

**ANALISIS SIFAT PENYERAP GELOMBANG MIKRO OKSIDA
GRAFENA DARI LIMBAH PENGGERGAJIAN YANG
DISINTESIS DENGAN METODE
HUMMER MODIFIKASI**

SKRIPSI

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



**Oleh:
KHARISTA PERMATA KASIH
NIM. 18034121/2018**

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

2022

PERSETUJUAN SKRIPSI

**ANALISIS SIFAT PENYERAP GELOMBANG MIKRO OKSIDA
GRAFENA DARI LIMBAH PENGGERGAJIAN YANG
DISINTESIS DENGAN METODE
HUMMER MODIFIKASI**

Nama : Kharista Permata Kasih
NIM : 18034121
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

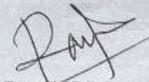
Padang, 26 Agustus 2022

Mengetahui
Ketua Departemen Fisika



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

Disetujui Oleh:
Pembimbing



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

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

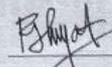
Nama : Kharista Permata Kasih
NIM : 18034121
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

ANALISIS SIFAT PENYERAP GELOMBANG MIKRO OKSIDA GRAFENA DARI LIMBAH PENGGERGAJIAN YANG DISINTESIS DENGAN METODE HUMMER MODIFIKASI

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

Padang, 26 Agustus 2022

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	: Dr. Ramli, S.Pd., M.Si.	1. 
2. Anggota	: Prof. Dr. Ratnawulan, M.Si.	2. _____
3. Anggota	: Rahmat Hidayat, S.Pd., M.Si.	3. 

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Kharista Permata Kasih
NIM/TM : 18034121/2018
Program Studi : Fisika NK
Jurusan : Fisika
Fakultas : FMIPA

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi saya dengan judul : "Analisis Sifat Penyerap Gelombang Mikro Oksida Graphene dari Limbah Penggajian Yang Disintesis Dengan Metode Hummer Modifikasi" 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,



Kharista Permata Kasih

NIM. 18034121

Analisis Sifat Penyerap Gelombang Mikro Oksida Grafena Dari Limbah Penggergajian Yang Disintesis Dengan Metode Hummer Modifikasi

Kharista Permata Kasih

ABSTRAK

Limbah penggergajian secara khusus belum dimanfaatkan secara optimal pada industri kayu kecil yang unitnya banyak tersebar di kota padang karena keterbatasan tingkat teknologi pengolahannya. Salah satu upaya untuk menambah nilai dari limbah penggergajian yaitu dilakukannya penelitian yang memanfaatkan limbah penggergajian untuk bahan pembuatan oksida grafena. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil pengaruh suhu sintering pada sifat penyerap gelombang mikro oksida grafena dari limbah penggergajian yang disintesis menggunakan metode Hummer modifikasi yang dapat dimanfaatkan sebagai radar absorbing material Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), *X-ray diffraction* (XRD) dan *Vector Network Analyser* (VNA). Pada hasil karakterisasi menggunakan VNA didapatkan adanya pengaruh dari suhu sintering terhadap sifat penyerap gelombang mikro yang ditunjukkan dari nilai *Reflection Loss* (RL) dalam satuan desibel dimana tidak terdapat hubungan yang linear antara suhu sintering terhadap nilai *reflection loss* yang didapatkan.

Penelitian ini dimulai dengan preparasi sampel menjadi karbon dilanjutkan dengan melakukan variasi suhu sintering menggunakan furnace dengan suhu 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, dan 450°C. Selanjutnya dilakukan aktivasi karbon dan sintesis menjadi oksida grafena menggunakan metode hummer modifikasi yaitu metode yang melibatkan proses kimia yang bisa digunakan untuk menghasilkan oksida grafena melalui penambahan kalium permanganat, natrium nitrat dan asam sulfat kedalam larutan grafit. Selanjutnya oksida grafena dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD dan VNA.

Pada hasil dari karakterisasi VNA didapatkan nilai *reflection loss* maksimum pada variasi suhu 450 °C yaitu -25,60 dB pada frekuensi 10,32 GHz dimana hasil penyerapan gelombang mikro yang baik yaitu pada *reflection loss* maksimum, dimana semakin besar nilai *reflection loss* maka semakin baik penyerapan gelombang mikro material tersebut.

Kata Kunci: Limbah, oksida grafena, RAM, metode hummer, VNA

Analysis Of The Microwave Absorbing Properties Of Graphene Oxide From Sawmill Waste Synthesized By The Modified Hummer Method

Kharista Permata Kasih

ABSTRACT

Sawmill waste in particular has not been used optimally in small wood industries whose units are widely spread in the city of Padang due to the limited level of processing technology. One of the efforts to add value from sawmills is to utilize research that utilizes sawmill waste for the manufacture of graphene oxide. This study aims to determine the effect of the sintering temperature on the microwave absorbing properties of graphene oxide from sawmill waste synthesized using the modified Hummer method which can be used as a radar absorbing material and Vector Network Analyzer (VNA). In the results of the characterization using VNA, it was found that there was an influence of the sintering temperature on the properties of the microwave absorber as indicated by the value of Reflection Loss (RL) in decibels.

This study began with the preparation of carbon samples and continued with varying the sintering temperature using a furnace with temperatures of 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, and 450°C. Furthermore, carbon activation and synthesis into graphene oxide were carried out using the modified hummer method, which is a method that involves a chemical process that can be used to produce graphene oxide by adding potassium permanganate, sodium nitrate and sulfuric acid to the graphite solution. Furthermore, graphene oxide was characterized using FTIR, XRD and VNA.

In the results of the VNA characterization, the maximum reflection loss value is obtained at a temperature variation of 450 C, namely -25.60 dB at a frequency of 10.32 GHz where the results of good microwave absorption are at the maximum reflection loss, where the greater the reflection loss value, the absorption is good. the microwave.

Keywords: Waste, graphene oxide, RAM, hummer method, VNA

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Sifat Penyerap Gelombang Mikro Oksida Grafena Dari Limbah Penggergajian Yang Disintesis Dengan Metode Hummer Modifikasi” disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

Penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak baik bantuan secara moril maupun materil. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Ramli, S.Si., M.Si. sebagai pembimbing skripsi atas segala bantuan yang tulus dan ikhlas memberikan motivasi, bimbingan, arahan, dan saran dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si., dan Bapak Rahmat Hidayat, S.Pd., M.Si., sebagai dosen penguji skripsi yang telah meluangkan waktu untuk membeikan masukan, kritikan dan pandangan kepada peneliti untuk menyempurnakan skripsi.
3. Bapak Mairizwan, M,Si sebagai pembimbing akademik atas segala bantuannya yang tulus dan ikhlas memberikan bimbingan, arahan dan saran dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si., sebagai Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
5. Ibu Syafriani, M.Si., Ph.D., sebagai Ketua Prodi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika Falkutas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
7. Staf Administrasi dan Laboran di Laboratorium Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
8. Kedua Orang Tua tercinta, serta keluarga yang senantiasa memberikan doa, dorongan serta motivasi yang tek terhingga sepanjang hidup penulis.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	7
C. Rumusan Masalah	7
D. Batasan Masalah	7
E. Tujuan Penelitian	8
BAB II	9
TINJAUAN PUSTAKA	9
A. Grafena	9
B. Oksida Grafena	10
C. Metode Hummer Modifikasi	13
D. Limbah Penggergajian	14
E. Sifat Penyerap Gelombang Mikro	16
F. Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Sifat Penyerap Gelombang Mikro	18
G. Fourier Transform Infra Red (FTIR)	20

H. X-Ray Diffraction (XRD).....	21
I. Vector Network Analyser (VNA).....	23
J. Penelitian Relevan.....	24
BAB III.....	27
METODE PENELITIAN.....	27
A. Jenis Penelitian.....	27
B. Tempat dan waktu penelitian.....	27
C. Variabel penelitian.....	27
D. Alat dan Bahan.....	28
E. Prosedur penelitian.....	38
F. Tahap pengumpulan data.....	43
G. Teknik Analisis dan interpretasi data.....	43
H. Diagram alir penelitian.....	44
BAB IV.....	46
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	46
BAB V.....	76
PENUTUP.....	76
A. KESIMPULAN.....	76
B. SARAN.....	76
DAFTAR PUSTAKA.....	77
LAMPIRAN.....	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur grafena.....	9
Gambar 2. Struktur oksida grafena	11
Gambar 3. Skema prinsip kerja FTIR	21
Gambar 4. Komponen utama difraksi sinar x-ray	23
Gambar 5. Alat gelas.....	30
Gambar 6. Ayakan mesh 170.....	30
Gambar 7. Lumpang alu.....	31
Gambar 8. Cawan penguap	31
Gambar 9. Oven	32
Gambar 10. Furnace	32
Gambar 11. <i>Centrifuge</i>	33
Gambar 12. Timbangan digital	33
Gambar 13. <i>Ultrasonic</i>	33
Gambar 14. Hot plate dan magnetic bar.....	34
Gambar 15. Lemari asam	34
Gambar 16. kertas pH	35
Gambar 17. Cetakan akrilik	35
Gambar 18. Limbah penggergajian.....	36
Gambar 19. Aquades.....	36
Gambar 20. Asam Sulfat.....	37
Gambar 21. Natrium nitrat	37
Gambar 22. Kalium permangat.....	38
Gambar 23. Hidroksin peroksida	38

Gambar 24. Limbah penggergajian yang akan di funace.....	39
Gambar 25. Hasil furnace limbah penggergajian.....	39
Gambar 26. 5 gram karbon yang telah di furnace.....	40
Gambar 27. 20 ml NaOH dimasukan kedalam erlenmeyer yang telah berisi karbon	40
Gambar 28. Rangkaian alat refluk	41
Gambar 29. Rangkaian alat pompa vacum untuk menyaring endapan hasil refluk	41
Gambar 30. Karbon hasil refluk yang telah diaktivasi dan dikeringkan.....	41
Gambar 31. Diagram alir penelitian.....	45
Gambar 32. sampel oksida grafena dari limbah penggergajian	46
Gambar 33. Hasil karakterisasi FTIR oksida grafena dengan variasi suhu 250°C.	47
Gambar 34. Hasil karakterisasi FTIR oksida grafena dengan variasi suhu 300°C.	48
Gambar 35. Hasil karakterisasi FTIR oksida grafena dengan variasi suhu 350°C.	49
Gambar 36. Hasil karakterisasi FTIR oksida grafena dengan variasi suhu 400°C.	50
Gambar 37. Hasil karakterisasi FTIR oksida grafena dengan variasi suhu 450°C.	51
Gambar 38. Hasil karakterisasi XRD oksida grafena dengan variasi suhu 250°C.	52
Gambar 39. Hasil karakterisasi XRD oksida grafena dengan variasi suhu 300°C.	53

Gambar 40. Hasil karakterisasi XRD oksida grafena dengan variasi suhu 350°C.	54
Gambar 41. Hasil karakterisasi XRD oksida grafena dengan variasi suhu 400°C.	55
Gambar 42. Hasil karakterisasi XRD oksida grafena dengan variasi suhu 450°C.	56
Gambar 43. Hasil karakterisasi VNA oksida grafena dengan variasi suhu 250°C.	57
Gambar 44. Hasil karakterisasi VNA oksida grafena dengan variasi suhu 300°C.	58
Gambar 45. Hasil karakterisasi VNA oksida grafena dengan variasi suhu 350°C.	58
Gambar 46. Hasil karakterisasi VNA oksida grafena dengan variasi suhu 400°C.	59
Gambar 47. Hasil karakterisasi VNA oksida grafena dengan variasi suhu 450°C.	60
Gambar 48. hasil karakterisasi FTIR oksida grafena variasi suhu 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, 450°C	61
Gambar 49. data hasil karakterisasi XRD oksida grafena dengan variasi suhu 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, 450°C	65
Gambar 50. data hasil karakterisasi VNA oksida grafena dengan variasi suhu 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, 450°C	68
Gambar 51. Menimbang arang yang telah diaktivasi sebanyak 1,5 gram	115
Gambar 52. Menimbang NaNO ₃ sebanyak 0,75 gram	115

Gambar 53. Masukkan kedalam erlenmeyer yang didalamnya telah dimasukan magnetic stirer, menambahkan H ₂ SO ₄ 98% sebanyak 34,5 ml kedalam erlenmeyer tadi lalu stirer selama 20 menit.	116
Gambar 54. Meletakkan erlenmeyer pada ice bath dan stiring selama 2 jam diatas hot plate.....	116
Gambar 55. Menambahkan KMnO ₄ sebanyak 4,5 gram secara perlahan-lahan.	116
Gambar 56. Setelah ditambah KMnO ₄ pada campuran pindahkan ice bath dari hot plate dan stirring campuran tadi pada suhu 35°C selama 30 menit	116
Gambar 57. Menambahkan 69 ml aquades secara perlahan dan stiring selama 20 menit.....	117
Gambar 58. Menambahkan 100 ml aquadest diikuti dengan penambahan H ₂ O ₂ 30% sebanyak 1,5 ml	117
Gambar 59. Menambahkan aquadest 50 ml pada campuran tersebut.....	117
Gambar 60. Proses sonikasi menggunakan ultrasonic bath pada suhu ruang selama 2 jam.....	118
Gambar 61. Didiamkan selama 24 jam	118
Gambar 62. sentrifugasi menggunakan kecepatan 2500 rpm selama 15 menit ..	118
Gambar 63. proses penetralan oksida grafena dengan mengendapkan bubuk oksida grafena untuk selanjutnya aquadest diganti secara berulang hingga didapatkan pH netral 7	118
Gambar 64. Oksida grafena dioven dengan suhu 60°C selama 12 jam.	119

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Hasil karakterisasi oksida grafena suhu 250°C menggunakan XRD.....	52
Tabel 2. Hasil karakterisasi oksida grafena suhu 300°C menggunakan XRD.....	53
Tabel 3. Hasil karakterisasi oksida grafena suhu 350°C menggunakan XRD.....	54
Tabel 4. Hasil karakterisasi oksida grafena suhu 400°C menggunakan XRD.....	55
Tabel 5. Hasil karakterisasi oksida grafena suhu 450°C menggunakan XRD.....	56
Tabel 6. Hasil karakterisasi oksida grafena menggunakan FTIR	64
Tabel 7. Nilai lebar pita penyerapan oksida grafena pada tiap variasi.....	70

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil FTIR Oksida Grafena 250C.....	83
Lampiran 2. Data Hasil FTIR Oksida Grafena 300C.....	84
Lampiran 3. Data Hasil FTIR Oksida Grafena 350C.....	85
Lampiran 4. Data Hasil FTIR Oksida Grafena 400C.....	86
Lampiran 5. Data Hasil FTIR Oksida Grafena 450C.....	87
Lampiran 6. Data Hasil XRD 250C	88
Lampiran 7. Data Hasil XRD 300C	92
Lampiran 8. Data Hasil XRD 350C	96
Lampiran 9. Data Hasil XRD 400C	100
Lampiran 10. Data Hasil XRD 450C	103
Lampiran 11. Data Hasil VNA.....	107
Lampiran 12. Data Perhitungan Koefisien Penyerapan Oksida Grafena.....	112
Lampiran 13. Dokumentasi Penelitian.....	115

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kuantitas dan kualitas pertahanan salah satunya ditentukan dari senjata atau peralatan utama sistem. Kualitas peralatan atau alutsista semakin berkembang seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi modern. Serta, perkembangan teknologi modern dan sains dalam bidang komunikasi gelombang mikro dalam kepentingan militer dipengaruhi dengan sistem pengoperasian yaitu perangkat elektronik dan manusia sebagai operator. Salah satu pengembangan teknologi modern dan sains alat utama sistem senjata modern adalah teknologi siluman (*stealth technology*) yaitu pembuatan bahan penyerap gelombang mikro dan *Radar Absorber Material* (RAM) dimana bahan ini bersifat meredam pantulan atau penyerap gelombang mikro (Yousefi et al. 2014).

Gelombang mikro terdiri dari komponen magnetik dan komponen dielektrik yang mana akan terjadi dua interaksi yakni interaksi gelombang dengan komponen dielektrik dan interaksi antara komponen magnetik dengan gelombang. Medan internal yang akan menginduksi gerak translasi dari muatan bebas atau berikatan (elektron atau ion) terjadi pada interaksi antara gelombang dengan komponen dielektrik yang menyebabkan muatan kompleks (dipol) berotasi. Sedangkan pada interaksi antara komponen magnetik dengan gelombang akan terjadi efek magnetisasi ialah medan induksi yang mempengaruhi nilai magnetisasi (Manawana et al. 2014).

Umumnya bahan magnetik dan dielektrik dibuat dari bahan yang harga jualnya relatif mahal dan proses yang tidak sederhana. Untuk itu

diperlukannya suatu material yang dapat berinteraksi dengan kedua komponen tersebut. Salah satu materialnya yaitu grafena. Grafena adalah salah satu jenis material nano berbahan dasar karbon yang memiliki sifat mobilitas elektron yang tinggi, konduktivitas listrik yang tinggi, konduktivitas termal yang tinggi, transparansi optik dan mekanik yang baik (Naufal, 2013). Karena sifat mekanik, struktural, termal dan bahkan listrik grafena yang sangat baik. Sifat-sifat yang sangat baik ini sangat cocok pada skala nano, di mana grafit dapat dikupas menjadi nanomaterial tipis, hingga tingkat lembaran grafit (Kotov, 2006). Selain itu karena grafena memiliki struktur nano, tipis, kuat, ringan dan nilai mobilitas pembawa muatan yang tinggi serta struktur kristal amorf, luas permukaan yang besar dan memiliki jumlah pori-pori yang sangat banyak. Pori-pori yang terdapat pada grafena sangat baik dimanfaatkan sebagai media penyerapan dan absorpsi khususnya pada material RAM (Cao et al. 2018).

Grafit sendiri merupakan jenis bahan karbon yang terbentuk dari atom karbon di orbit SP^2 . Grafit ini terdiri dari lembaran tipis yang dihasilkan dari ikatan antara atom karbon yang dikenal sebagai grafena (Warner 2013). Grafit bisa dibentuk menjadi oksida grafena yang dapat disintesis dari biomassa. Sebelumnya penelitian mengenai sintesis oksida grafena ini menggunakan grafit sebagai sumber karbon seperti yang pernah dilakukan oleh (Marcano et al. 2010). Penggunaan limbah organik sebagai sumber karbon penting untuk dilakukan karena jumlah limbah yang ada di Indonesia cukup banyak dan penggunaan limbah organik sebagai sumber karbon untuk sintesis oksida grafena dinilai lebih murah dan mudah ditemukan dibandingkan jika menggunakan grafit dan bahan bakunya tersedia banyak di alam (Thebora,

2020). Pada penelitian ini salah satu limbah organik yang digunakan yaitu limbah penggergajian kayu.

Pemanfaatan kayu seoptimal mungkin merupakan salah satu kebijakan Departemen Kehutanan, yang mana semua industri pengelolaan kayu baik dalam skala besar ataupun kecil harus mengurangi produksi limbah kayu atau limbah penggergajian. Namun kenyataan yang terjadi di industri ini, hasil industri kayu umumnya masih 50-60%, dimana 15-20% adalah serbuk gergaji. Jumlah serbuk gergaji di Indonesia diperkirakan 780.000 m³/tahun dan belum dimanfaatkan secara optimal (Pari dan Roliadi, 2004). Data pada badan pusat statistika menyatakan bahwa produksi kayu gergajian pada tahun 2018, 2019 dan 2020 meningkat tiap tahunnya yaitu secara berturut-turut sebanyak 2.078.551 m³, 2529113 m³ dan 2.581.435 m³ yang mana akan menghasilkan limbah serbuk penggergajian ketika produksi kayu meningkat (Badan Pusat Statistika, 2020).

Limbah penggergajian secara khusus belum dimanfaatkan secara optimal pada industri kayu kecil yang unitnya banyak tersebar di kota Padang. Limbah penggergajian merupakan sisa kayu dalam bentuk dan ukuran tertentu yang seharusnya tetap dapat digunakan tetapi ditinggalkan karena keterbatasan tingkat teknologi pengolahan kayu. Pada dasarnya, orang masih berpikir bahwa limbah penggergajian adalah sampah yang sama sekali tidak bermanfaat dan juga harus dibuang bahkan dibakar, tetapi jika limbah penggergajian terus ditumpuk maka akan menyebabkan akumulasi sampah. Limbah penggergajian tidak harus selalu dibuang karena masih bisa diolah sebagai produk yang bermanfaat (Wulandari 2019). Salah satu upaya untuk

menambah nilai dari limbah penggergajian ini adalah dimanfaatkan untuk bahan sintesis oksida grafena.

Pertama kali oksida grafena diteliti pada tahun 1859 oleh Brodie. Brodie menggunakan KClO_3 dan HNO_3 pada proses reaksinya untuk menyelidiki struktur grafit dengan melihat kereaktifan dari lembaran grafit tersebut. Selanjutnya penelitian dilakukan oleh Staudenmaier menggunakan H_2SO_4 dan HNO_3 serta diikuti dengan penambahan KClO_3 sedikit demi sedikit. Dilakukannya penambahan H_2SO_4 supaya terjadinya proses oksidasi yang kuat (Dreyer, 2010).

Beberapa penelitian yang telah mengkaji mengenai sintesis oksida grafena dari bahan organik salah satunya yaitu (Mashuri et al. 2020) mensintesis oksida grafena berbahan dasar arang bambu kuning, ori dan petung sebagai bahan penyerap gelombang mikro dengan metode karbonisasi dengan temperatur 600°C selama 45 menit yang dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Vector Network Analyser* (VNA). Hasil pengukuran menunjukkan nilai *maximum reflection loss* (RLm) dan *matching frequency* (fm) serbuk grafena alam berfase *reduction graphene oxide* (rGO) dari arang bambu berturut-turut Petung (RLm1 = -52,88 dB, fm1 = 8,56 GHz, RLm2 = -26,33 dB, fm2 = 10,18 GHz) , Ori (RLm1 = -45,46 dB, fm1 = 8,40 GHz, RLm2 = -25,15 dB, fm2 = 10,18 GHz) dan Kuning (RLm1 = -34,15 dB, fm1 = 8,40 GHz, RLm2 = -25,46 dB, fm2 = 10,16 GHz) pada ketebalan optimum 0,6 mm. Bambu Petung sangat potensial dijadikan sebagai bahan penyerap gelombang mikro dalam bentuk grafena alam berfase rGO bersifat ramah lingkungan, relatif

murah dan sederhana pembuatannya (Mashuri, 2020). Selanjutnya (Bete, 2019) melakukan sintesis oksida grafena berbahan dasar tongkol jagung yang mengkaji bagaimana sifat optiknya dengan metode *Liquid Phase Exfoliation* (LPE) dimana diperoleh hasil analisis spektrum absorbansi pada masing – masing variasi massa, pada perlakuan ultrasonifikasi nilai absorbansi meningkat secara linear seiring bertambahnya massa dan berdasarkan nilai absorbansi tersebut larutan sampel hasil sintesis termasuk oksida grafena. Penelitian lainnya menggunakan limbah pelepah sawit yang diteliti oleh (Thebora, 2020) dimana limbah pelepah sawit mempunyai komponen dominan selulosa, hemiselulosa dan lignin yang dimanfaatkan sebagai sumber karbon. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui cara sintesis grafena dan karakteristik grafena yang dihasilkan dari limbah pelepah sawit. Oksida grafena disintesis menggunakan metode hummers yaitu reaksi oksidasi grafit menjadi oksida grafena dengan oksidator KMnO_4 dan H_2SO_4 dalam suasana asam yang menghasilkan campuran berwarna coklat tua.

Pada penelitian ini juga akan digunakan metode hummers modifikasi sebagai metode untuk mensintesis oksida grafena dari bahan organik yaitu limbah penggergajian. Metode yang digunakan untuk sintesis oksida grafena selain metode hummers diantaranya metode penumbuhan *epitaxial*, metode *microchanical exfoliation*, dan *Chemical Vapor Decomposition* (CVD) (Rafitasari, 2016). Untuk metode penumbuhan *epitaxial* dan CVD memerlukan biaya yang cukup mahal sedangkan metode *microchanical exfoliation* tidak efisien untuk digunakan. Oleh karena itu, metode hummers dipilih karena lebih efisien dibanding beberapa metode sintesis oksida grafena

lainnya serta memiliki beberapa kelebihan diantaranya proses reaksinya tidak memakan waktu yang lama, proses reaksinya sangat aman karena menggunakan KMnO_4 yang tidak menghasilkan bahan peledak atau bahan yang bersifat eksplosif seperti ClO_2 yang dihasilkan dari KClO_3 , HNO_3 digantikan dengan menggunakan NaNO_3 yang dapat menghasilkan kabut asam (Chen, 2013).

Penelitian ini sudah dilakukan variasi suhu sintering terhadap limbah penggergajian untuk sintesis oksida grafena. Sintering merupakan proses memadatkan bahan yang telah berbentuk serbuk dengan cara menekan (*compaction*) kemudian dipanaskan dibawah titik lelehnya (Yafie 2014). Pada penelitian (Syakir, 2015) melakukan proses sintering dengan variasi suhu 100C, 150C, 350C, dan 500C yang dianalisis menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Dilakukannya variasi sintering guna mengetahui pengaruhnya terhadap oksida grafena yang dihasilkan serta untuk mengkonfirmasi apakah terdapat oksida grafena pada variasi yang dihasilkan melalui data puncak XRD serta gugus fungsi oksida grafena yang dihasilkan melalui FTIR sehingga didapat suhu sintering terbaik dalam sintesis oksida grafena.

Untuk mengetahui nilai penyerapan gelombang mikro didapatkan dari nilai *reflection loss* yang akan diplotkan pada grafik dengan rentang frekuensi pengukuran, sedangkan untuk hasil optimum dari penyerapan gelombang mikro dilihat dari nilai *reflection loss* maksimum nya. *Reflection loss* merupakan besaran yang menunjukkan besarnya energi elektromagnetik yang hilang setelah mengenai suatu material, karena energi tersebut terserap oleh

material tersebut (Fadhilah, Ramli, Gusnedi, & Yohandri, 2019). *Reflection loss* bernilai negatif, dimana semakin tinggi nilai negatif *dari reflection loss* maka semakin bagus hasil persentase kekuatan penyerapan gelombang mikro suatu material.

Berdasarkan uraian diatas maka peneliti mengangkat penelitian dengan judul Analisis Sifat Penyerap Gelombang Mikro Oksida Grafena Dari Limbah Penggergajian Yang Disintesis Dengan Metode Hummer Modifikasi. Hal ini sangat mendukung dalam upaya mendegradasi limbah penggergajian dan menjadi bahan peredam pantulan atau penyerap gelombang mikro.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka permasalahan yang dapat diidentifikasi antara lain:

- a. Belum adanya pemanfaatan yang maksimal terhadap pengolahan limbah penggergajian.
- b. Belum banyaknya penelitian terkait oksida grafena yang menggunakan limbah penggergajian.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu Bagaimana pengaruh suhu sintering terhadap sifat penyerap gelombang mikro oksida grafena dari limbah penggergajian dengan mengetahui nilai *Reflection Loss* (RL) yang didapatkan dalam satuan desibel (dB)?

D. Batasan Masalah

Pada penelitian ini, penulis membatasi permasalahan yang akan dibahas, yaitu:

- a. Limbah penggergajian yang digunakan yaitu limbah penggergajian kayu jenis Borneo yang didapat dari industri kecil kayu dikawasan Lubuk Buaya kota Padang.
- b. Variasi suhu yang digunakan yaitu 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, 450°C.

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui dan menentukan pengaruh suhu sintering terhadap sifat penyerap gelombang mikro oksida grafena dari limbah penggergajian dengan mengetahui nilai *Reflection Loss* (RL) yang didapatkan.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu:

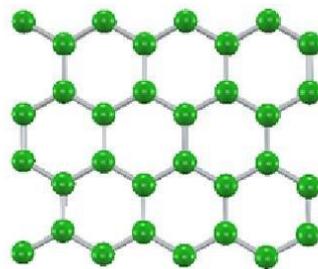
- a. Untuk mengurangi limbah penggergajian dan memanfaatkannya menjadi bahan yang berguna serta memiliki nilai jual yang tinggi.
- b. Untuk mengetahui sifat penyerap gelombang mikro oksida grafena dari limbah penggergajian.
- c. Sebagai refensi yang untuk penelitian lanjutan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Grafena

Grafena merupakan material nano berbasis karbon terbaru yang memiliki susunan heksagon karbon yang berbentuk lembaran 2 dimensi yang cukup kuat. Grafena terdiri dari beberapa lapis karbon dan memiliki karakteristik yang cukup istimewa mencakup sifat-sifat optik, mekanik, listrik, serapan gelombang elektromagnetik dan magnetik. Lembaran-lembaran grafena yang ditumpuk secara bersamaan akan membentuk material berbasis karbon yaitu *graphite*. *Graphite* sendiri merupakan material yang terdiri dari banyak lembaran grafena yang ditumpuk secara bersama. (Gaim and Novoselov 2007) memberikan metode sederhana untuk mengekstraksi grafena dari *graphite* melalui penyayatan lapisan dengan mengambil karbon yang terdapat pada pensil dengan ketebalan hanya satu atom (Darminto, Malik A, and Asih 2018).

Susunan atom-atom pada grafena yaitu monolayer 2 dimensi yang membentuk struktur kristal heksagonal. Berikut gambar struktur oksida grafena:



Gambar 1. Struktur grafena
(Sumber: Nor et al., 2014)

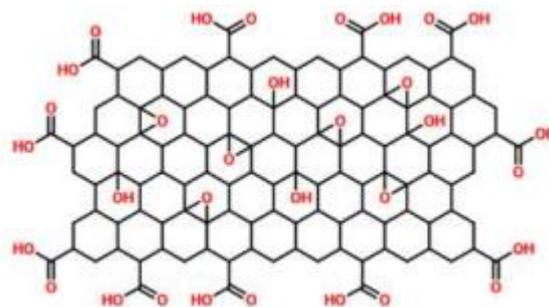
Dapat dilihat dari gambar 1 bahwa grafena berbentuk kisi heksagonal dan mempunyai struktur 2 dimensi yang terdiri dari lapisan monoatomik karena hibridasi atom karbon sp^2 dan dikemas rapat dalam bentuk kisi kristal seperti

sarang lebah. Karbon 2 dimensi seperti grafena tidak tersedia di alam sehingga memerlukan sintesis untuk mendapatkannya.

Karena struktur yang unik, grafena memiliki sifat-sifat yang luar biasa salah diantaranya yaitu mobilitas elektron yang tinggi mencapai 200.000 cm^2/Vs , konduktivitas listrik yang tinggi ($0,96 \times 10^6 \Omega^{-1}$), konduktivitas termal yang tinggi (5000W/mK), transparansi optik yang baik (97,7%), serta memiliki kekuatan tarik 1 Tpa atau 200 kali lebih keras dari baja dan 20 kali lebih keras dari berlian. Satu lembar graphene dengan luas 1 cm^2 beratnya hanya 0,77 miligram (Osman et al. 2021). Grafena dan turunannya dapat diaplikasikan dalam sumber energi terbarukan dan diaplikasikan pada berbagai bidang yaitu sebagai polimer nanokomposit, fotonik, elektronika, katalis, pengkonversi energi, penyimpanan, penyerap zat pencemar dan lainnya (Darminto, Malik A, and Asih 2018).

B. Oksida Grafena

Oksida grafena merupakan grafena yang teroksidasi yang memiliki ikatan dengan kombinasi gugus fungsi C-O, C=O dan -OH. Oksida grafena memiliki struktur yang bersifat hidrofilik dan pada bagian basal dan tepi-tepinya mengandung gugus-gugus fungsional oksigen yaitu gugus karboksil, alkoksil dan epoksil yang mana menyebabkan oksida grafena mengandung atom karbon hibrid sp^2 dan sp^3 serta bersifat isolator (Alam, Sharma, and Kumar, 2017). Struktur oksida grafena dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Struktur oksida grafena
sumber: (Ossila 2019)

Oksida grafena diperoleh dari proses pengelupasan oksida grafit menjadi lembaran-lembaran melewati proses sonikasi dan stirring. Proses pengelupasan dari grafit untuk mendapatkan oksida grafit harus menggunakan reaksi oksidasi yang kuat menggunakan bahan karbon. Untuk proses pengelupasan ini dapat dilakukan baik secara fisika maupun kimia (Chen et al. 2013). Untuk gugus fungsi pada permukaan oksida grafena dapat mempengaruhi nilai dari konduktivitas oksida grafena. Meningkatnya nilai konduktivitas oksida grafena karena pengelupasan dari gugus fungsi oksigen. Nilai peningkatan konduktivitas oksida grafena berkisar antara 0.005 S/m hingga 0.14 S/m dengan menggunakan *conductive-meter* (Zaaba et al. 2017).

Oksida grafena memiliki beberapa sifat, yang pertama yaitu sifat elektronik yang khas. Oksida grafena dapat menghasilkan resistansi $\sim 10^{12} \Omega \text{ sq}^{-1}$ atau lebih. Tetapi, setelah oksida grafena mengalami proses reduksi, resistansi dari oksida grafena yang telah direduksi bisa menurunkan nilai dari resistansi oksida grafena tersebut dan menyebabkan perubahan sifat material menjadi semikonduktor. Sifat selanjutnya yaitu oksida grafena memiliki sifat optik dan mekanik yang baik serta penyerap gelombang mikro. Transmisi optik lapisan oksida grafena dapat disesuaikan dengan memvariasikan

ketebalan film. Absorpsi optik oksida grafena didominasi oleh transisi π - π^* dengan puncak absorpsi antara 225 dan 275 nm (4.5-5.5 eV). Pada proses reduksi, daya serat optik oksida grafena meningkat, sedangkan puncaknya bergeser menjadi ~270 nm. Sedangkan sifat mekanik dari oksida grafena tergantung dari sampel yang digunakan dilihat dari derajat oksidasi dan ketebalan. Karena memiliki sifat-sifat yang menarik dan khas oksida grafena dapat diaplikasikan diberbagai bidang seperti film konduktif yang transparan, material komposit, biomedis dan sebagai penyimpanan dan proteksi lingkungan serta lainnya (Li et al. 2015).

Untuk mensintesis oksida grafena ada beberapa metode yang bisa digunakan yaitu *Chemical Vapor Decomposition* (CVD) (Sutter, Flege, and Sutter 2008), *micromechanical exfoliation* dengan menggunakan *scout tape* (Gaim and Novoselov 2007), dan penumbuhan *epitaxial* diatas substrate SiC dan (Berger et al. 2004). Namun metode *microchemical exfoliation* tidak efisien untuk dilakukan, sedangkan metode CVD dan penumbuhan *epitaxial* membutuhkan biaya yang sangat mahal. Adapun cara lain untuk melakukan sintesis grafena adalah menggunakan metode sintesis secara kimia melalui sintesis oksida grafena terlebih dahulu kemudian ikatan oksida pada oksida grafena direduksi dengan menggunakan suatu senyawa kimia agen pereduksi. Sintesis oksida grafena secara kimia menggunakan bubuk grafit yang dioksidasi dengan asam kuat disebut dengan metode Hummers. Metode ini dikenal dengan cara kotor untuk memperoleh grafena, karena hasil sintesisnya masih mengandung atom-atom pengotor yang berikatan pada struktur karbon penyusun grafena (Hummers and Offeman 1958).

C. Metode Hummer Modifikasi

Pada tahun 1958, William S. Hummers dan Richard E. Offeman mempublikasikan metode oksidasi untuk merubah grafit menjadi oksida grafena (Hummers & Offeman, 1958). Untuk memperoleh oksida grafena, maka sebelumnya harus dibentuk oksida grafit atau yang dikenal asam grafit. Asam grafit telah ditemukan oleh Brodie sejak tahun 1859 setelah Brodie mengoksidasi *Ceylon graphite* dengan campuran kalium klorida dan asam nitrat. Sejak itu dikembangkan berbagai cara untuk mendapatkan oksida grafena. Staudenmaier mengembangkan metode Brodie dengan menambahkan sulfida pada pelarut oksidanya. Namun menurut Hofmann, Frenzel, dan Hamdi, metode Staudenmaier membutuhkan waktu oksidasi yang lebih lama dan menghasilkan produk samping yang berbahaya. Produk samping yang berbahaya yaitu berupa gas yang harus ditangani dengan hati-hati karena disamping sangat berbahaya juga dapat menimbulkan ledakan. Oleh karena itu, metode hummer yang dipublikasikan Brodie pada tahun 1958 dinilai lebih baik dari pada metode yang dikembangkan oleh Staudenmaier (Hummers and Offeman 1958).

Metode yang kemudian dikenal sebagai metode Hummers tersebut mengoksidasi grafit dengan cara mereaksikan grafit dengan kalium permanganat (KMnO_4) dan natrium nitrat (NaNO_3) dalam larutan asam sulfat (H_2SO_4). Beberapa kelebihan metode hummers yaitu pada saat proses oksidasi tidak mengeluarkan gas ClO_2 , proses oksidasi pada metode hummers berlangsung lebih cepat dengan suhu lebih rendah, produk akhir oksida grafena dari metode hummers memiliki tingkat oksidasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan produk akhir dari metode Staudenmaier dan bahan-

bahan yang digunakan pada metode hummers lebih mudah untuk didapat dan tidak terlalu berbahaya seperti dalam metode Staudenmaier. Karena itu metode hummers lebih sering digunakan untuk mensintesis oksida grafena (Syakir et al. 2015).

Metode pengembangan dari metode hummers yaitu metode hummers modifikasi. Untuk perbedaan antara metode hummers dengan metode hummers modifikasi yaitu pada jumlah NaNO_3 dan KMnO_4 . Pada metode hummers modifikasi jumlah NaNO_3 dikurangi penggunaannya sementara untuk KMnO_4 ditingkatkan jumlah penggunaannya dengan perbandingan 9:1 (Chen et al. 2013). KMnO_4 merupakan salah satu zat oksidasi yang kuat terutama pada kondisi asam. Hasil dari reaksi KMnO_4 dan H_2SO_4 menghasilkan Mn_2O_7 (*diamanganase heptoxide*). Akibat dari penambahan ini bisa meningkatkan laju reaksi dan dapat mengurangi gas beracun yang dihasilkan. Oleh karena itu, dilakukan modifikasi dari metode hummers agar sintesis oksida grafena lebih efisien dilakukan tanpa menghasilkan gas berbahaya ataupun gas beracun (Alam, Sharma, and Kumar 2017).

D. Limbah Penggergajian

Tanaman kayu dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok besar yaitu *Gymnospora* yang biasa disebut dengan *Softwood* dan kelompok *Angiospora* yang dikenal dengan *Hardwood*. Ada tiga macam industri kayu di Indonesia yang dominan menggunakan kayu dalam jumlah relatif besar yaitu penggergajian, vinir atau kayu lapis dan pulp atau kertas. Sampai saat ini limbah biomassa dari industri tersebut belum dimanfaatkan secara efisien karena masih ada limbah penggergajian kayu yang ditimbun dan sebagian

dibuang ke aliran sungai (pencemaran air) atau dibakar secara langsung yang mana akan menambah emisi karbon di atmosfer.

Limbah kayu merupakan sisa-sisa kayu atau bagian kayu dalam berbagai bentuk dan ukuran yang terpaksa dibuang dalam proses produksinya karena tidak dapat menghasilkan produk (*output*) yang bernilai dari segi ekonomi dengan tingkat teknologi pengolahan tertentu yang digunakan. Limbah kayu banyak dijumpai di lokasi pengolahan kayu seperti limbah di industri kayu lapis, limbah di lokasi penggergajian dan lokasi lainnya. Salah satu industri pengolahan kayu yang banyak menghasilkan limbah kayu yaitu industri penggergajian (Wulandari 2019).

Industri penggergajian yaitu suatu unit pengolahan kayu yang memakai bahan baku kayu dan alat utama bilah gergaji, mesin sebagai tenaga penggerak serta dilengkapi dengan bermacam alat dan mesin pembantu. Industri penggergajian menghasilkan serbuk gergaji yang tidak dapat dimanfaatkan. Serbuk gergaji yaitu butiran kayu yang dihasilkan dari proses menggergaji. Limbah penggergajian merupakan potongan kayu dalam bentuk dan ukuran tertentu yang seharusnya masih bisa dimanfaatkan tetapi ditinggalkan karena keterbatasan tingkat teknologi dan tidak memiliki nilai ekonomi (Billah 2009).

Produksi total kayu gergajian Indonesia mencapai 2,6 juta m³ per tahun, dengan asumsi bahwa jumlah limbah yang terbentuk 54,24% dari produksi total yang menghasilkan limbah penggergajian kayu sebanyak 1,4 juta pertahun dan angka ini cukup besar karena mencapai sekitar separuh dari produksi kayu gergajian (Pari, Tri Widayati, and Yoshida 2009). Balai penelitian hasil hutan (BPHH) pada kilang penggergajian di Sumatera dan Kalimantan bahwa

rendemen rata-rata penggergajian adalah 45% sisanya 55% berupa limbah. Sebanyak 10% dari limbah penggergajian tersebut merupakan serbuk gergaji (wibowo, 1990). Berdasarkan penelitian (Suharti et al. 2021) kandungan karbon yang dihasilkan dari pembakaran limbah penggergajian yaitu 51,2%.

E. Sifat Penyerap Gelombang Mikro

Secara khusus oksida grafena dapat digunakan sebagai material penyerap gelombang mikro. Gelombang mikro adalah gelombang elektromagnetik berfrekuensi tinggi yaitu 300 GHz - 300 GHz (Hollas 2004). Gelombang mikro merupakan gelombang yang dapat mentransmisikan sinyal dengan kecepatan tinggi. Gelombang mikro memuat konsep hukum-hukum optik absorpsi, refleksi dan transmisi yang bergantung pada material yang digunakan. Untuk material yang bersifat transparan akan meneruskan gelombang tanpa ada yang diserap dan tidak menimbulkan panas pada material. Material yang bersifat konduktor tidak menyerap atau meneruskan gelombang melainkan dipantulkan kembali dan tidak menimbulkan panas pada material. Sedangkan material yang bersifat absorber akan menyerap gelombang baik sebagian ataupun seluruh gelombang yang datang dan material akan menjadi panas (Novia and Astuti 2019).

Salah satu kegunaan gelombang mikro yaitu pada teknologi radar yang dimanfaatkan untuk mendeteksi objek jarak jauh dengan memancarkan sinyal gelombang radar dan menerima respon yang dipantulkan oleh objek sasaran. Dimana selang waktu kembalinya pantulan sinyal menunjukkan jarak antara pemancar dan objek. Ada beberapa teknik untuk menyerap serta meminimalisir pantulan dari gelombang mikro atau radar yaitu *passive*

cancellation, active cancellation dan radar absorbing material (RAM) (Wahyu and dkk 2008).

RAM merupakan material yang dapat menyerap gelombang mikro sehingga dapat mengurangi gelombang yang direfleksikan. Penyebab terjadinya penyerapan gelombang mikro yaitu karena adanya interaksi antara gelombang dengan material absorber yang menghasilkan *reflection loss (RL)* energi. Interaksi ini akan membentuk disipasi dalam bentuk energi panas. Material absorber dibagi dua yaitu dielektrik dan magnetik. Untuk bahan dielektrik yang digunakan adalah karbon dan magnetik adalah ferrit. Besarnya kemampuan suatu material dalam menyerap gelombang mikro dapat dipresentasikan dengan nilai RL yang dinyatakan dalam satuan db dan berharga negatif (-). Material penyerap gelombang mikro yang baik memiliki sifat listrik dan magnetik yang baik serta resistivitas listrik yang tinggi (Rachmawati 2016).

Besar kemampuan suatu material dalam penyerapan gelombang mikro direpresentasikan dengan nilai *reflection loss* yang dinyatakan dalam persamaan (1). Z_0 merupakan impedansi udara yang besarnya sekitar 377Ω dan Z_{in} adalah impedansi karakteristik dari bahan yang besarnya dinyatakan dalam persamaan (2).

$$RL = 20 \log \left| \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \right| \quad (1)$$

$$Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left\{ j \left(\frac{2\pi f d}{c} \right) \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \right\} \quad (2)$$

f , d dan c berturut-turut merupakan frekuensi, tebal lapisan material absorber dan kecepatan cahaya (3×10^8 m/s). μ_r merupakan permeabilitas relatif bahan dan ϵ_r merupakan permitivitas relatif bahan (Durmus, Durmus, and Kavas 2015). RL dinyatakan dalam satuan *decibel* (dB) dan berharga negatif. RL akan bernilai besar ketika nilai impedansi karakteristik dari material absorber (Z_{in}) mendekati nilai impedansi medium gelombang yang dalam hal ini berupa udara (Z_0). Oleh karena material absorber yang baik mempunyai nilai μ_r dan ϵ_r yang sesuai dengan permeabilitas (μ) dan permitivitas (ϵ) udara. Kesesuaian impedansi ini merupakan faktor penting selain karakteristik lain seperti *Reflection loss* dielektrik atau magnetik (Cao et al. 2018).

Untuk parameter penyerapan gelombang mikro tidak hanya dilihat dari nilai RL, namun juga dapat ditinjau dari lebar pita penyerapan. Hal ini terkait dengan efektivitas pelapisan material pada aplikasinya sebagai penyerap gelombang mikro.

F. Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Sifat Penyerap Gelombang Mikro

Sintering merupakan proses pemadatan dari sekumpulan serbuk pada suhu tinggi di bawah titik leburnya sehingga terjadi perubahan struktur mikro. Perubahan struktur mikro yang terjadi seperti pengurangan jumlah dan ukuran pori, penyusutan dan peningkatan densitas, serta pertumbuhan butir (Fadhilah, Ramli, Gusnedi, & Yohandri, 2019). Suhu *sintering* biasanya diatur antara 0,7 dan 0,9 dari *absolute scale* (titik lebur bahan). Ketika sintering dilakukan maka akan terjadi pemadatan sehingga menyebabkan perubahan bentuk struktur kristal dan semakin cepat proses pembentukan kristal tersebut maka semakin besar suhu sintering digunakan.

Faktor-faktor yang menentukan proses dan mekanisme sintering antara lain jenis bahan, komposisi, bahan dan ukuran partikel. Proses sintering akan berpengaruh cukup besar pada pembentukan fase Kristal bahan. Fraksi fase yang terbentuk umumnya bergantung pada waktu dan suhu sintering. Semakin besar suhu sintering dimungkinkan semakin cepat proses pembentukan Kristal tersebut, sedangkan sintering yang cukup akan menyebabkan partikel halus menjadi lebih padat. Adanya perlakuan panas menyebabkan terjadinya ikatan antar partikel serbuk dan meningkatkan kekuatan dari produk yang dihasilkan. Dalam tahapan ini tujuannya adalah memadat-kompakkan bahan yang sudah dicetak dengan suhu tinggi.

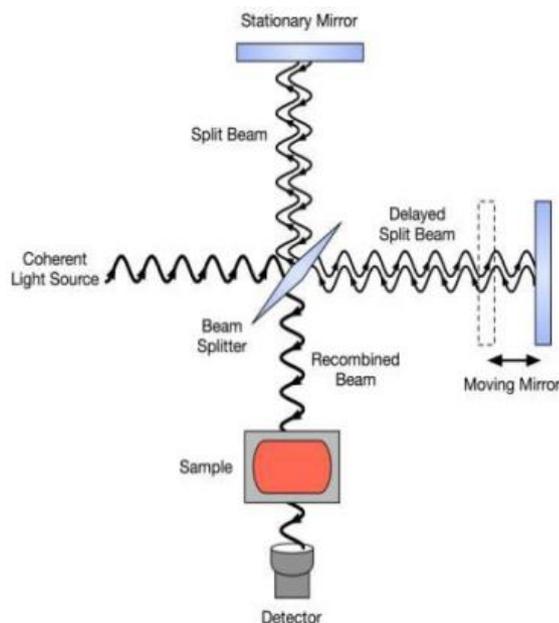
Tinggi rendahnya suhu sintering akan mempengaruhi struktur pertumbuhan kristal dan pembentukan fase kristal bahan serta lama atau sebetulnya suhu sintering akan mempengaruhi kehalusan dari partikel menjadi lebih padat. Sedangkan faktor-faktor yang menentukan proses sintering yaitu komposisi bahan, jenis bahan dan ukuran partikel (Hutami, 2019).

Pada penelitian Fadhilah (2019) mengenai pengaruh suhu sintering pada penyerap gelombang mikro nanokomposit NiFe_2O_4 untuk material penyerap radar didapatkan hubungan antara suhu sintering dengan sifat penyerap gelombang mikro yaitu suhu sintering mempengaruhi daya serap suatu material. Tinggi rendahnya suhu sintering mempengaruhi besarnya nilai *reflection loss* dan lebar pita frekuensi. Jadi, material penyerap gelombang mikro yang baik tidak hanya mempunyai *reflection loss* yang kecil, namun juga harus memiliki pita frekuensi yang besar.

G. *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Fourier Transform Infra Red (FTIR) merupakan salah satu alat pengukuran untuk mendeteksi struktur molekul senyawa melalui identifikasi gugus fungsi penyusun senyawa dengan gelombang *infra red* pada panjang gelombang tertentu. FTIR dapat digunakan untuk analisis kualitatif maupun kuantitatif. Untuk analisis kualitatif dilakukan dengan cara melihat bentuk spektrumnya dengan melihat puncak-puncak spesifik yang menunjukkan jenis gugus fungsional yang dimiliki senyawa tersebut. Sedangkan untuk analisis kuantitatif dilakukan dengan menggunakan senyawa standar yang dibuat spektrumnya pada berbagai variasi konsentrasi. Pengujian sampel menggunakan FTIR tidak memerlukan persiapan sampel yang rumit dan bisa digunakan dalam berbagai fase baik padat, cair maupun gas (Kristianingrum 2016).

Prinsip kerja FTIR yaitu mengenali gugus fungsi suatu senyawa dari absorbansi inframerah yang dilakukan terhadap senyawa tersebut. Pola absorbansi yang diserap oleh setiap senyawa berbeda-beda sehingga senyawa-senyawa dapat dibedakan dan dikuantifikasikan. Bila radiasi inframerah dilewatkan melalui suatu cuplikan, maka molekul-molekulnya dapat mengabsorpsi energi dan terjadilah transisi diantara tingkat vibrasi (*ground state*) dan tingkat vibrasi tereksitasi (*excited state*). Sebagian radiasi sinar infra merah tersebut diserap oleh molekul tersebut (Pardede 2018). Mekanisme kerja FTIR diperkuatkan pada gambar 3



Gambar 3. Skema prinsip kerja FTIR
 Sumber: (Singh et al. 2011)

Dari karakterisasi menggunakan FTIR didapatkan hasil berupa grafik yang menunjukkan hubungan transmittansi dengan panjang gelombang. Pada umumnya sisi transmittansi akan muncul cekungan. Cekungan ini menunjukkan bahwa terjadi interaksi antara molekul dengan gelombang inframerah dan menunjukkan ikatan apa yang terdapat pada sampel (Puspitasari 2017).

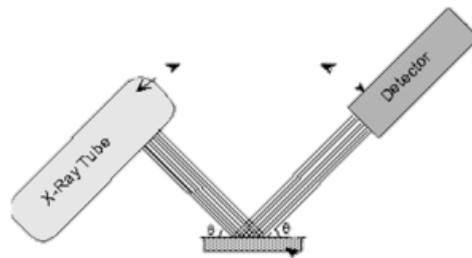
H. X-Ray Diffraction (XRD)

X-ray diffraction (XRD) yaitu metode karakterisasi lapisan tipis yang digunakan untuk mengetahui struktur kristal serta parameter kisi kristal. Selain itu, XRD dapat juga digunakan untuk mengetahui susunan berbagai jenis atom dan orientasi kristal. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang ($\lambda = 0,1 \text{ nm}$) yang lebih pendek dari pada gelombang cahaya ($\lambda = 400\text{-}800 \text{ nm}$). Sinar-X ditemukan pertama kali oleh Wilhelm Conrad Rontgen pada tahun 1895. Karena asalnya tidak diketahui waktu itu maka disebut sinar-X. Sinar-X digunakan untuk tujuan pemeriksaan yang

tidak merusak pada material maupun manusia. Disamping itu, sinar-X dapat juga digunakan untuk menghasilkan pola difraksi tertentu yang dapat digunakan dalam analisis kualitatif dan kuantitatif material (Cahyani 2018).

Panjang gelombang sinar-X merupakan dasar teknik difraksi sinar-X karena sinar-X mampu menembus zat padat sehingga dapat digunakan untuk menentukan struktur kristal. Radiasi sinar-X dihasilkan ketika elektron penembak bergerak dengan dipercepat yang mana mengakibatkan beda tegangan (potensial) anoda yang tinggi lalu menumbuk permukaan suatu bahan dalam tabung hampa udara. Karakterisasi dengan XRD merupakan teknik untuk mengetahui bagaimana karakteristik suatu kristalografi dengan melihat puncak-puncak intensitas yang muncul (Wahyuni, Hastuti, and Fisika 2012).

XRD terdiri dari tiga bagian utama yaitu tabung sinar-X, tempat objek yang diteliti dan detektor sinar x. Prinsip kerja XRD yaitu sinar-X yang terdifraksi dibentuk oleh atom-atom kristal dari sampel. Dengan munculnya berbagai sudut yang timbul, pola difraksi yang terbentuk merupakan karakterisasi dari sampel. Untuk sumber sinar-X yang terdapat pada tabung sinar-X yang berisi katoda memanaskan filamen. Percepatan elektron akan menembaki objek yang disebabkan dari perbedaan tegangan. Ketika elektron mempunyai tingkat energi yang tinggi dan menabrak elektron dalam objek sehingga dihasilkan pancaran sinar-X. Objek dan detektor berputar untuk menangkap dan merekam intensitas refleksi sinar-X. Detektor merekam dan memproses sinyal sinar-X dan mengolahnya dalam bentuk grafik (Krisnawan 2009). Berikut gambar komponen utama difraksi x-ray.



Gambar 4. Komponen utama difraksi sinar x-ray
(Sumber: Pardede 2018)

Gambar 3 menjelaskan metode XRD dimana tabung sinar-X menembak pada sampel padatan kristalin kemudian mendifraksikan sinar ke segala arah dengan memenuhi hukum Bragg. Detektor bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel. Sampel serbuk atau padatan kristalin memiliki bidang-bidang kisi yang tersusun secara acak dengan berbagai kemungkinan orientasi dan begitu juga partikel-partikel kristal yang terdapat didalamnya (Speakman 2011).

I. *Vector Network Analyser (VNA)*

Vector Network Analyser (VNA) merupakan salah satu alat yang paling penting di bidang teknik gelombang mikro yang dapat memberikan karakterisasi secara cepat dan akurat dari komponen, perangkat atau rangkaian gelombang mikro. Karakterisasi VNA berguna untuk mengetahui besarnya *reflection loss (RL)* yaitu sifat serapan gelombang mikro suatu material. Kurva RL akan semakin turun seiring dengan semakin besarnya nilai RL. Semakin besar nilai RL maka semakin besar nilai penyerapan yang dapat dilakukan oleh material tersebut (Prahmadyana 2015).

Prinsip kerja dari VNA yaitu dengan melihat nilai absorpsi, refleksi, dan transmisi terhadap material. Skema prinsip kerja dari VNA yaitu gelombang

Si (gelombang elektromagnetik datang) yang berasal dari Port 1 mengenai suatu material. Ketika gelombang elektromagnetik Si mengenai suatu material, maka material tersebut akan mengalami beberapa kondisi diantaranya yaitu gelombang elektromagnetik akan diserap jika material tersebut merupakan material penyerap, gelombang elektromagnetik akan direfleksikan/dipantulkan jika material tersebut merupakan material logam dan gelombang akan ditransmisikan/diteruskan jika material tersebut merupakan material transparan (Agilent-Technologies 1998).

Variabel yang diperoleh dari proses ini yaitu Pr (daya gelombang yang direfleksikan) dan Pt (daya gelombang yang ditransmisikan), sedangkan absorpsi material terhadap gelombang mikro dapat dihitung berdasarkan scattering parameter (parameter hambur). Nilai dari koefisien refleksi (Γ) dan persentase kekuatan penyerapan suatu material dari gelombang elektromagnetik didapatkan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$|\Gamma| = 10^{(RL_{maksimum}/20)} \quad (4)$$

$$\text{Persen absorpsi(through power) (\%)} = (1 - r) \times 100\% \quad (5)$$

Dimana Γ adalah koefisien refleksi, RL adalah Reflection Loss (dB) dan through power merupakan persentase kekuatan penyerapan suatu material dari gelombang elektromagnetik (%) (Isnanita 2019).

J. Penelitian Relevan

Beberapa penelitian yang telah mengkaji mengenai sintesis oksida grafena dari bahan organik salah satunya yaitu Mashuri 2020 mensintesis oksida grafena berbahan dasar arang bambu kuning, ori dan petung sebagai bahan penyerap gelombang mikro dengan metode karbonisasi dengan temperatur

600°C selama 45 menit yang dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Vector Network Analyser* (VNA). Hasil pengukuran menunjukkan nilai *maximum reflection loss* (RLm) dan *matching frequency* (fm) serbuk grafena alam berfase *reduction graphene oxide* (rGO) dari arang bambu berturut-turut Petung (RLm1 = -52,88 dB, fm1 = 8,56 GHz, RLm2 = -26,33 dB, fm2 = 10,18 GHz) , Ori (RLm1 = -45,46 dB, fm1 = 8,40 GHz, RLm2 = -25,15 dB, fm2 = 10,18 GHz) dan Kuning (RLm1 = -34,15 dB, fm1 = 8,40 GHz, RLm2 = -25,46 dB, fm2 = 10,16 GHz) pada ketebalan optimum 0,6 mm. Bambu Petung sangat potensial dijadikan sebagai bahan penyerap gelombang mikro dalam bentuk grafena alam berfase rGO bersifat ramah lingkungan, relatif murah dan sederhana pembuatannya (Mashuri, 2020).

Selanjutnya (Bete, 2019) melakukan sintesis oksida grafena berbahan dasar tongkol jagung yang mengkaji bagaimana sifat optiknya dengan metode *Liquid Phase Exfoliation* (LPE) dimana diperoleh hasil analisis spektrum absorbansi pada masing-masing variasi massa, pada perlakuan ultrasonifikasi nilai absorbansi meningkat secara linear seiring bertambahnya massa dan berdasarkan nilai absorbansi tersebut larutan sampel hasil sintesis termasuk oksida grafena.

Penelitian lainnya menggunakan limbah pelepah sawit yang diteliti oleh (Thebora, 2020) dimana limbah pelepah sawit mempunyai komponen dominan selulosa, hemiselulosa dan lignin yang dimanfaatkan sebagai sumber karbon. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui cara sintesis grafena dan karakteristik grafena yang dihasilkan dari limbah pelepah sawit. Oksida

grafena disintesis menggunakan metode hummers yaitu reaksi oksidasi grafit menjadi oksida grafena dengan oksidator KMnO_4 dan H_2SO_4 dalam suasana asam yang menghasilkan campuran berwarna coklat tua.

BAB V PENUTUP

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan yaitu “Analisis Sifat Penyerap Gelombang Mikro Oksida Grafena Dari Limbah Penggajian yang Disintesis Dengan Metode Hummer Modifikasi” didapatkan kesimpulan, yaitu:

1. Hasil sintesis dari limbah penggajian memiliki fasa oksida grafena dimana variasi suhu sintering oksida grafena pada suhu 250°C, 300°C, 350°C, 400°C dan 450°C mempengaruhi sifat penyerap gelombang mikro oksida grafena dimana tidak terdapat hubungan yang linear antara suhu sintering terhadap nilai *reflection loss* yang didapatkan. Untuk hasil oksida grafena yang memiliki sifat penyerap gelombang mikro yang paling baik yaitu oksida grafena pada suhu 450°C, karena memiliki nilai *reflection loss* maksimum sebesar -25,60 dB dan persentase kekuatan penyerapan (*through power*) oksida grafena dari gelombang mikro sebesar 92,59%.

B. SARAN

Adapun saran berdasarkan penelitian yang telah dilakukan yaitu:

1. Dibutuhkan teknologi alat tekan dalam memadatkan oksida grafena pada cetakan yang digunakan saat pengujian menggunakan VNA agar oksida grafena yang diuji memiliki struktur yang lebih padat.

DAFTAR PUSTAKA

- Agilent-Technologies. 1998. "Basics of LC/MS."
- Alam, Syed Nasimul, Nidhi Sharma, and Lailesh Kumar. 2017. "Synthesis of Graphene Oxide (GO) by Modified Hummers Method and Its Thermal Reduction to Obtain Reduced Graphene Oxide (RGO)*." *Graphene* 06 (01): 1–18. <https://doi.org/10.4236/graphene.2017.61001>.
- Berger, Claire, Zhimin Song, Tianbo Li, Xuebin Li, Asmerom Y. Ogbazghi, Rui Feng, Zhenting Dai, et al. 2004. "Ultrathin Epitaxial Graphite: 2D Electron Gas Properties and a Route toward Graphene-Based Nanoelectronics." *Journal of Physical Chemistry B* 108 (52): 19912–16. <https://doi.org/10.1021/jp040650f>.
- Bete, Yuditha Ignasia, Minsyahril Bukit, Albert Zicko Johannes, and Redi K. Pingak. 2019. "Kajian Awal Sifat Optik Graphene Oxide Berbahan Dasar Arang Tongkol Jagung Yang Disintesis Dengan Metode Liquid Phase Exfoliation (Lpe)." *Jurnal Fisika : Fisika Sains Dan Aplikasinya* 4 (2): 114–20. <https://doi.org/10.35508/fisa.v4i2.1832>.
- Billah, Mutasim. 2009. *Bahan Bakar Alternatif Padat (BBAP) Serbuk Gergaji Kayu*. UPN Press.
- Bps, Kehutanan. 2020. "Produksi Kayu Hutan (M3), 2018-2020." Badan Pusat Statistik. 2020.
- Cahyani, Sri Arum. 2018. "Sintesis Graphene Oxide Berbahan Dasar Graphite Limbah Baterai Zinc-Carbon Dalam Fase Cair Menggunakan Frekuensi Audiosonik Dan Ultrasonik." *Computers and Industrial Engineering*. Universitas Negeri Yogyakarta. <http://ieeauthorcenter.ieee.org/wp-content/uploads/IEEE-Reference-Guide.pdf>
<http://www.lib.murdoch.edu.au/find/citation/ieee.html>
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.022>
<https://github.com/ethereum/wiki/wiki/White-Paper>
<https://tore.tuhh.de/hand>.
- Cao, Maosheng, Chen Han, Xixi Wang, Min Zhang, Yanlan Zhang, Jincheng Shu, Huijing Yang, Xiaoyong Fang, and Jie Yuan. 2018. "Graphene Nanohybrids: Excellent Electromagnetic Properties for the Absorbing and Shielding of Electromagnetic Waves." *Journal of Materials Chemistry C* 6 (17): 4586–

4602. <https://doi.org/10.1039/c7tc05869a>.
- Chen, Ji, Bowen Yao, Chun Li, and Gaoquan Shi. 2013. "An Improved Hummers Method for Eco-Friendly Synthesis of Graphene Oxide." *Carbon* 64 (1): 225–29. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2013.07.055>.
- Darminto, Baqiyah Malik A, and Retno Asih. 2018. *Pengembangan Bahan Karbon Dari Biomassa*. Surabaya, ITS Press.
- Dreyer, Daniel R., Sungjin Park, Christopher W. Bielawski, and Rodney S. Ruoff. 2010. "The Chemistry of Graphene Oxide." *Chemical Society Reviews* 39 (1): 228–40. <https://doi.org/10.1039/b917103g>.
- Durmus, Zehra, Ali Durmus, and Huseyin Kavas. 2015. "Synthesis and Characterization of Structural and Magnetic Properties of Graphene/Hard Ferrite Nanocomposites as Microwave-Absorbing Material." *Journal of Materials Science* 50 (3): 1201–13. <https://doi.org/10.1007/s10853-014-8676-3>.
- Gaim, A.K., and K.S. Novoselov. 2007. "The Rise of Graphene" 6: 183–91. <https://doi.org/10.1038/nmat1849>.
- Helmita, Ramli, and Hidayati. 2019. "Pengaruh Variasi Komposisi Pada Sifat Magnet Dari Nanokomposit NiFe₂O₄/Pani Yang Disintesis Dengan Metode Sol-Gel Spin Coating." *Pillar of Physics* 12 (1): 46–53.
- Hollas, Michael. 2004. "Modern Spectroscopy." In , Fourth. USA: University of Reading.
- Hummers, William S., and Richard E. Offeman. 1958. "Preparation of Graphitic Oxide" 208 (1937): 1937. <https://doi.org/10.1021/ja01539a017>.
- Isnanita, Ratna. 2019. "Analisis Sifat Absorpsi Gelombang Mikro Material Keramik Berbasis La_{0,7}La_{0,3}(Ca_{1-X}Sr_X)_{0,3}MnO₃ (X=0;0,1;0,2;Dan 0,3)." Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Kotov, Nicholas A. 2006. "Material Science: Carbon Sheet Solution." *Angewandte Chemie - International Edition* 45 (32): 5276–81. <https://doi.org/10.1002/anie.200601677>.
- Krisnawan, Aris. 2009. "Karakterisasi Sampel Paduan Magnesium Jenis Az9 1D Dengan Berbagai Variasi Waktu Milling Menggunakan X-Ray Fluorescence (Xrf) Dan X-Ray Diffraction (Xrd)," 1–79.

- Kristianingrum, S. 2016. "Handout Spektroskopi Infra Merah." *Handout Spektroskopi Infra Merah*. 1 (1): 1–15.
- Li, Fen, Xue Jiang, Jijun Zhao, and Shengbai Zhang. 2015. "Graphene Oxide: A Promising Nanomaterial for Energy and Environmental Applications." *Nano Energy* 16: 488–515. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2015.07.014>.
- Manawana, Maykel, Azwar Manafa, Bambang Soegijonoa, and Asep Yudi Hercuadib. 2014. "Microstructures , Magnetic Properties and Microwave Absorption Characteristics of Ti 2 + -Mn 4 + Substituted Barium Hexaferrite Struktur Mikro , Sifat Kemagnetan Dan Karakteristik Penyerapan Gelombang Mikro Dari Barium Hexaferrite." *Jurnal Elektronika Dan Telekomunikasi* 14 (1): 2–6. <https://doi.org/10.14203/jet.v14.15-19>.
- Marcano, Daniela C, Dmitry V Kosynkin, Jacob M Berlin, Alexander Sinitskii, Zhengzong Sun, Alexander Slesarev, Lawrence B Alemany, Wei Lu, and James M Tour. 2010. "Marcano2010 Synthesis.Pdf." *American Chemical Society* 4 (8).
- Mashuri, M, Luthfiati Ningsih, M. Zainul Asrori, T Triwikantoro, and D Darminto. 2020. "Sintesis Dan Sifat Penyerapan Gelombang Mikro Grafena Alam (Reduced Graphene Oxide) Berbahan Dasar Arang Bambu Kuning (Bambusa Vulgaris), Ori (Bambusa Bambos Miq) Dan Petung (Dendrocalamus Asper)." *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya* 16 (3): 173. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v16i3.6973>.
- Nor, Faiz Jazuli, Sasfan Arman Wella, and Suprijadi Suprijadi. 2014. "Pengembangan Sensor Gas Ethyl-Alpha-Methylbutirate (C7H14O2) Berbasis Graphene," no. February.
- Novia, Bunga, and Astuti. 2019. "Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Struktur Dan Sifat Magnetik Fe3O4-TiO2 Sebagai Penyerap Gelombang Mikro" 8 (4): 368–72.
- Osman, Amr, Abdelmoty Elhakeem, Saleh Kaytbay, and Abdalla Ahmed. 2021. "Thermal, Electrical and Mechanical Properties of Graphene/Nano-Alumina/Epoxy Composites." *Materials Chemistry and Physics* 257 (May 2020): 123809. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123809>.
- Ossila. 2019. "Graphene Oxide Powders and Solutions." 2019.

- <https://www.ossila.com/products/graphene-oxide-powders>.
- Pardede, B B. 2018. “Analisis Pengaruh Penambahan Reduced Graphene Oxide Terhadap Sifat Fotokatalitik Dari Komposit ZnO/RGO Dengan Metode Oksidasi Serbuk Zink Dan Reduksi ...”
- Pari, Gustan, Diah Tri Widayati, and Masato Yoshida. 2009. “Mutu Arang Aktif Dari Serbuk Gergaji Kayu.” *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 27 (4): 381–98. <https://doi.org/10.20886/jphh.2009.27.4.381-398>.
- Prahmadyana. 2015. “PENGEMBANGAN BAHAN MAGNETIKBERBASIS BaNi.”
- Puspitasari, Widya Riski. 2017. “Preparasi Dan Sintesis Graphene Oxide Dengan Variasi Waktu Pembakaran Kain Perca Menggunakan Metode Penangkapan Asap Dengan Kaca Preparat Berdasarkan Uji Absorbansi Dan Gugus-Gugus Fungsional.” Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rachmawati, Susmita. 2016. *Pelapisan Single Layer Penyerap Gelombang Radar Dispersi Barium M-Heksaferit / Polianilin Pada Rentang X-Band Coating Single Layer Radar Absorbing Dispersion M-Hexaferrite / Polyaniline At the Range X-Band*.
- Rafitasari, Yeti, Haris Suhendar, Nurul Imani, Fitri Luciana, Hesti Radean, and Iman Santoso. 2016. “Sintesis Graphene Oxide Dan Reduced Graphene Oxide” V: SNF2016-MPS-95-SNF2016-MPS-98. <https://doi.org/10.21009/0305020218>.
- Rudyah Putri Nurzam, Fildzah, Ramli dan Ratnawulan Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, and Jl Hamka Air Tawar. 2019. “PENGARUH KOMPOSISI CoFe₂O₄ TERHADAP SIFAT LISTRIK NANOKOMPOSIT CoFe₂O₄/PANi YANG DISINTESIS DENGAN METODA SOL-GEL.” *Pillar of Physics* 12 (1): 38–45.
- Singh, Virendra, Daeha Joung, Lei Zhai, Soumen Das, Saiful I. Khondaker, and Sudipta Seal. 2011. “Graphene Based Materials: Past, Present and Future.” *Progress in Materials Science* 56 (8): 1178–1271. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2011.03.003>.
- Speakman, Scott A. 2011. “Basics of X-Ray Powder Diffraction;

[Http://Prism.Mit.Edu/Xray.](http://Prism.Mit.Edu/Xray.)” *Mit*, <http://prism.mit.edu/xray>.

<http://prism.mit.edu/xray>.

- Suharti, Profiyanti Hermien, Nanik Hendrawati, Agustin Pratamasari, One Mahardika Rahayu, Politeknik Negeri Malang, and Teknik Kimia. 2021. “Pemanfaatan Serbuk Gergaji Kayu Sebagai Karbon Aktif Melalui Proses Pirolisis Dan Aktivasi Kimia” 4 (2): 91–99.
<https://doi.org/10.25273/cheesa.v4i2.8589.91-99>.
- Sutter, Peter W., Jan Ingo Flege, and Eli A. Sutter. 2008. “Epitaxial Graphene on Ruthenium.” *Nature Materials* 7 (5): 406–11.
<https://doi.org/10.1038/nmat2166>.
- Syakir, Norman, Rhesti Nurlina, Syafiul Anam, Annisa Aprilia, Sahrul Hidayat, Jalan Raya Jatinangor Km, and Jatinangor Sumedang Jawa Barat. 2015. “Norman Syakir / Kajian Pembuatan Oksida Grafit Untuk Produksi Oksida Grafena Dalam Jumlah Besar Kajian Pembuatan Oksida Grafit Untuk Produksi Oksida Grafena Dalam Jumlah Besar” XIX (55): 26–29.
- Thebora, Meyly Ekawati, Kurnia Nastira Ningsih, and Muhammad Irhash Shalihin. 2020. “SINTESIS GRAFENA DARI LIMBAH PELEPAH SAWIT (Elaeis Sp.) DENGAN METODE REDUKSI GRAFIT OKSIDA MENGGUNAKAN PEREDUKSI Zn.” *Jurnal Khazanah Intelektual* 3 (2): 462–76. <https://doi.org/10.37250/newkiki.v3i2.48>.
- Wahyu, Yuyu, and dkk. 2008. *SEMINAR RADAR NASIONAL 2008 Prosiding*. Jakarta: LIPI.
- Wahyuni, Menik Sri, Erna Hastuti, and Jurusan Fisika. 2012. “Karakterisasi Cangkang Kerang Menggunakan Xrd Dan X Ray Physics Basic Unit.” *Jurnal Neutrino* 0 (0): 32–43. <https://doi.org/10.18860/neu.v0i0.1622>.
- Warner, Jamie H. 2013. “Introduction, in : Graphene, Elsevier,” pp 1-4.
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-394593-8.00001-1>.
- Wulandari, Febriana Tri. 2019. “Limbah Industri Penggergajian ; Kajian Dan Pemanfaataannya.” *Silva Samalas* 2 (2): 75–78.
- Yafie, Mohammad Safrudin. dkk. 2014. “Pengaruh Variasi Temperatur Sintering Dan Waktu Tahan Sintering Terhadap Densitas Dan Kekerasan Pada Mmc W-Cu Melalui Proses Metalurgi Serbuk.” *Teknik Pomits* 3 (1): 6.

- Yousefi, Nariman, Xinying Sun, Xiuyi Lin, Xi Shen, Jingjing Jia, Biao Zhang, Benzong Tang, Mansun Chan, and Jang Kyo Kim. 2014. "Highly Aligned Graphene/Polymer Nanocomposites with Excellent Dielectric Properties for High-Performance Electromagnetic Interference Shielding." *Advanced Materials* 26 (31): 5480–87. <https://doi.org/10.1002/adma.201305293>.
- Zaaba, N. I., K. L. Foo, U. Hashim, S. J. Tan, Wei Wen Liu, and C. H. Voon. 2017. "Synthesis of Graphene Oxide Using Modified Hummers Method: Solvent Influence." *Procedia Engineering* 184: 469–77. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.118>.