 37 |
| Gambar 25. Timbangan Digital.....                                                                                          | 37 |
| Gambar 26. Gelas Kimia.....                                                                                                | 38 |
| Gambar 27. Corong.....                                                                                                     | 38 |
| Gambar 28. Pipet Tetes .....                                                                                               | 38 |
| Gambar 29. Labu Alas Bundar.....                                                                                           | 39 |
| Gambar 30. Erlenmeyer .....                                                                                                | 39 |
| Gambar 31. Kondensor .....                                                                                                 | 40 |
| Gambar 32. Statif .....                                                                                                    | 40 |
| Gambar 33. Heating Mantle .....                                                                                            | 40 |
| Gambar 34. Selang.....                                                                                                     | 41 |
| Gambar 35. Kertas Saring.....                                                                                              | 41 |
| Gambar 36. Kaca Arloji .....                                                                                               | 42 |
| Gambar 37. Hot Plate.....                                                                                                  | 42 |
| Gambar 38. Magnetic stirrer.....                                                                                           | 42 |
| Gambar 39. Lemari Asam .....                                                                                               | 43 |

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 40. Alat Sonifikasi.....                                                                   | 43 |
| Gambar 41. Tabung Centrifuge.....                                                                 | 44 |
| Gambar 42. Centrifuge.....                                                                        | 44 |
| Gambar 43. XRD .....                                                                              | 45 |
| Gambar 44. FTIR .....                                                                             | 45 |
| Gambar 45. SEM.....                                                                               | 46 |
| Gambar 46. Diagram Alir Penelitian .....                                                          | 53 |
| Gambar 47. Spectrum FTIR 300°C .....                                                              | 57 |
| Gambar 48. Spectrum FTIR 350°C .....                                                              | 58 |
| Gambar 49. Spectrum FTIR 400°C .....                                                              | 59 |
| Gambar 50. Spectrum FTIR 450°C .....                                                              | 60 |
| Gambar 51. Grafik pengukuran GO 300 °C menggunakan XRD .....                                      | 61 |
| Gambar 52. Grafik pengukuran GO 350 °C menggunakan XRD .....                                      | 62 |
| Gambar 53. Grafik pengukuran GO 400 °C menggunakan XRD .....                                      | 63 |
| Gambar 54. Grafik pengukuran GO 450 °C menggunakan XRD .....                                      | 63 |
| Gambar 55. Hasil uji SEM GO 300°C perbesaran (a)1000x dan (b)10.000x .....                        | 65 |
| Gambar 56. Hasil uji SEM GO 350°C perbesaran (a)1000x dan (b)10.000x .....                        | 65 |
| Gambar 57. Hasil uji SEM GO 400°C perbesaran (a)1000x dan (b)10.000x .....                        | 65 |
| Gambar 58. Hasil uji SEM GO 450°C perbesaran (a)1000x dan (b)10.000x .....                        | 65 |
| Gambar 59. Data Hasil FTIR GO dengan Variasi Suhu. ....                                           | 66 |
| Gambar 60. Data Hasil XRD GO dengan Variasi Suhu. ....                                            | 67 |
| Gambar 61. Karakterisasi SEM GO 300 <sup>0</sup> (a) sebelum threshold (b) setelah threshold..... | 70 |
| Gambar 62. Karakterisasi SEM GO 350 <sup>0</sup> (a) sebelum threshold (b) setelah threshold..... | 70 |
| Gambar 63. Karakterisasi SEM GO 400 <sup>0</sup> (a) sebelum threshold (b) setelah threshold..... | 70 |
| Gambar 64. Karakterisasi SEM GO 450 <sup>0</sup> (a) sebelum threshold (b) setelah threshold..... | 71 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1. Kandungan arang tongkol Jagung.....                       | 4  |
| Tabel 2. Metode Sintesis untuk Grafit Oksida .....                 | 4  |
| Tabel 3. Daftar bilangan gelombang dari berbagai jenis ikatan..... | 27 |
| Tabel 4. Penelitian relevan .....                                  | 30 |
| Tabel 5. Hasil pengujian GO 300 °C menggunakan XRD .....           | 61 |
| Tabel 6. Hasil pengujian GO 350 °C menggunakan XRD .....           | 62 |
| Tabel 7. Hasil pengujian GO 400 °C menggunakan XRD .....           | 63 |
| Tabel 8. Hasil pengujian GO 450 °C menggunakan XRD .....           | 64 |
| Tabel 9. Perbandingan hasil XRD dengan data JCPDS atom C. ....     | 69 |
| Tabel 10. Ukuran Kristal dan Strain Mikro .....                    | 69 |
| Tabel 11. Ukuran butir rata-rata GO .....                          | 72 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian .....                                      | 80 |
| Lampiran 2. Data hasil FTIR GO 300°C .....                                    | 81 |
| Lampiran 3. Lampiran 2. Data hasil FTIR GO 350°C .....                        | 82 |
| Lampiran 4. Data hasil FTIR GO 400°C .....                                    | 83 |
| Lampiran 5. Data hasil FTIR GO 450°C .....                                    | 84 |
| Lampiran 6. Data base hasil XRD oksida grafena 300°C .....                    | 85 |
| Lampiran 7. Data base hasil XRD oksida grafena 350°C .....                    | 87 |
| Lampiran 8. Data base hasil XRD oksida grafena 400°C .....                    | 89 |
| Lampiran 9. Data base hasil XRD oksida grafena 450°C .....                    | 91 |
| Lampiran 10. Data Pengolahan XRD Suhu 300 <sup>0</sup> C .....                | 93 |
| Lampiran 11. Data Pengolahan XRD Suhu 350 <sup>0</sup> C .....                | 93 |
| Lampiran 12. Data Pengolahan XRD Suhu 400 <sup>0</sup> C .....                | 94 |
| Lampiran 13. Data Pengolahan XRD Suhu 450 <sup>0</sup> C .....                | 94 |
| Lampiran 14. Cara Analisis Ukuran Partikel Pengujian SEM oksida grafena ..... | 95 |

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Grafena merupakan salah satu keluarga unsur karbon, yang ditemukan oleh A. K. Geim dan K. S. Novoselov pada tahun 2004 (Suwandana, 2015). Grafena adalah material nano berbasis karbon terbaru yang memiliki potensi aplikasi yang sangat luas( Darminto,2018:35). Grafena dianggap sebagai kristal tertipis yang memiliki konduktivitas termal yang baik dan mobilitas elektron yang tinggi yang dengan cepat menjadi primadona dalam berbagai aplikasi seperti perangkat optoelektronik , sensor, biomaterial dan, bahan baju besi, rokok, dll(Geim, 2009). Namun dalam proses sintesisnya, grafena memerlukan biaya yang tinggi(Novoselov dkk, 2004).

Dalam hal ini, untuk produksi massal yang hemat biaya dan lancar dari graphene, kimia karbon yang dapat disesuaikan menawarkan pengganti yang menjanjikan. Baru-baru ini, produksi graphene oxide (GO) telah menarik perhatian besar sebagai perantara yang menjanjikan untuk pembuatan graphene dalam jumlah besar (Kovtyukhova, 1999). Dibandingkan dengan graphene (G), graphene oxide (GO) memiliki keunggulan biaya produksi yang rendah, produksi skala besar, dan pemrosesan yang mudah(Yu et al, 2020). Sejumlah atom oksigen (O) dapat disisipkan ke dalam ikatan – ikatan karbon guna membentuk senyawa oksida grafena (Graphene Oxide, GO) (Darminto, 2018: 1). Oksida Grafena adalah monolayer oksida grafit, yang dapat diperoleh dengan pengelupasan grafit oksida(Suwandana, 2015). Oksida grafena (GO), yang dihasilkan oleh oksidasi

grafit dalam kondisi asam, lebih umum digunakan, karena menawarkan beberapa keuntungan dibandingkan menggunakan grafena murni( Darminto,2018:41). GO dapat diproduksi dalam jumlah yang diinginkan lebih cepat dan dengan biaya rendah. GO memiliki struktur 2D sebagai graphene, tetapi lapisan tunggal atom karbon berfungsi secara kovalen dengan gugus yang mengandung oksigen (hidroksil, epoksida, karbonil, dll.). Gugus fungsi ini memungkinkan GO untuk diproses dengan mudah dalam dispersi dan memberikannya stabilitas koloid yang tinggi dalam air dan seperangkat sifat mekanik, koloid atau optik yang unik.

Dengan keanekaragaman (biodiversity) hayati yang tinggi, Indonesia dapat dipandang sebagai sumber senyawa karbon yang sangat kaya bersumber dari khasanah floranya. Dengan metoda yang dapat dikembangkan berbasis teknologi tepat - guna, akan dihasilkan senyawa karbon yang lebih ramah lingkungan dan dapat diperbarui (green carbon) ( Darminto,2018:3).

Pada penelitian ini, penulis akan menggunakan limbah tongkol jagung sebagai bahan dasar pembuatan oksida grafena. Jagung merupakan salah satu jenis tanaman pangan biji-bijian dari keluarga rumput-rumputan dan merupakan tanaman semusim. Produksi jagung di Indonesia setiap tahunnya menunjukkan peningkatan(Bete,2019). Jika dalam 1 ha dapat ditanami jagung sebanyak 250.000 batang dengan jarak tanam 20 cm x 20 cm dan dalam satu batang jagung dapat menghasilkan maksimal 2 buah jagung, maka dalam sekali panen 1 ha dapat menghasilkan 500.000 tongkol jagung (Indariani, 2018).

Meningkatnya produksi limbah tongkol jagung di Indonesia belum dimanfaatkan secara optimal. Pemanfaatan limbah tongkol jagung hanya sebatas digunakan sebagai pakan ternak dan banyak yang terbuang percuma sehingga

berpotensi meningkatkan pencemaran lingkungan(Bete,2019). Gambar 1 menunjukkan limbah tongkol jagung bercampur daun jagung yang akan dibakar dilokasi pengambilan sampel tepatnya di Lubuk Minturun, Kecamatan Koto Tangah, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat.



Gambar 1. Limbah tongkol jagung bercampur daun jagung.  
Sumber : Dokumentasi penulis

Tongkol jagung memiliki kandungan senyawa karbon yang cukup tinggi, yaitu lignin (6%), selulosa (41%) dan hemiselulosa (36%) yang cukup tinggi yang mengindikasikan bahwa tongkol jagung berpotensi sebagai bahan pembuat arang aktif (Amiruddin, 2016). Arang aktif dapat dibuat dari bahan yang mengandung karbon, baik bahan organik maupun anorganik. Beberapa bahan baku yang dapat digunakan antara lain : kayu, tempurung kelapa, limbah batu bara, limbah pengolahan kayu dan limbah pertanian seperti kulit buah kopi, kulit buah coklat, sekam padi, jerami, tongkol dan pelepah jagung. Seiring dengan perkembangan IPTEK tongkol jagung yang telah diproses menjadi arang melalui proses pembakaran dapat dimanfaatkan sebagai bahan untuk pembuatan nanoteknologi khususnya dalam mensistesis Oksida grafena (GO) (Bete,2019). Berikut merupakan tabel kandungan arang tongkol jagung.

Tabel 1. Kandungan arang tongkol Jagung

| Komponen     | %     |
|--------------|-------|
| Air          | 9.6   |
| Abu          | 1.5   |
| Hemiselulosa | 36.0  |
| Selulosa     | 41.0  |
| Lignin       | 6.0   |
| Pektin       | 3.0   |
| Pati         | 0.014 |

Sumber: Hidayati, 2016

Metode yang umum digunakan untuk mensintesis oksida grafena (oksida Grafit) yaitu metode Hummer dan Hummer Modifikasi dengan penekanaan khusus pada sifat oksidan, toksisitas dan keuntungan atau kerugian utama dari setiap pendekatan. Tujuan utama dari peningkatan metode adalah untuk mengoptimalkan sintesis oksida grafit, dengan tujuan akhir untuk mengurangi waktu reaksi dan jumlah reagen kimia yang dibutuhkan dalam sintesis. Akibatnya optimasi, penurunan yang signifikan dari biaya produksi yang terkait dengan sintesis diamati. Selain itu, penilaian ekonomi skala industri proses tersebut dipelajari untuk mengetahui viabilitas sintesis grafit oksida. Berikut merupakan tabel perbedaan utama metode Hummer dan Hummer Modifikasi.

Tabel 2. Metode Sintesis untuk Grafit Oksida

| Metode     | Hummer                                                                                                                                        | Hummer Modifikasi                                                                                            |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Oksidator  | KMnO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , NaNO <sub>3</sub>                                                                        | KMnO <sub>4</sub> (meningkat), H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , NaNO <sub>3</sub> (menurun)                  |
| Toksisitas | NO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                                                                                               | Tidak (NO <sub>x</sub> dilepaskan)                                                                           |
| Residu     | Na <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                                                                                                | -                                                                                                            |
| Keuntungan | Derajat oksidasi lebih tinggi                                                                                                                 | Peningkatan tingkat oksidasi dan kinerja produk.                                                             |
| Kekurangan | Masih dianggap oksidasi tidak sempurna.<br>Proses pemisahan dan pemurnian adalah proses yang membosankan.<br>Proses yang sangat memakan waktu | -<br><br>Proses pemisahan dan pemurnian adalah proses yang membosankan.<br>Proses yang sangat memakan waktu. |

(Lavin et al, 2016 dan Alam, 2017)

Upaya telah dilakukan untuk mensintesis GO yang memiliki beberapa lapisan dengan menggunakan metode Hummers modifikasi di mana jumlah  $\text{NaNO}_3$  telah menurun, dan jumlah  $\text{KMnO}_4$  meningkat. Reaksi telah dilakukan dalam campuran 9:1 (berdasarkan volume)  $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_3\text{PO}_4$ . Modifikasi ini berhasil meningkatkan hasil reaksi dan mengurangi evolusi gas beracun saat menggunakan variasi proporsi  $\text{KMnO}_4$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  seperti yang dibutuhkan oleh metode Hummers(Alam, 2017).

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Bete et al tahun 2019 dengan judul Kajian Awal Sifat Optik Graphene Oxide Berbahan Dasar Arang Tongkol Jagung yang Disintesis dengan Metode Liquid Phase Exfoliation (LPE). dimana graphene akan diperoleh dalam bentuk larutan. Metode yang digunakan dalam sintesis material GO pada penelitian ini adalah metode Liquid Phase Exfoliation (LPE). Metode LPE adalah metode sintesis graphene dalam fase cair menggunakan surfaktan yang dilakukan dengan mencampur serbuk graphite ke dalam larutan surfaktan anionik (fungsi pembersih) dan didiamkan selama satu malam agar didapatkan material graphene. Sintesis graphene menggunakan metode Liquid Phase Exfoliation (LPE) dengan sonikasi dalam skala besar biasanya terhambat karena konsentrasi graphene yang dihasilkan rendah dan konsumsi energi yang tinggi selama proses produksi (Xu et al, 2018).

Pengaplikasian GO diantaranya meliputi sel surya, sensor, superkapasitor, generasi neuron, migrasi seluler, pengantar obat, membran, gel multifungsi, pemurnian air, dan masih banyak lagi(Geim, 2009).

Berikut merupakan beberapa pengaplikasian oksida grafena di bidang biomedis.

1. Pengiriman gen adalah metode memasukkan DNA asing ke dalam sel. Ini adalah pendekatan alternatif untuk menyembuhkan berbagai penyakit genetik. GO yang dimodifikasi digunakan untuk tujuan pengiriman gen(Feng, 2011).

2. Penghantaran obat molekul kecil, Kehadiran enzim proteolitik yang ada di sitoplasma sering mengganggu proses penghantaran obat. GO digunakan dalam kasus pengiriman gen dan obat yang efektif bertindak sebagai pembawa(Goenka, 2014).

3. Pengobatan kanker, GO membatasi pembentukan tumor sphere secara efektif di berbagai lini sel yang mencakup kanker ovarium, pankreas, payudara, paru-paru, dan glioblastoma(Michaud, 2011).

4. Implantasi biomedis, pelapisan dengan GO yang dimodifikasi menawarkan ketahanan terhadap korosi dan juga memungkinkan untuk meningkatkan modul elastis lapisan Hidrosiapatit (HAp) dan ketangguhan retak(Liu, 2013).

Pengaplikasian GO diatas hanyalah sebagian kecil dari begitu banyak pengaplikasian dan keunggulannya. Pengembangan aplikasi GO masih terus diteliti sampai saat ini. Hal ini berhubungan erat dengan sifat – sifat GO yang unik dan luar biasa. Kebanyakan sifat makroskopik dari material berhubungan dengan mikrostruktur. Dengan menguji dan mengamati mikrostruktur suatu material, maka performa material tersebut dapat dilihat. Hal ini juga berlaku untuk oksida grafena.

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul **“Analisis Struktur Mikro Oksida Grafena**

## **Berbahan Dasar Limbah Tongkol Jagung yang Disintesis dengan Metode Hummer Modifikasi”.**

### **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut dapat diidentifikasi beberapa masalah yaitu:

1. Oksida grafena dari limbah biomassa sudah banyak dilakukan salah satunya limbah tempurung kelapa, untuk tongkol jagung masih sedikit yang meneliti.
2. Oksida grafena dari tongkol jagung sebelumnya telah dibuat menggunakan Metode Liquid Phase Exfoliation (LPE) yang masih memiliki kekurangan yaitu konsentrasi GO yang dihasilkan rendah.
3. Struktur mikro dari oksida grafena akan menentukan keunggulan oksida grafena . Oleh karena itu perlu dilakukan analisis terhadap mikro struktur oksida grafena.

### **C. Rumusan Masalah**

Berdasarkan identifikasi masalah di atas dapat diambil suatu rumusan masalah penelitian yaitu:

Bagaimana struktur mikro oksida grafena berbahan dasar limbah tongkol jagung yang disintesis dengan metode Hummer Modifikasi ?

### **D. Batasan Masalah**

Pada penelitian ini penulis membatasi permasalahan yang akan dibahas sebagai berikut:

1. Tongkol jagung yang digunakan adalah tongkol jagung pipil.

2. Variasi suhu pembakaran yang digunakan adalah 300°C, 350 °C, 400 °C, dan 450 °C.
3. Struktur mikro yang dijadikan analisis oksida grafena adalah ukuran partikel.

#### **E. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

Menganalisis struktur mikro oksida grafena berbahan dasar limbah tongkol jagung yang disintesis dengan metode Hummer Modifikasi.

#### **F. Manfaat Penelitian**

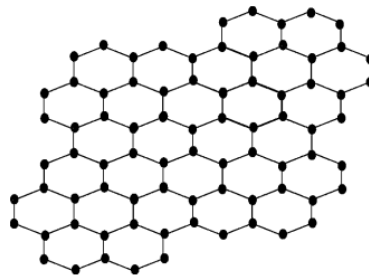
Adapun Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai salah satu syarat bagi peneliti untuk menyelesaikan strata satu di Departemen Fisika FMIPA UNP.
2. Meningkatkan pemahaman ilmu fisika material dan biofisika yang berkaitan dengan preparasi serta karakterisasi sifat struktur mikro oksida grafena berbahan dasar limbah tongkol jagung.
4. Sebagai penelitian lanjutan yang dapat dimanfaatkan untuk kemajuan teknologi.

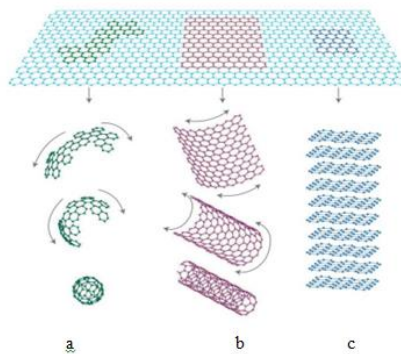
## BAB II TINJAUAN KEPUSTAKAAN

### A. Grafena

Grafena (Graphene) merupakan material dua dimensi monoatomik dari satu lapis grafit yang ditemukan pada tahun 2004 oleh Andre K. Geim dan Konstantin Novoselov. Nama grafena berasal dari GRAPHITE + -ENE ; grafit terdiri dari banyak lembaran grafena yang ditumpuk secara bersama. (Carlsson,J.M . 2007). Model struktur grafena dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Struktur Grafena  
Sumber : Sibarani,2018.



Gambar 3.(a) 0D Molekul Fullerene, (b) 1D Carbon Nanotubes, dan (c) 3D Grafit disusun oleh Lapisan *Graphene*.  
Sumber: Sumber: Yu et al. 2020

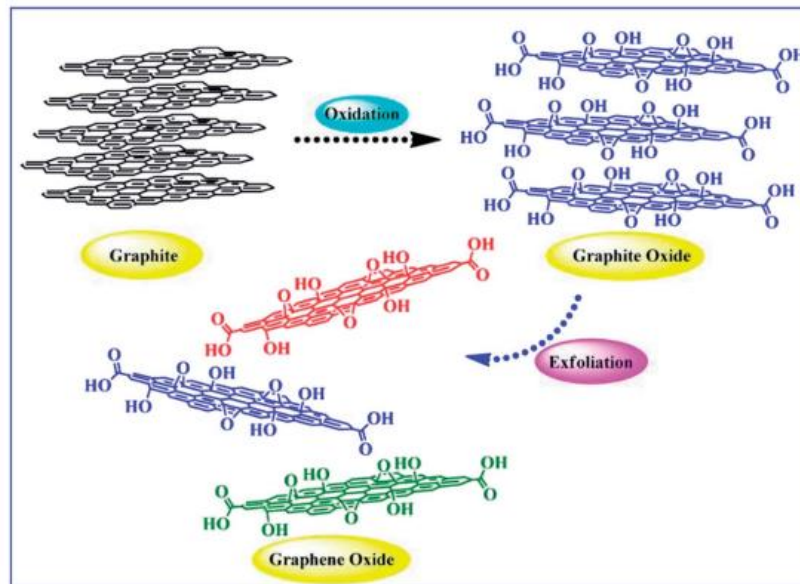
Grafena telah menarik banyak perhatian dalam beberapa tahun terakhir karena sifatnya yang unik dan berbagai aplikasi. Bahan ini dapat digambarkan

sebagai lembaran atom karbon dua dimensi dengan struktur sarang lebah(Lavin, et al, 2016). Grafena, lembaran atom-atom karbon sp<sup>2</sup>-terhibridisasi tersusun secara heksagonal, memicu sifat listriknya yang luar biasa karena mobilitas elektroniknya yang tinggi, kemampuan mekanik yang luar biasa, dan karakteristik optik yang unik. Grafena adalah konduktor yang sangat tipis, secara mekanis sangat kuat, transparan, dan mudah terbakar. Grafena sebagai konduktor transparan dapat digunakan dalam aplikasi seperti layar sentuh, panel cahaya, dan sel surya, di mana ia dapat menggantikan kaca oksida indium (ITO) yang mahal ( Darminto,2018:36).

Luas permukaan grafena jauh lebih besar dari carbon black atau carbon nanotubes. Pada sisi optis, grafena memiliki sifat yang unik dan luar biasa dimana dapat mentransmisikan cahaya hingga >97,7%. Nilai konduktivitas listrik dan panas grafena lebih besar jika dibandingkan dengan konduktivitas tembaga, konduktivitas panas grafena mencapai 10 kali dibandingkan dengan tembaga. Grafena memiliki nilai modulus young yang mencapai 1000 Gpa dengan rapat massa yang empat kali lebih kecil jika dibandingkan dengan tembaga. Grafena memiliki kekuatan 100 kali dibandingkan dengan baja dan grafena bersifat fleksibel. (Ray, 2015).

Grafena tidak hanya lebih ringan, lebih kuat, lebih keras, dan lebih fleksibel daripada baja, namun juga merupakan produk yang dapat didaur ulang dan berkelanjutan serta ramah lingkungan dan hemat biaya. Hal ini akan memungkinkan pengembangan mobil dan pesawat yang lebih ringan dan kuat yang menggunakan lebih sedikit bahan bakar. Perusahaan luar angkasa besar

seperti *Boeing* sudah mulai mengganti logam dengan serat karbon dan bahan berbasis karbon lainnya( Darminto,2018:36).

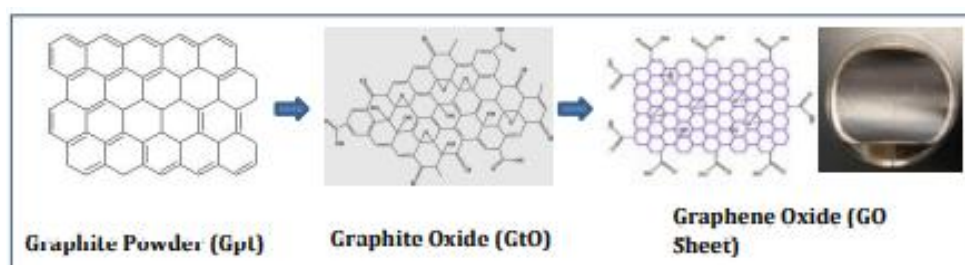


Gambar 4. Skema Pembuatan Grafena dari Grafit  
Sumber: Yu et al. 2020

## B. Oksida Grafena

Oksida grafena(GO) atau biasa disebut oksida grafit atau asam grafitik, adalah sebuah senyawa campuran karbon, hidrogen, dan oksigen yang diperoleh melalui proses oksidasi yang kuat dari grafit(Harahap,2018). Graphene oxide (GO) merupakan senyawa turunan graphene yang memiliki karakteristik dan struktur yang mirip dengan graphene. Perbedaannya pada graphene struktur yang terbentuk planar, sedangkan pada GO terdapat lengkungan karena hadirnya gugus oksigen dalam bentuk karboksil dan karbonil di dalamnya. GO tersusun oleh lapisan tunggal yang berisikan oksigen yang tinggi dari pada graphene, dengan perbandingan atom C/O kurang dari 3,0 dan mendekati 2,0. Struktur GO secara sederhana diasumsikan sebagai lembaran graphene yang terikat dengan oksigen dalam bentuk karboksil, hidroksil, atau kelompok epoksi (Rohman,2018)

Graphene Oxide (GO) memiliki luas permukaan yang tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai bahan elektroda untuk baterai, superkapasitor dan solar cell. Pada superkapasitor, elektroda yang dipakai berbasis material karbon dan ketebalan bahan dielektrik dibuat jauh lebih tipis sehingga menurunkan jarak antara elektroda. Efek kapasitansi superkapasitor muncul akibat dua lapisan substrat karbon yang terpisah pada jarak yang sangat kecil yaitu skala nanometer. Luas permukaan elektroda dapat diperbesar karena jarak antarpelat pada superkapasitor berada pada skala nanometer, sehingga didapat suatu kapasitansi yang besar untuk ukuran divais yang sama dengan kapasitor konvensional (Nugroho, 2011). Graphene Oxide lebih murah dan lebih mudah untuk diproduksi daripada graphene, sehingga dapat memasuki produksi massal dan digunakan lebih cepat. GO dapat dengan mudah dicampur dengan berbagai polimer dan bahan lain, dan meningkatkan sifat bahan komposit seperti kekuatan tarik, elastisitas, konduktivitas, dan lainnya. GO adalah fluorescent, yang membuatnya sangat sesuai untuk berbagai aplikasi medis, bio-sensing dan deteksi penyakit, pembawa obat dan bahan antibakteri hanyalah beberapa kemungkinan yang dimiliki GO untuk bidang biomedis (Purwoko, 2020).



Gambar 5. Sintesis Graphene Oxide dengan Metode Modifikasi Hummers  
Sumber: (Purwoko, 2020).

### C. Metode Sintesis Oksida Grafena

Oksida grafena pertama diperkenalkan oleh kimiawan Oxford, Benjamin C. Brodie pada tahun 1859, dengan memperlakukan grafit dengan campuran kalium klorat dan asam nitrat. Sejak itu, oksida grafena menjadi populer di kalangan peneliti karena menarik dalam sifat unik dari oksida grafena. Karena keterbatasan data, penelitian tentang grafit oksida masih terus dilakukan oleh para peneliti di seluruh dunia.

Pada metode Brodie, perbandingan 1:3 grafit dan kalium klorat ( $\text{KClO}_3$ ) dicampur dan direaksikan dengan asam nitrat berasap ( $\text{HNO}_3$ ) dalam 3 atau 4 hari dengan  $60^\circ\text{C}$ . Pada tahun 1898, L. Staundenmaier meningkatkan karya Metode Brodie dengan menukar dua sepertiga dari  $\text{HNO}_3$  yang berasap menjadi asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dan menggunakan beberapa bagian  $\text{KClO}_3$  reaksi terjadi. Namun, hal itu menimbulkan bahaya karena penambahan  $\text{KClO}_3$  yang menyebabkan ledakan lanjutan dan membutuhkan waktu empat hari untuk reaksi ini. Setelah 40 tahun, L. Staundenmaier menemukan metode baru, yang menjadi lebih praktis dan sederhana. Karena tidak perlu mengulang 4 kali proses oksidasi.

Setelah itu, ahli kimia Hummer dan Offeman memperkenalkan metode mereka yang saat ini sering digunakan oleh para peneliti untuk menghasilkan oksida grafit pada tahun 1958. Dalam metode ini, 100g bubuk grafit, 50g natrium nitrat ( $\text{NaNO}_3$ ), Asam Sulfat 2,3 liter dan Kalium Permanganat 300g ( $\text{KMnO}_4$ ) digunakan dalam proses oksidasi. Dalam metode hummer,  $\text{KMnO}_4$  digunakan untuk menggantikan  $\text{KClO}_3$  untuk menghindari ledakan spontan selama proses oksidasi sementara  $\text{NaNO}_3$  menggantikan  $\text{HNO}_3$  yang berasap ke menghilangkan asam kabut yang dihasilkan. Proses ini hanya membutuhkan waktu beberapa jam

untuk menghasilkan GO berkualitas tinggi. Selain itu, Metode Hummer menghasilkan lebih banyak oksigen daripada metode Brodie. Namun, metode hummer rmasih memiliki kekurangan, yaitu menghasilkan gas beracun seperti  $\text{NO}_2$ .

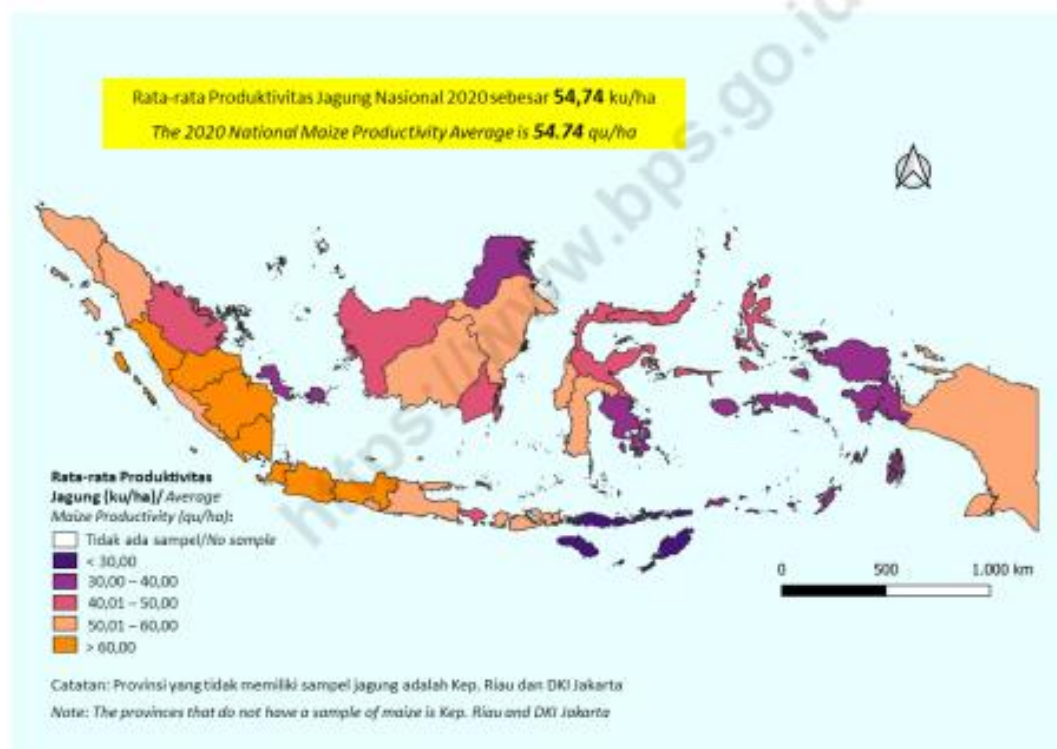
Hummer dan Offman mengembangkan proses yang lebih aman, lebih cepat, dan lebih efisien, dengan menggunakan campuran Asam Sulfat  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , Natrium Nitrat ( $\text{NaNO}_3$ ), dan Kalium Permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ), yang sampai saat ini masih tetap digunakan. Metode ini dinamakan metode Hummer modifikasi (Hirata et al, 2004).

#### **D. Tongkol Jagung**

Jagung (*Zea mays* L.) merupakan salah satu tanaman pangan dunia yang terpenting, selain gandum dan padi. Tanaman jagung merupakan salah satu jenis tanaman pangan biji-bijian dari keluarga rumput-rumputan. Berasal dari Amerika yang tersebar ke Asia dan Afrika melalui kegiatan bisnis orang-orang Eropa ke Amerika. Sekitar abad ke-16 orang Portugal menyebarkanluaskannya ke Asia termasuk Indonesia. Orang Belanda menamakannya mais dan orang Inggris menamakannya corn. Pada varietas tertentu tanaman jagung memiliki tinggi kurang dari 60 cm dan tipe yang lain dapat mencapai 6 m atau lebih saat dewasa (Hambali,et,all,2007).



Gambar 6. Jagung  
Sumber: Abdullah, 2015



Gambar 7. Peta Sebaran Rata-Rata Produktivitas Jagung di Indonesia, 2020  
Sumber: (BPS RI, 2021).

Gambar 7 menunjukkan peta sebaran rata-rata produktivitas jagung di seluruh provinsi di Indonesia. Jika dilihat berdasarkan sebaran provinsi, sebagian Pulau Jawa, dan sebagian Pulau Sumatera, memiliki produktivitas jagung di atas 60 ku/ha, yaitu Provinsi Jawa Barat, Jawa Tengah, Banten, Sumatera Barat, Jambi, Sumatera Selatan, dan Lampung (BPS RI, 2021).

Tongkol jagung merupakan salah satu limbah biomassa yang menarik diteliti sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif karena merupakan bagian terbesar dari limbah jagung. Tanaman jagung juga termasuk tanaman multifungsi sekaligus komoditi tanaman pangan kedua terpenting setelah padi. Berdasarkan urutan bahan makanan pokok di dunia, jagung menduduki urutan ketiga setelah gandum dan padi (Ilato, R. et al, 2014). Sekitar 40-50% dari berat jagung merupakan tongkol jagung yang beratnya dipengaruhi oleh varietasnya (Richana,

et al ,2004., Wungkana, et al ,2013).Selain itu, kandungan tongkol jagung sebagian besar tersusun atas lignoselulosa yaitu: Lignin (6%), selulosa (41%), dan hemiselulosa (36%), yang mengindikasikan bahwa tongkol jagung berpotensi sebagai bahan karbon aktif (Laurentz, et al ,1991).

Berdasarkan informasi yang diperoleh dari pekerja perkebunan jagung pipil di Lubuk Minturun, Kecamatan Koto Tangah, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat, biasanya tongkol jagung hanya digunakan sebagai pakan ternak. Sehingga masih banyak tongkol jagung yang tidak dapat dimanfaatkan dan berakhir menjadi limbah yang nantinya di bakar begitu saja. Apabila tidak diolah dengan baik, maka tumpukan limbah dapat mencemari lingkungan karena belum terdegradasi.

Pada dasarnya limbah tongkol jagung melimpah tetapi tidak termanfaatkan dengan optimal.Timbul gagasan untuk memanfaatkannya supaya mempunyai nilai lebih.. Adapun alasan pemilihan tongkol jagung sebagai bahan utama dikarenakan jumlahnya yang sangat melimpah dan tidak optimal dalam pemanfaatannya bahkan bisa dikatakan tidak terpakai (limbah). Tongkol jagung mengandung serat kasar yang cukup tinggi yakni 33%, kandungan selulosa sekitar 44,9% dan kandungan lignin sekitar 33,3% yang memungkinkan tongkol jagung dijadikan bahan baku oksida grafena (Marliani et. al., 2010).

#### **E. Karbon**

Karbon merupakan unsur yang unik karena begitu banyak senyawa yang dapat dibentuknya dan keragaman strukturnya. Dalam tabel periodik unsur karbon memiliki simbol C dengan nomor atom 6 dan terletak pada golongan IVA atau 14 , periode 2 dan termasuk blok p. Konfigurasi elektron atom karbon adalah  $1s^2$

$2s^2 2p^2$  atau  $[\text{He}] 2s^2 2p^2$  dengan susunan elektron dalam kulit atomnya adalah 2,4. Berdasarkan konfigurasi elektronnya diketahui bahwa karbon memiliki 4 elektron valensi. Empat elektron valensi karbon ini dapat digunakan untuk membentuk ikatan kovalen dengan atom lain maupun dengan atom karbon yang lain. (Ratna khairunisa, 2008). Karbon (C) merupakan salah satu unsur organik dasar selain Hidrogen (H), Nitrogen (N) dan Oksigen (O) yang merupakan unsur utama yang terkandung dalam biomassa (Darminto, 2018:49).

#### 1) Sifat Fisika

Fasa pada suhu kamar : padat

Bentuk kristalin : intan dan grafit

Massa jenis :  $2,267 \text{ g/cm}^3$  (grafit) dan  $3,513 \text{ g/cm}^3$  (diamon)

Titik leleh : 4300-4700 K

Titik didih : 4000 K

Densitas :  $2,267 \text{ g/cm}^3$  (grafit)  $3,515 \text{ g/cm}^3$  (diamon)

Kalor lebur :  $100 \text{ kJ/mol}$  (grafit) dan  $120 \text{ kJ/mol}$  (diamon)

Kalor uap :  $355,8 \text{ kJ/mol}$

Kalor jenis :  $8,517 \text{ J/molK}$  (grafit)

#### 2) Sifat Kimia

Bilangan oksidasi : 4,3,2,1,0,-1,-2,-3,-4

Elektronegatifitas : 2,55 (skala Pauli)

Energi ionisasi :  $1086 \text{ kJ/mol}$

Energi ionisasi ke-2 :  $2352,6 \text{ kJ/mol}$

Energi ionisasi ke-3 :  $4620,5 \text{ kJ/mol}$

Jari-jari atom : 70 pm

Jari-jari kovalen : 77 pm

Jari-jari Vander Waals : 170 pm

Konduktifitas termal : 119-165 (grafit) 900-2300 (diamon) W/mK

Struktur Kristal : heksagonal

Keistimewaan karbon yang unik adalah kecenderungannya secara alamiah untuk mengikat dirinya dalam rantai-rantai atau cincin-cincin, tidak hanya dengan ikatan tunggal C-C, tetapi juga mengandung ikatan ganda C=C, serta rangkap tiga C≡C, akibatnya jenis senyawa karbon luar biasa banyaknya. Kini diperkirakan terdapat sekitar dua juta jenis senyawa karbon, dan jumlah itu makin meningkat dengan laju kira-kira lima persen per tahun. Alasan bagi kestabilan termal rantai-rantai karbon adalah kekuatan yang tinggi dari ikatan tunggal C-C. (Keenan, 1984).

#### **F. Karbon Aktif**

Karbon aktif merupakan salah satu jenis karbon amorf yang tersusun paralel berbentuk cincin heksagonal menyerupai struktur grafit. Sifat fisika dari karbon aktif terutama ditentukan oleh ukuran pori dan luas permukaannya. Karbon aktif mempunyai luas permukaan yang cukup tinggi, yaitu berkisar antara 500-1500 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> dan volume pori berkisar antara 0,7-1,8 cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup> (Cecen dan Aktas, 2012).

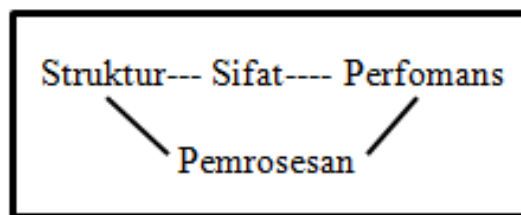
Dengan mempertimbangkan sifat dan strukturnya, karbon aktif ditempatkan ke dalam kategori karbon amorf. Karbon aktif diyakini sebagai bentuk karbon yang paling populer dan dapat diproduksi dari sumber bahan-bahan alami yang mengandung unsur karbon. Secara kimiawi, karbon aktif adalah karbon yang telah ditingkatkan porositasnya yang berukuran mikron.

Fungsi permukaan pada karbon aktif menghasilkan bahan yang aktif dalam penyerapan unsur-unsur kimia tertentu. Hal ini dikarenakan karbon aktif memiliki area permukaan spesifik yang tinggi (rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi), yang pada gilirannya membuatnya sangat berguna sebagai bahan penyerap. Oleh karena itu, karbon aktif biasanya digunakan sebagai adsorben dari kasus keracunan, mengurangi tingkat kolesterol, dan banyak aplikasi berguna lainnya.

Sejarah telah mencatat, pada abad sebelumnya, karbon aktif terutama digunakan untuk pemurnian air. Pada tahun 1950, penemuan serat karbon telah mengubah sejarah karena sifat barunya yang ringan dan kuat. Secara konvensional, karbon aktif sebagian besar diproduksi dari prekursor biomassa seperti bahan lignocellulic. Prosedur produksi biasanya memerlukan proses anil bahan baku di bawah kondisi atmosfer oksigen rendah untuk menghasilkan permukaan karbonasi. Untuk lebih meningkatkan permukaan spesifik material, proses selanjutnya adalah proses aktivasi melalui oksidasi kimia atau perlakuan termal. Perlu dicatat bahwa tidak semua karbon yang diaktifkan dengan metode yang sama akan memiliki sifat fisik dan kimia yang sama. Banyak faktor seperti variasi pada materi awal, metode pengaktifan dan kondisi operasional yang berbeda dapat menghasilkan material karbon aktif dengan sejumlah sifat dan luas permukaan dalam rentang yang luas. Sifat ini diyakini langsung dipengaruhi oleh distribusi ukuran pori di permukaan yang diaktifkan dan jenis kelompok fungsional yang ada dalam pori-porinya(Darminto,2018:34-35)

## G. Struktur Mikro

Sifat dan perilaku material merupakan cerminan dari struktur didalamnya (struktur mikro). Sifat mekanik material seperti tensile strength, elongasi, sifat terhadap panas dan juga sifat kelistrikan berhubungan langsung dengan mikrostruktur. Dengan menguji dan mengamati mikrostruktur suatu material, maka performa material tersebut dapat dilihat. Gambar 4 memperlihatkan skema hubungan struktur suatu material dengan performans yang dihasilkan.



Gambar 8. Skema Hubungan Struktur dan Perfomans Produk  
Sumber: Vlack,1992

Suatu produk akan memiliki seperangkat sifat-sifat kekuatan, kekerasan, daya hantar listrik, berat jenis, warna, dan sebagainya yang memang dipilih sehingga memenuhi persyaratan. Produk akan tetap memiliki sifat-sifat tersebut, asalkan tidak ada perubahan pada struktur bahan.

Prinsip utamanya adalah setiap sifat bahan berkaitan erat sekali dengan struktur intern bahan itu. Seorang Insyinyur elektronika dan ahli fisika harus mengetahui karakteristik dari setiap elemen dalam rangkaian bila mereka ingin mendesain atau meningkatkan mutu produk. Stuktur intern bahan mencakup atom-atom dan susunannya di dalam suatu Kristal, molekul atau struktur mikro(Vlack,1992).

Meskipun sangat sulit untuk menentukan struktur yang tepat dari GO, diketahui bahwa dalam GO kisi aromatik yang berdekatan di graphene diinterupsi oleh berbagai gugus fungsi. GO memiliki struktur berlapis yang mirip dengan

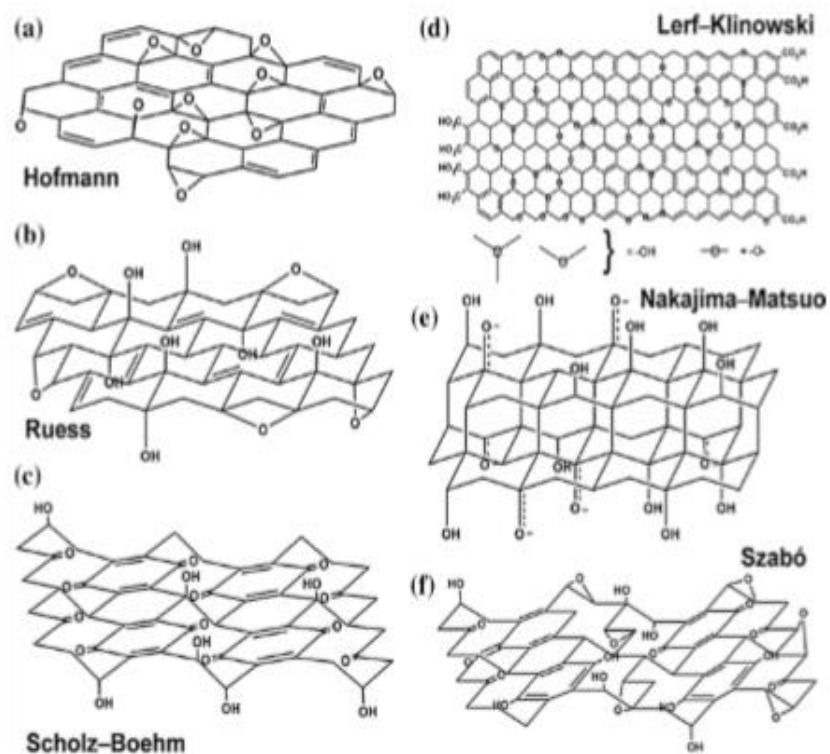
grafit, tetapi bidang atom karbon di GO sangat dihiasi oleh gugus yang mengandung oksigen, yang tidak hanya memperluas jarak antarlapisan tetapi juga membuat lapisan setebal atom hidrofilik.

Model Sketsa Awal tahun 1939, Hofmann dan Holst mengusulkan model struktural GO dengan hanya kelompok epoksida. Mereka menduga bahwa oksigen terikat pada atom karbon dari bidang lapisan segi enam melalui hubungan epoksida dengan formula ideal  $C_2O$ , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.a Kemudian pada tahun 1947, dengan mempertimbangkan kandungan hidrogen GO, Ruess menyarankan model struktural yang digabungkan dengan gugus hidroksil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.b . Model ini juga menunjukkan bahwa struktur bidang basal GO berada dalam bentuk hibridisasi  $sp^3$ , bukan model hibridisasi  $sp^2$  dari Hofmann dan Holst . Scholz dan Boehm mempertimbangkan kembali rasio stoikiometri dan merevisinya.

Model Ruess, menyarankan model yang terdiri dari pita tulang punggung karbon terkonjugasi dan spesies quinoidal biasa tetapi benar-benar menghilangkan kelompok epoksida , seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 9.c. Namun, semua model awal ini umumnya didasarkan pada rumus kimia dan analisis unsur; beberapa informasi spektrum ditampilkan untuk mendukung model ini. Oleh karena itu, berdasarkan spektrum NMR solid-state  $^1H$  dan  $^{13}C$ , Lerf dan rekan kerja mengganti model sebelumnya dengan model struktural dengan daerah aromatik dan kerutan datar yang terdistribusi secara acak. Daerah aromatik datar terdiri dari cincin benzena yang tidak teroksidasi dan daerah berkerut mengandung gugus  $C=C$ ,  $C-C$ ,  $-OH$ , dan eter, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.d. Di sisi lain, mulai dari informasi XRD, Nakajima et al. mengusulkan

model poli-seperti  $(C_2F)_n$  dengan fluorinasi GO, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 9.e.

Dalam model ini, dua lapisan karbon terhubung satu sama lain oleh ikatan  $sp^3$  C–C yang tegak lurus terhadap lapisan, di mana gugus karbonil dan hidroksil hadir dalam jumlah relatif tergantung pada tingkat hidrasi. Khususnya, berdasarkan karakterisasi spektroskopi GO termasuk FT-IR, XPS dan NMR, Szabó et al. menghidupkan kembali model yang diusulkan oleh Scholz dan Boehm dan memberikan model dengan jaringan karbon bergelombang termasuk susunan seperti pita dari segi enam karbon datar yang dihubungkan oleh ikatan rangkap C=C. Oleh karena itu, kerangka karbon yang dihasilkan adalah campuran kerangka Ruess dan Scholz-Boehm, termasuk distribusi acak dari dua jenis domain: kursi sikloheksana yang terhubung trans dan pita segi enam bergelombang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.f (Zhao, et. All, 2015).



Gambar 9. Model sketsa yang diusulkan untuk GO.  
Sumber: Zhao, et. All, 2015

## H. Karakterisasi

Karakterisasi yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi:

### 1. XRD(X-ray Diffraction)

Difraksi sinar-X merupakan suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya kristalin di dalam material-material benda dan serbuk, dan untuk menganalisis sifat-sifat struktur (seperti ukuran butir, fasa komposisi orientasi kristal, dan cacat kristal) dari tiap fasa. Dari metode difraksi kita dapat mengetahui secara langsung mengenai jarak rata-rata antar bidang atom. Kemudian kita juga dapat menentukan orientasi dari kristal tunggal. Secara langsung mendeteksi struktur kristal dari suatu material yang belum diketahui komposisinya. Kemudian secara tidak langsung mengukur ukuran, bentuk dan

internal stres dari suatu kristal. Metode ini menggunakan sebuah sinar-X yang terdifraksi seperti sinar yang direfleksikan dari setiap bidang, berturut-turut dibentuk oleh atom-atom kristal dari material tersebut.

Lebar puncak XRD adalah fungsi dari ukuran partikel, maka ukuran kristal (D) dinyatakan dalam persamaan Scherrer berikut(Ramli et al, 2017):

$$D = K \frac{\lambda}{B \cos \theta} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

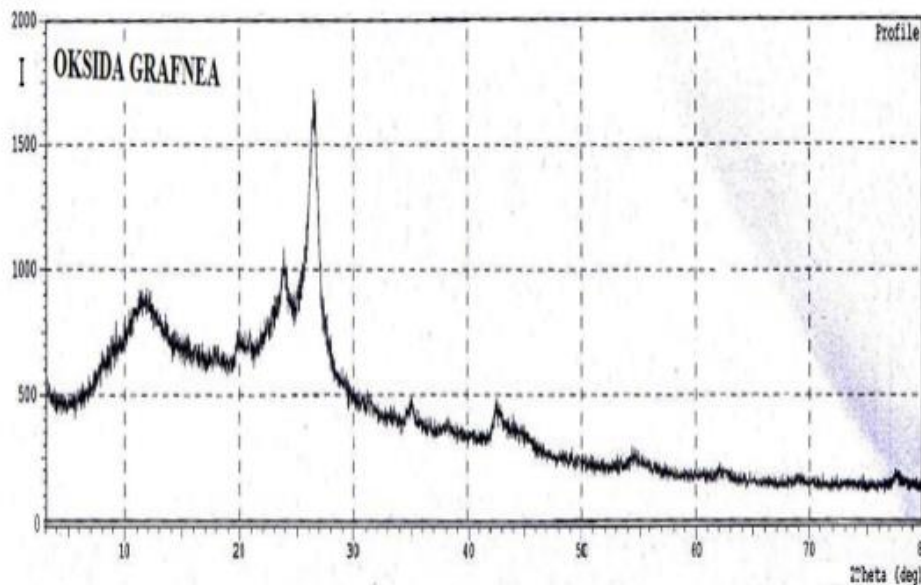
K = konstanta “Shape Factor” (0,8-1)

$\lambda$  = panjang gelombang cahaya sinar X.

B = nilai FWHM

$\theta$  = Sudut Bragg

Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Suci Ayu Pertiwi Harahap pada tahun 2018. Pengukuran XRD dilakukan pada analisis sampel oksida grafena dijelaskan pada gambar berikut ini :

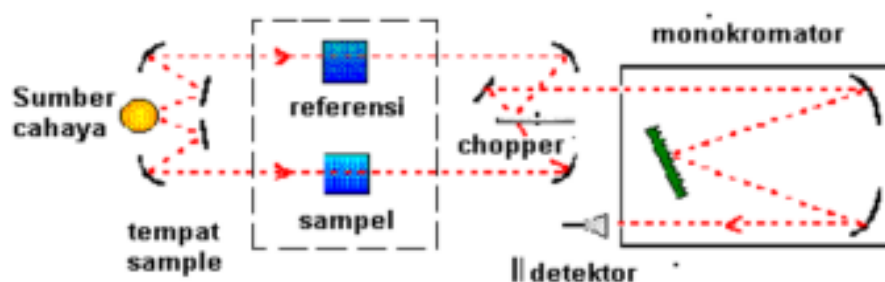


Gambar 10. Spektra XRD Oksida Grafena

Pola XRD khas untuk oksida grafena memberikan data difraktogram yang menampilkan puncak C(002) disekitar sudut difraksi ( $2\theta$ ) 26,40 dengan jarak antar partikel sebesar 3,37Å dengan intensitas 712 counts . Terlihat juga pada gambar 4.4 puncak grafit bergeser kebawah menjadi 11,60 , dengan jarak antar partikel adalah 7,5Å sesuai dengan d-spacing dari 0,885 nm<sup>-1</sup> . Peningkatan jarak antar partikel pada oksida grafena disebabkan karena kehadiran gugus-gugus fungsi oksigen dan molekul air ke dalam struktur lapisan karbon. (Quintana et al, 2012). Karena penambahan oksidator untuk mempercepat terjadinya proses oksidasi maka muncul puncak kecil yang terlihat disekitar 11,60 , 20,10 , 22,60 , 23,90 yang menunjukkan bahwa sebagian kecil oksida grafena tidak secara penuh terinterkalasi dengan atom oksigen (Hsiao et al, 2010). Puncak 11,60 yang terlihat pada spektra XRD merupakan puncak khas dari oksida grafena (Siburian, 2012).

## **2. FTIR (Fourier Transform Infra Red)**

Dalam menafsirkan keberadaan suatu gugus yang terdapat dalam senyawa tertentu dengan menggunakan peta korelasi, maka dibutuhkan suatu alat yaitu spektroskopi infra merah (IR). Spektroskopi infra merah adalah salah satu teknik analisis spektroskopi absorpsi dengan memanfaatkan sinar infra merah dari spektrum elektromagnetik, sehingga akan menghasilkan spektrum mewakili senyawanya. Seperti teknik spektroskopi lainnya, teknik ini dapat digunakan untuk menentukan kandungan dalam sebuah sampel (Ardiansyah, 2011). Berikut merupakan skema alat FTIR.

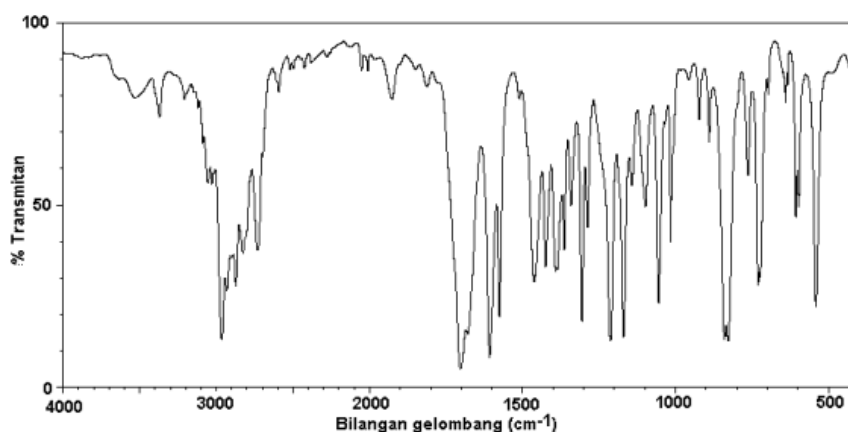


Gambar 11. Skema alat spektrofotometer FT-IR  
Sumber: Dachriyanus, 2004

Jika suatu frekuensi tertentu dari radiasi inframerah dilewatkan pada sampel suatu senyawa organik maka akan terjadi penyerapan frekuensi oleh senyawa tersebut. Detektor yang ditempatkan pada sisi lain dari senyawa akan mendeteksi frekuensi yang dilewatkan pada sampel yang tidak diserap oleh senyawa

Bentuk spektrum inframerah

Spektrum yang dihasilkan berupa grafik yang menunjukkan persentase transmittan yang bervariasi pada setiap frekuensi radiasi inframerah.



Gambar 12. Spektrum inframerah

Satuan frekuensi yang digunakan pada garis horizontal (aksis) dinyatakan dalam bilangan gelombang, yang didefinisikan sebagai banyaknya gelombang dalam tiap satuan panjang (Dachriyanus, 2004)..

## Cara menginterpretasikan spektrum inframerah

### Teknik membaca spektrum FTIR

a. Tentukan sumbu X dan sumbu Y dari spektrum. Sumbu X dari spektrum IR diberi label sebagai bilangan gelombang menyediakan nomor penyerapan dan jumlahnya berkisar dari 400 di paling kanan untuk 4000 di paling kiri. Sumbu Y diberi label sebagai transmittan persen .

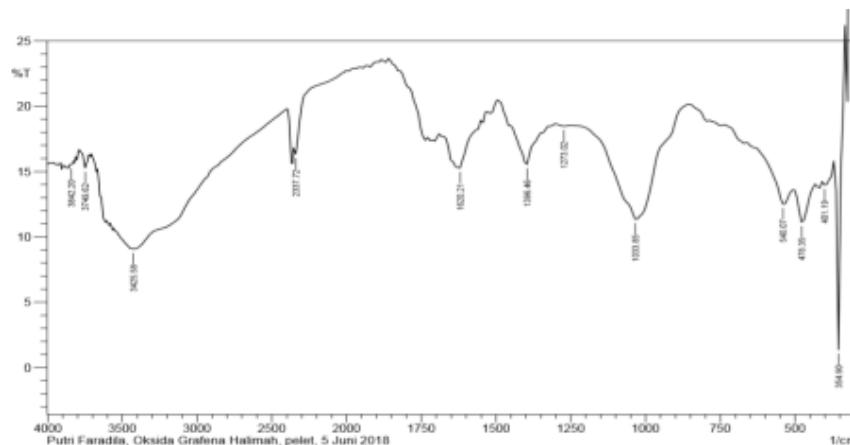
b. Tentukan karakteristik puncak dalam IR, semua spektrum IR mengandung banyak puncak. Selanjutnya melihat data daerah gugus fungsi yang diperlukan untuk membaca spectrum (Zainul, 2021).

Beberapa daerah serapan yang khas dibawah ini dapat digunakan pada interpretasi awal dari spektrum inframerah.

Tabel 3. Daftar bilangan gelombang dari berbagai jenis ikatan

| Gugus            | Jenis Senyawa                            | Daerah Serapan ( $\text{cm}^{-1}$ ) |
|------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|
| C-H              | Alkana                                   | 2850-2960, 1350-1470                |
| C-H              | Alkena                                   | 3020-3080, 675-870                  |
| C-H              | Aromatic                                 | 3000-3100, 675-870                  |
| C-H              | Alkuna                                   | 3300                                |
| C=C              | Alkena                                   | 1640-1680                           |
| C=C              | Aromatic(cincin)                         | 1500-1600                           |
| C-O              | Alkohol, eter, asam karboksilat, ester   | 1080-1300                           |
| C=O              | Aldehida, keton, asam karboksilat, ester | 1690-1760                           |
| O-H              | Alkohol, fenol(monomer)                  | 3610-3640                           |
| O-H              | Alkohol, fenol(ikatan H)                 | 2000-3600(lebar)                    |
| O-H              | Asam karboksilat                         | 3000-3600(lebar)                    |
| N-H              | Amina                                    | 3310-3500                           |
| C-N              | Amina                                    | 1180-1360                           |
| -NO <sub>2</sub> | Nitro                                    | 1515-1560, 1345-1385                |

Pada penelitian yang dilakukan oleh Vivi Sukmawati pada tahun 2018 dapat dilihat hasil FTIR oksida grafena.

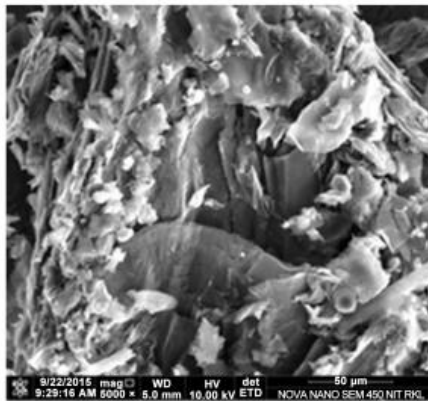


Gambar 13. Spektrum FT-IR Oksida Grafena

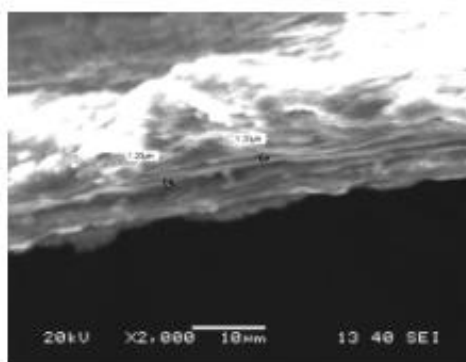
Pada spektrum FT-IR Oksida Grafena telah terbentuk ikatan OH terjadi pada bilangan gelombang 3425  $\text{cm}^{-1}$  dengan puncak melebar yang menyatakan bahwa oksida grafena memiliki kandungan air didalamnya. Spektrum serapan yang lemah terjadi pada bilangan gelombang 1620  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan terbentuknya ikatan gugus aromatic C=C dan juga terdapat spektrum yang tajam pada bilangan gelombang 1396  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan ikatan antara C-OH merupakan vibrasi pada gugus fungsi fenol dan pada bilangan gelombang 1033  $\text{cm}^{-1}$  menunjukan adanya gugus fungsi C-O (epoksi).

### 3. SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

*Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan untuk menentukan morfologi sampel di berbagai bidang. Prinsipnya adalah sifat gelombang difraksi electron pada sudut yang sangat kecil. Elektron dapat disebarkan oleh sampel bermuatan, untuk sampel non-konduktor yang dilapisi dengan karbon, emas atau paduan emas, yang berfungsi untuk mengalirkan elektron berlebih dalam sampel ke tanah. Pola yang terbentuk menggambarkan struktur sampel.



Gambar 14. gambar SEM dari NFG yang diterima



Gambar 15. Mikrograf SEM dari GO disintesis oleh pemrosesan Hummers

Mikrograf SEM dari GO disintesis oleh pemrosesan Hummers yang dimodifikasi jelas menunjukkan bahwa GO memiliki struktur seperti lembaran dua dimensi. Dari gambar SEM, terbukti bahwa GO memiliki struktur lapisan lamelar ganda dan memungkinkan untuk membedakan tepi lembaran individu dari gambar SEM. Film ditumpuk satu di atas yang lain dan juga menunjukkan area yang berkerut. Struktur pipih yang memiliki panjang hingga 1,29 mm dan lebar 239 m dapat dilihat pada citra SEM. Lembaran GO individu ditemukan memiliki ketebalan 1 - 2 m dan ditemukan jauh lebih besar daripada ketebalan graphene lapisan tunggal. Peningkatan ketebalan ini disebabkan oleh pengenalan gugus fungsi yang mengandung oksigen. Dapat juga dicatat bahwa lembaran GO lebih tebal di bagian tepinya. Ini karena gugus fungsi yang mengandung oksigen

terutama digabungkan di tepi GO. Dari gambar SEM, terbukti bahwa lembaran GO digantung dengan kuat dan tidak bengkok (Alam, 2017 ).

## I. Penelitian yang Relevan

Berikut merupakan tabel penelitian yang relevan dengan penelitian penulis.

Tabel 4. Penelitian relevan

| No | Nama Peneliti (Tahun)                                    | Judul Penelitian                                                                                                                        | Metode                         | Hasil                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Yudhita Ignasia Bete, Minsyahril Bukit, dkk(2019)        | Kajian Awal Sifat Optik Graphene Oxide Berbahan Dasar Arang Tongkol Jagung Yang Disintesis Dengan Metode Liquid Phase Exfoliation (LPE) | Liquid Phase Exfoliation (LPE) | Berdasarkan nilai absorbansi larutan sampel hasil sintesis termasuk Graphene Oxide.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 2. | Gao Yu , Yang Wei, Xu Dapeng , Chen Jian , Jiang Bailing | Microstructure and Properties of Graphene Oxide-doped TiO <sub>2</sub> Coating on Titanium by Micro Arc Oxidation                       | -                              | 1.GO tidak berpartisipasi kuat dalam pembentukan lapisan MAO<br>2.Sifat mekanik yang baik dari GO ke dalam lapisan MAO<br>3.GO memiliki kemampuan yang signifikan untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik TiO                                                                                                                                                                    |
| 3. | Filla Mulyawati Khadifah (2017)                          | Sintesis Graphene Berbasis Arang Tempurung Kelapa dengan Metode Hummers Termodifikasi                                                   | Hummers Termodifikasi          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 4. | Herlin Alfiany , Syaiful Bahri , Nurakhirawati (2013)    | Kajian Penggunaan Arang Aktif Tongkol Jagung Sebagai Adsorben Logam Pb Dengan Beberapa Aktivator Asam                                   | -                              | daya serap iod pada arang aktif tongkol jagung yang diaktivasi asam klorida (HCl) sebesar 773,85 mg/g, asam sulfat (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) sebesar 665,76 mg/g dan asam nitrat (HNO <sub>3</sub> ) sebesar 637,82 mg/g. Jumlah arang dengan serapan terbaik adalah 14 gram dan ion terserap 0,508 ppm. Kapasitas adsorpsi yang terbaik pada berat 12 gram sebesar 23,80 % |
| 5. | Norman Syakir et al (2015)                               | Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena dalam Jumlah Besar                                                         | -                              | sampel serbuk menunjukkan telah terjadi perubahan struktur grafit dengan terbentuknya gugus-gugus fungsional oksigen.                                                                                                                                                                                                                                                               |

## **BAB V PENUTUP**

### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai Analisis Struktur Mikro Oksida Grafena Berbahan Dasar Limbah Tongkol Jagung yang Disintesis dengan Metode Hummer Modifikasi dapat disimpulkan bahwa :

Hasil analisis Oksida grafena berbahan dasar limbah tongkol jagung dengan FTIR mengandung ikatan antara Karbon(C), Hidrogen(H) dan Oksigen(O). Gugus-gugus fungsional pada GO yang dapat diidentifikasi adalah ikatan O-H, C=O, C=C dan C-H. Hasil analisis Oksida grafena berbahan dasar limbah tongkol jagung terbaik yaitu pada suhu 300°C dimana pada suhu ini ukuran butir kristal yaitu 40,86931 nm lebih kecil dari pada tiga suhu lainnya yang mana semakin kecil ukuran butir maka semakin luas permukaan yang membuat superkapasitor yang dihasilkan semakin baik. Hasil analisis Oksida grafena berbahan dasar limbah tongkol jagung dengan SEM kurang optimal disebabkan oleh sulitnya menganalisis ukuran butir partikel karena morfologi sampel cenderung seperti lembaran.

### **B. Saran**

Adapun saran untuk penelitian sebagai berikut:

1. Menggunakan limbah biomassa yang lebih tinggi kandungan karbon dan tidak memiliki kandungan silika.
2. Komunikasi dalam pengolahan data dengan ahli agar tidak terjadinya kesalahan dalam mengolah data.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah ,Syahrial. 2015. Inovasi Teknologi Spesifik Lokasi Mendukung Peningkatan Produksi Jagung Di Provinsi Sumatera Barat. Jakarta: IAARD Press
- Alam, S. N., Sharma, N., & Kumar, L. (2017). Synthesis of graphene oxide (GO) by modified hummers method and its thermal reduction to obtain reduced graphene oxide (rGO). *Graphene*, 6(1), 1-18.
- Alfiany, H., Bahri, S., & Nurakhirawati, N. (2013). Kajian penggunaan arang aktif tongkol jagung sebagai adsorben logam Pb dengan beberapa aktivator asam. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 2(3).
- Amiruddin, H. (2016). Modifikasi permukaan karbon aktif tongkol jagung (zea mays) dengan  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  sebagai bahan elektroda superkapasitor. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Bete, Y. I., Bukit, M., Johannes, A. Z., & Pingak, R. K. (2019). Kajian Awal Sifat Optik Oksida Grafena Berbahan Dasar Arang Tongkol Jagung Yang Disintesis Dengan Metode Liquid Phase Exfoliation (Lpe). *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya*, 4(2), 114-120.
- BPS RI.2021. Analisis Produktivitas Jagung dan Kedelai di Indonesia 2020.Badan Pusat Statistik.
- Bresnick, S.2003. The Essence of Organic Cemistry. terj. Hadian Kotong. Inti Sari Kimia Organik. Jakarta: Hipokrates.
- Carlsson, J. M. 2007. Graphene : Buckle or break. *Nature Materials*,6 (11), 801-802
- Cencen, F., Aktas, O., 2012, Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment, Integration of Adsorption and Biological Treatment, Wiley-VCH, Weinheim, Germany.
- Dachriyanus, 2004. Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi. Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi. Padang. Universitas Andalas.
- Darminto, D., Asih, R., & Baqiya, M. A. (2018). Pengembangan Bahan Karbon dari Biomassa. pdf.
- Fathia, A. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Graphene Oxide Terkombinasi Nanopartikel Perak dalam Fase Cair. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta. Fathia, A. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Graphene Oxide Terkombinasi Nanopartikel Perak dalam Fase Cair. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Feng, L., Zhang, S., & Liu, Z. (2011). Graphene based gen transfection. *Nanoscale*, 3(3), 1252-1257.
- Gao, Y., Yang, W., Xu, D., Chen, J., & Jiang, B. (2018). Microstructure and properties of graphene oxide-doped  $\text{TiO}_2$  coating on titanium by micro arc oxidation. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 33(6), 1524-1529.
- Geim, A.K. and K.S. Novoselov. 2007. The Rise of Graphene.*Nat Mater*, 6(3): p. 183-91
- Geim, A. K. (2009). Graphene: status and prospects. *science*, 324(5934), 1530-1534.)

- Goenka, S., Sant, V., & Sant, S. (2014). Graphene-based nanomaterials for drug delivery and tissue engineering. *Journal of Controlled Release*, 173, 75-88.
- Hambali, E., Mujdalifah, S., Tambunan, A. H., Pattiwiri, A. W., & Hendroko, R. (2007). *Teknologi bioenergi*. AgroMedia.
- Hidayati, F. C. (2016). Pemurnian minyak goreng bekas pakai (jelantah) dengan menggunakan arang bonggol jagung. *JIPF (Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika)*, 1(2), 67-70.
- Harahap, S. A. P. (2018). Sintesis Grafena dari Oksidasi Grafit dan Reduksi Oksida Grafit Menggunakan Reduktor Asam Sitrat.
- Hirata, M., Gotou, T., Horiuchi, S., Fujiwara, M., & Ohba, M. (2004). Thin-film particles of graphite oxide 1:: High-yield synthesis and flexibility of the particles. *Carbon*, 42(14), 2929-2937.
- Ilato, R., Bahua, M.I., 2014, Analisis Rantai Komoditas Jagung serta Strategi Peningkatan Pendapatan Petani Jagung di Provinsi Gorontalo, Penelitian Prioritas Nasional 51 Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia 2012-2025, Universitas Negeri Gorontalo.
- Indariani, F. (2018). Karakteristik Arang Aktif Tongkol Jagung (*Zea Mays* Linn) Dengan Penambahan Asam Fosfat ( $H_3PO_4$ ) Pada Beberapa Variasi Suhu Aktivasi (Doctoral dissertation, Universitas Mataram).
- Khadifah, F. M., & Nurisal, R. (2017). Sintesis Graphene Berbasis Arang Tempurung Kelapa dengan Metode Hummers Termodifikasi (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Kovtyukhova, N. I., Ollivier, P. J., Martin, B. R., Mallouk, T. E., Chizhik, S. A., Buzaneva, E. V., & Gorchinskiy, A. D. (1999). Layer-by-layer assembly of ultrathin composite films from micron-sized graphite oxide sheets and polycations. *Chemistry of materials*, 11(3), 771-778.
- Lavin-Lopez, M. D. P., Romero, A., Garrido, J., Sanchez-Silva, L., & Valverde, J. L. (2016). Influence of different improved hummers method modifications on the characteristics of graphite oxide in order to make a more easily scalable method. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55(50), 12836-12847.
- Liu, Y., Huang, J., & Li, H. (2013). Synthesis of hydroxyapatite-reduced graphite oxide nanocomposites for biomedical applications: oriented nucleation and epitaxial growth of hydroxyapatite. *Journal of Materials Chemistry B*, 1(13), 1826-1834.
- Lorenz, KJ, and K. Kulp. (1991). *Handbook of Cereal Science and Technology*. New York USA: Marcel Dekker Inc.
- Michaud, M., Martins, I., Sukkurwala, A. Q., Adjemian, S., Ma, Y., Pellegatti, P., ... & Kroemer, G. (2011). Autophagy-dependent anticancer immune responses induced by chemotherapeutic agents in mice. *Science*, 334(6062), 1573-1577.
- Nugraheni, A. Y., Jayanti, D. N., Soontaranon, S., & Putra, E. G. R. (2017, May). Structural analysis on reduced graphene oxide prepared from old coconut shell by Synchrotron X-ray scattering. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 196, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.
- Nugroho, M.R., 2011, Rancang Bangun Sistem Sumber Daya Tag Aktif RFID Berbasis Tenaga Surya dengan Superkapasitor sebagai Media Penyimpan

- Energi, Skripsi diterbitkan, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Indonesia.
- Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S.V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S. V., Grigorieva, I. V. A., 2004. Electric field effect in atomically thin carbon films, *Science*, 306, 666-669.
- Pradana, M. A., Ardhyana, H., & Farid, M. (2017). Pemisahan Selulosa dari Lignin Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Proses Alkalisasi untuk Penguat Bahan Komposit Penyerap Suara. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), F413-F416.
- Purwoko, 2020. [Poster] Tinjauan : Potensi Graphene Oxide (GO) Dan Aplikasinya. <https://risetpro.brin.go.id>. Diakses tanggal 2 Januari 2022.
- Ramli, R., Jonuarti, R., & Hartono, A. (2017). Analisis Struktur Nano dari Lapisan Tipis cobalt Ferrite Yang Dipreparasi dengan Metode Sputtering. *Eksakta: Berkala Ilmiah Bidang MIPA* (E-ISSN: 2549-7464), 18(01), 46-53.
- Ratna K, 2008. *Prinsip-Prinsip Kimia Modern / ED.4/JL.2*. Erlangga: Jakarta Science. 319. 1229–1232.
- Ray, Sekhar Chandra. 2015. “Applications of Grafenaand Graphene-Oxide Based Nanomaterials.” Oxford : Elsevier.
- Richana, N., Lestina, P., Irawadi, T.T., 2004, Karakterisasi Lignoselulosa Xylan dari limbah Tanaman Pangan dan Pemanfaatannya untuk Pertumbuhan Bakteri, *RXA III-5 Penghasil Xilanase*, J. Penelitian Pertanian, 23, 171-176.
- Rohman, M. N. (2018). Pengaruh Variasi Lama Pengeringan dan Volume Larutan Graphene Oxide Berbahan Dasar Abu Sekam Padi terhadap Kuat Tekan dan Porositas Bata Ringan Jenis Cellular Lightweight Concrete. Skripsi, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta. Diambil dari <https://eprints.uny.ac.id/56630>.
- Shao, G. et al., Oksida Grafena: The Mechanisms of Oxidation and Exfoliation. *Journal of Materials Science*, 47(10), 2012, pp. 4400 – 4409
- Sharma, S. K., Prakash, J., & Pujari, P. K. (2015). Effects of the molecular level dispersion of graphene oxide on the free volume characteristics of poly (vinyl alcohol) and its impact on the thermal and mechanical properties of their nanocomposites. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 17(43), 29201-29209.
- Sibarani, Y. J. (2018). Optimasi Sifat Mekanik Lateks dengan Pencampuran Oksida Grafena dari Batang Pensil.
- Suryani, A.M., 2009, Pemanfaatan Tongkol Jagung untuk Pembuatan Arang Aktif sebagai Adsorben Pemurnian Minyak Goreng Bekas, Skripsi diterbitkan, Departemen Kimia, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Suwandana, R. F., & Susanti, D. (2015). Analisis Pengaruh Massa Reduktor Zinc terhadap Sifat Kapasitif Supercapacitor Material Graphene. *Jurnal Teknik ITS*, 4(1), F95-F100.
- Syakir, N., Nurlina, R., Anam, S., Aprilia, A., Hidayat, S., & Fitrilawati, F. (2015). Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena dalam Jumlah Besar (Halaman 26 sd 29). *Jurnal Fisika Indonesia UGM*, 19(56), 80024.
- Van Vlack, L. H., & Djaprie, S. (1992). *Ilmu dan teknologi Bahan*. Penerbit Erlangga.

- Wang, L., Bi, J., Wang, W., Chen, Y., Liu, R., & Sun, X. (2019). Microstructure and mechanical properties of nacre-like alumina toughened by graphene oxide. *Ceramics International*, 45(7), 8081-8086.
- Wungkana, I., Suryanto, E., Momuat, L., 2013, Aktivitas Antioksidan dan Tabir Surya Fraksi Fenolik dari Limbah Tongkol Jagung (*Zea mays* L.), *Jurnal Ilmiah Farmasi Unsrat*, 2 (4), 149-155.
- Xu, Y., Cao, H., Xue, Y., Li, B., & Cai, W. (2018). Liquid-phase exfoliation of graphene: an overview on exfoliation media, techniques, and challenges. *Nanomaterials*, 8(11), 942.
- Yu, W., Sisi, L., Haiyan, Y., & Jie, L. (2020). Progress in the functional modification of graphene/graphene oxide: A review. *RSC Advances*, 10(26), 15328-15345.
- Zhao, J., Liu, L., & Li, F. (2015). *Graphene oxide: physics and applications* (Vol. 1, p. 161). London, UK:: Springer.