



## Eksplorasi Potensi Limbah Batang Tembakau sebagai *Prekursor* Alami untuk Sintesis *Graphene Oxide* Berbasis *Green Synthesis* dengan Metode *Hummers Reagen* Kimia

Ahmad Muntako<sup>1\*</sup>, Rizka Ekawati<sup>2</sup>, Sabrina<sup>3</sup>, Firdaus<sup>4</sup>

Program Studi Pendidikan Pendidikan Fisika, Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan (FITK), Universitas Sains Al-Qur'an (UNSIQ), Jl. K.H. Hasyim Asy'ari KM. 3, Kalibeber, Kecamatan Mojotengah, Kabupaten Wonosobo, Jawa Tengah, Indonesia 56351.

Email Korespondensi: [muntakoahmad1@gmail.com](mailto:muntakoahmad1@gmail.com)

### Abstrak

Sintesis Graphene Oxide (GO) telah berhasil dilakukan dari limbah batang tembakau menggunakan metode Hummers yang dimodifikasi, di mana bahan baku terlebih dahulu diolah menjadi grafit melalui pemanasan pada suhu 500°C selama 2 jam. Proses oksidasi grafit menggunakan asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dan kalium permanganat (KMnO<sub>4</sub>) menghasilkan material GO dengan jarak antar lapisan sekitar 0,79 nm serta struktur kristalin yang sebagian besar bersifat amorf. Hasil karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD) menunjukkan bahwa struktur kristal grafit mengalami gangguan akibat terbentuknya gugus fungsional oksigen, yang diperkuat oleh hasil spektroskopi Raman dengan munculnya pita D pada sekitar 1348 cm<sup>-1</sup> dan pita G pada sekitar 1587 cm<sup>-1</sup> yang mengindikasikan adanya cacat dan ketidakteraturan struktur karbon. Sementara itu, hasil Scanning Electron Microscopy (SEM) memperlihatkan morfologi GO yang berpori dengan ukuran partikel karbon berkisar antara 150 hingga 300 µm, yang berpotensi memberikan luas permukaan tinggi. Karakteristik struktural, kimia, dan morfologi tersebut menunjukkan bahwa GO hasil sintesis ini berpotensi diaplikasikan dalam berbagai bidang, seperti adsorben untuk pengolahan limbah, material elektroda pada sistem penyimpanan energi, sensor, serta penguat komposit, sekaligus menegaskan kontribusi penelitian ini terhadap pengembangan material karbon bernilai tinggi berbasis biomassa dari limbah pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

**Kata kunci:** *Graphene Oxide*; Limbah Batang Tembakau; Metode *Hummers Termodifikasi*; *Green Synthesis*; Material Karbon Berbasis Biomassa.

## Exploration of the Potential of Tobacco Stem Waste as a Natural Precursor for Graphene Oxide Synthesis via Green Synthesis Using the Chemical Reagent Hummers Method

### Abstract

Graphene Oxide (GO) synthesis has been successfully carried out from tobacco stem waste using a modified Hummers method, where the raw material was first processed into graphite by heating at 500°C for 2 hours. The graphite oxidation process, using sulfuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) and potassium permanganate (KMnO<sub>4</sub>), resulted in the formation of GO material with an interlayer spacing of approximately 0.79 nm and a crystalline structure that is largely amorphous. X-Ray Diffraction (XRD) characterization results showed that the graphite crystalline structure was disturbed due to the formation of oxygen functional groups, which was further supported by Raman spectroscopy results showing a D-band at around 1348 cm<sup>-1</sup> and a G-band at around 1587 cm<sup>-1</sup>, indicating defects and disorder in the carbon structure. Meanwhile, Scanning Electron Microscopy (SEM) results revealed the porous morphology of GO with carbon particle sizes ranging from 150 to 300 µm, potentially providing a high surface area. These structural, chemical, and morphological characteristics suggest that the synthesized GO has potential applications in various fields, such as adsorbents for waste treatment, electrode materials in energy storage systems, sensors, and composite reinforcement. This study highlights the contribution to the development of high-value carbon materials from agricultural waste biomass that are environmentally friendly and sustainable.

**Keywords:** *Graphene Oxide*; Tobacco Stem Waste; Modified Hummers Method; Green Synthesis; Biomass-based Carbon Materials.

**How to Cite:** Muntako, A., Ekawati, R., Sabrina, S., & Firdaus, F. (2025). Eksplorasi Potensi Limbah Batang Tembakau sebagai *Prekursor* Alami untuk Sintesis *Graphene Oxide* Berbasis *Green Synthesis* dengan Metode *Hummers Reagen* Kimia. *Empiricism Journal*, 6(4), 2519-2529. <https://doi.org/10.36312/dk9rrh91>



<https://doi.org/10.36312/dk9rrh91>

Copyright© 2025, Muntako et al.

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.



## PENDAHULUAN

Graphene, graphene oksida (GO), dan graphene oksida tereduksi (rGO) telah muncul sebagai nanomaterial karbon tingkat lanjut yang menarik perhatian besar dalam beberapa dekade terakhir. Graphene, dengan struktur satu atom tebalnya yang tersusun dalam kisi-kisi sarang lebah, menunjukkan sifat-sifat luar biasa seperti kekuatan mekanik yang tinggi, konduktivitas termal dan listrik yang sangat baik, serta luas permukaan yang besar (Irwan et al., 2025). Derivatifnya, GO, juga memiliki sifat-sifat unik yang memungkinkan mereka digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk elektronik, penyimpanan energi, sensor, dan absorben (Irwan et al., 2025).

Seiring dengan meningkatnya kesadaran akan isu-isu lingkungan dan perlunya solusi yang berkelanjutan, perhatian yang signifikan telah diberikan pada penggunaan prekursor yang hemat biaya dan ramah lingkungan untuk produksi GO. Limbah biomassa, khususnya limbah pertanian, telah diidentifikasi sebagai sumber karbon yang menjanjikan untuk tujuan ini (Irwan et al., 2025; Soffian et al., 2022). Selain itu, beberapa studi menunjukkan bahwa batang tembakau memiliki keunggulan dibandingkan biomassa lain, seperti tempurung kelapa atau sekam padi, karena kandungan karbon tetap yang lebih tinggi dan rasio lignin/selulosa yang optimal untuk konversi menjadi GO (Ramli & Rahmat, 2022; Camlica & Yaldiz, 2021). Penggunaan limbah biomassa tidak hanya mengurangi ketergantungan pada sumber grafit tradisional tetapi juga menawarkan pendekatan yang berkelanjutan dan hemat biaya untuk produksi nanomaterial canggih.

Di antara berbagai jenis limbah biomassa, limbah batang tembakau muncul sebagai residu pertanian yang berpotensi besar dan kurang dimanfaatkan. Batang tembakau mengandung karbon dalam jumlah tinggi, menjadikannya kandidat yang cocok untuk produksi GO (Ramli & Rahmat, 2022; Wang et al., 2022). Keunggulan batang tembakau dibandingkan limbah pertanian lainnya juga dapat dilihat dari komposisi kimianya yang relatif stabil dan kandungan selulosa tinggi, yang mendukung proses karbonisasi dan oksidasi lebih efisien dibanding biomassa lain (Garcia et al., 2021; Indahsari, 2017). Laporan ini bertujuan untuk memberikan analisis mendalam tentang penelitian saat ini mengenai produksi GO dari limbah biomassa, dengan fokus khusus pada batang tembakau, untuk memberikan wawasan yang berharga bagi penelitian yang akan datang.

## Komposisi Kimia Batang Tembakau

Keberhasilan konversi limbah batang tembakau menjadi GO sangat bergantung pada pemahaman komposisi kimianya. Batang tembakau kaya akan karbon, yang merupakan elemen dasar untuk sintesis graphene. Analisis menunjukkan bahwa batang tembakau mengandung sekitar 32% hingga 42% karbon tetap (Camlica & Yaldiz, 2021; Indahsari, 2017). Selain karbon, batang tembakau juga mengandung selulosa dalam jumlah signifikan, berkisar antara 36% hingga 56% dari berat kering. Selulosa, polimer glukosa, merupakan sumber karbon yang melimpah dan reaktif, menjadikannya prekursor yang menarik untuk produksi graphene (Garcia et al., 2021).

Komponen kimia utama lainnya dalam batang tembakau meliputi hemiselulosa (6-30%), lignin (15-32%), abu (7-16%), dan kadar air (8-12%) (Ramli & Rahmat, 2022). Kandungan lignin dan hemiselulosa dapat mempengaruhi proses karbonisasi dan grafitisasi, yang mungkin memerlukan langkah-langkah pra-perlakuan khusus untuk menghilangkannya atau memodifikasinya (Ilyushin et al., 2023; Indahsari, 2017). Selain itu, kandungan abu yang tinggi dapat mempengaruhi kemurnian produk akhir. Batang tembakau juga mengandung sejumlah kecil elemen jejak dan nikotin (Palupi et al., 2020). Kehadiran nikotin, alkaloid beracun, mungkin memerlukan pertimbangan penanganan dan pembuangan khusus selama proses penelitian. Elemen jejak berpotensi bertindak sebagai katalis atau pengotor, mempengaruhi sifat-sifat material akhir. Pemahaman mendalam tentang komposisi kimia batang tembakau, termasuk rasio selulosa-lignin yang optimal dan kandungan karbon tetap yang tinggi, menjadi alasan utama mengapa limbah ini lebih unggul dibandingkan biomassa lain dalam sintesis GO, karena mempengaruhi efisiensi oksidasi dan kualitas material akhir. Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif tentang komposisi kimia batang tembakau sangat penting untuk mengoptimalkan proses konversi dan memprediksi hasil serta kualitas GO yang dihasilkan.

## Sintesis Graphene Oksida dari Batang Tembakau

Setelah pra-perlakuan, limbah batang tembakau dapat digunakan sebagai prekursor untuk sintesis graphene oksida (GO). Untuk mencapai tujuan ini, beberapa modifikasi dalam metode yang sudah dikenal telah dilakukan dalam desain saat ini untuk pembentukan rGO dengan menggunakan berbagai agen pereduksi (Bansal et al., 2022). Beberapa metode telah dilaporkan untuk sintesis GO dari biomassa, dan metode hummers berpotensi diterapkan pada batang tembakau.

Metode Hummers dan Modifikasinya: Metode Hummers, dan variasinya yang dimodifikasi, adalah salah satu pendekatan yang paling umum digunakan untuk sintesis GO dari berbagai sumber karbon, termasuk biomassa (Ramli & Rahmat, 2022). Metode ini melibatkan oksidasi material karbon (dalam kasus ini, biochar dari batang tembakau) menggunakan campuran asam kuat (seperti  $H_2SO_4$ ) dan agen pengoksidasi (seperti  $KMnO_4$  dan  $NaNO_3$ ) (Ren et al., 2021; Zhang et al., 2022). Modifikasi metode Hummers telah dikembangkan untuk meningkatkan hasil dan mengurangi produksi gas beracun. Penelitian menunjukkan bahwa GO dapat berhasil disintesis dari berbagai limbah pertanian menggunakan metode ini, termasuk tempurung kelapa, sekam padi, dan bagas (Sahabi et al., 2024). Namun, beberapa studi menekankan bahwa batang tembakau memberikan hasil GO yang lebih konsisten dan morfologi berpori lebih optimal dibandingkan sumber biomassa lain, karena kandungan karbon tinggi dan rasio lignin/selulosa yang mendukung oksidasi terkontrol (Ramli & Rahmat, 2022; Camlica & Yaldiz, 2021). Ini menunjukkan potensi aplikasi metode Hummers yang dimodifikasi untuk sintesis GO dari limbah batang tembakau juga.

GO memiliki struktural karbon berbentuk heksagonal yang mirip dengan graphene, kecuali apabila GO mengandung gugus fungsional berbasis oksigen seperti hidroksil ( $-OH$ ), alkoksi ( $C-O-C$ ), asam karboksilat ( $-COOH$ ), dan gugus fungsional oksigen lainnya (Jayanti et al., 2024; Mardente et al., 2020). Graphene oksida, yang disiapkan menggunakan metode kimia "basah" dari grafit, disintesis dan diteliti secara kimia dan struktural menggunakan metode spektroskopi elektron yang sensitif terhadap permukaan (Ali et al., 2022; Stobinski et al., 2014). Bahan standar, seperti graphene oksida, graphene oksida yang direduksi, dan grafit dikarakterisasi menggunakan TEM, SEM, XRD, RAMAN, SPEKTRO dan XPS serta REELS yang sensitif terhadap permukaan. Metode untuk karakterisasi tinggi, diameter, dan jumlah lapisan dalam nanostruktur tumpukan graphene (XRD) dan metode pelengkap untuk mengevaluasi jumlah lapisan dari spektroskopi REELS (D. L. Silva et al., 2020; Stobinski et al., 2014). Dengan memperdalam studi tentang karakterisasi ini, peneliti dapat membandingkan kelebihan GO dari batang tembakau dengan sumber biomassa lain, serta memahami dampak komposisi kimia dan metode sintesis terhadap kualitas material akhir.

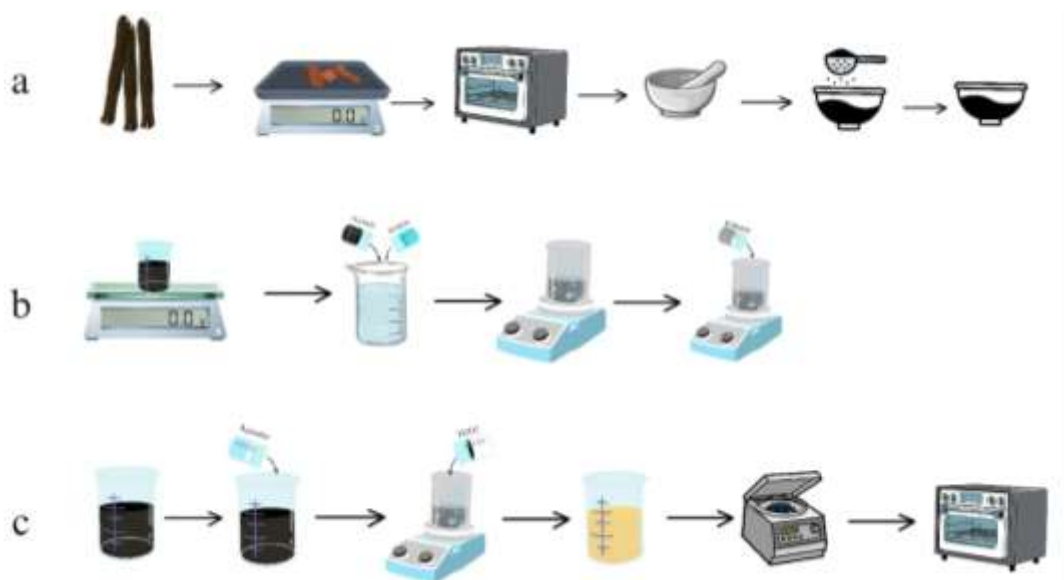
## METODE

### Bahan

Bahan yang digunakan pada sintesis Graphine Oxide yaitu limbah batang tembakau sebagai bahan utama yang digunakan sebagai bahan pembuatan grafit yang akan di sintesis. Bahan mentah lainnya berupa grafit dan bahan kimia, yaitu Natrium nitrat ( $NaNO_3$ ), Kalium Permanganat ( $KMnO_4$ ), Asam Sulfat ( $H_2SO_4$ ) dan Hidrogen Peroksida ( $H_2O_2$ ) serta Air sebagai pereduksi sisa oksidator. Spesifikasi bahan kimia yang digunakan adalah kualitas laboratorium (analytical grade) untuk menjamin kemurnian dan konsistensi hasil sintesis.

### Sintesis Graphine Oxide (GO)

Graphene Oxide (GO) merupakan material karbon yang memiliki banyak aplikasi potensial, seperti dalam bidang teknologi energi, sensor, dan adsorpsi. Pada penelitian ini, GO disintesis dari limbah batang tembakau menggunakan metode Hummers yang dimodifikasi. Proses sintesis ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yang diawali dengan pembuatan grafit dari limbah batang tembakau yang telah dikeringkan, dilanjutkan dengan proses oksidasi grafit menggunakan reagen kimia untuk menghasilkan GO. Berikut adalah penjelasan langkah-langkah sintesis GO yang lebih mendetail dalam gambar 1 berikut.



**Gambar 1.** Proses Sintesis *Graphine Oxide* berbahan dasar limbah batang tembakau

Step (a): Garfit di buat dengan menggunakan limbah batang tembakau, dimana limbah batang tembakau yang digunakan yaitu limbah batang tembakau yang telah kering. Limbah yang telah kering kemudi di poyong-potong hingga menjadi bagian yang berukuran kecil-kecil, limbah yang telah dipotong kemudia di timbang untuk mengetahui massa awal sebelum menjadi grafit, limbah yang telah ditimbang kemudian di oven (furnace) dengan suhu sebesar  $500^{\circ}\text{C}$  selama 120 menit. Limbah batang tembakau yang massa awalnya 80gr menjadi 2,5 gr setelah melalui tahap pemanasan, hasil pemanasan tersebut kemudian menjadi grafit. Grafit yang telah dikeluarkan dari proses pemanasan kemudian dihaluskan dan disaring. Selama proses pemanasan, suhu oven dikontrol secara konstan menggunakan termometer internal untuk memastikan pemanasan merata dan mencegah degradasi berlebih.

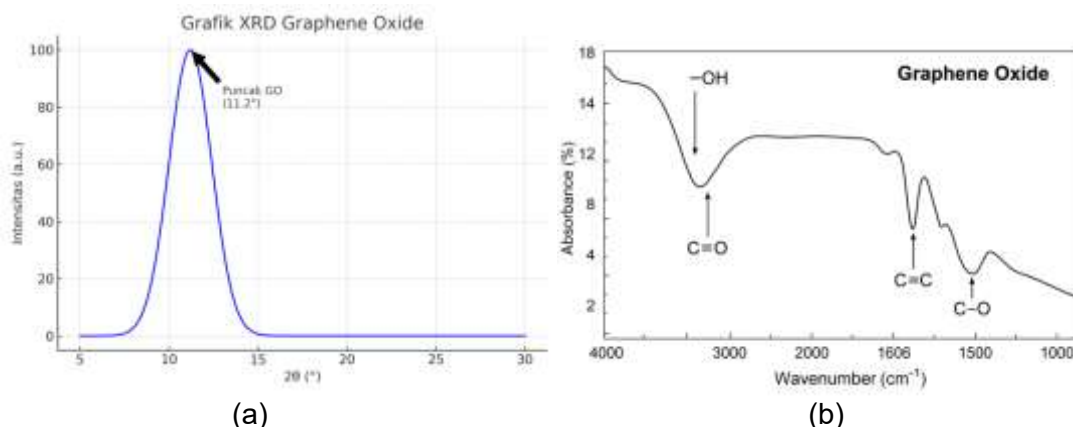
Step (b): GO di sintesis dengan menggunakan metode Hummers yang dimodifikasi sesuai dengan gambar pada step b dan step c. Grafit yang telah disaring kemudian di timbang massanya sebesar 1 gram, tambahkan Asam Sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) sebanyak 80 ml dan Natrium nitrat ( $\text{NaNO}_3$ ) sebanyak 1 gram kemudian aduk grafit, Asam Sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dan Natrium nitrat ( $\text{NaNO}_3$ ) menggunakan magnetic stirrer dengan suhu  $< 25^{\circ}\text{C}$  pada percepatan 400 rpm selama 10 menit dengan menambahkan Kalium Permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) sebesar 6 gram secara perlahan hingga larutan berwarna hitam ke hijauan. Pengadukan dilakukan dengan magnetic stirrer berkapasitas 500 ml dan pengaturan kecepatan presisi  $\pm 5$  rpm, dengan pengawasan termometer digital untuk menjaga suhu tetap stabil di bawah  $25^{\circ}\text{C}$ . Penambahan  $\text{KMnO}_4$  dilakukan secara bertahap dalam interval 2–3 menit untuk menghindari reaksi eksotermik yang cepat.

Step (c): Setelah 10 menit pegadukan tambahkan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) sebanyak 100 ml, stirrer kembali dengan suhu  $30^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$  pada kecepatan putaran sebesar 300 – 400 rpm selama 90 menit. Setelah 30 menit pengadukan tambahkan 10 ml Hidrogen Peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) secara bertahap dan perlahan hingga cairan berubah warna kekuningan. Selesai pengadukan selanjutnya lakukan pencucian dengan menggunakan sentrifugasi selama 10 menit pada 3500 rpm sebanyak 3 kali. Proses sentrifugasi menggunakan alat centrifuge tipe benchtop dengan rotor 15 ml tube, dan setiap siklus pencucian diulang 3 kali untuk memastikan penghilangan sisa asam dan oksidator, dengan pengawasan kontrol suhu  $25^{\circ}\text{C}$  selama pencucian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

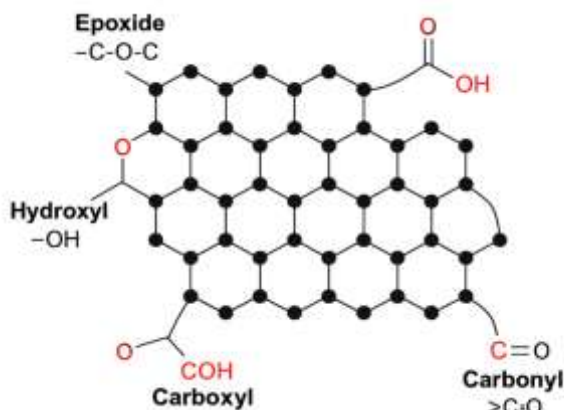
### X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction merupakan karakterisasi yang berfungsi sebagai penentu struktur kristal dan jumlah lapisan dari Graphene Oxide (GO) berbahan dasar limbah batang tembakau (W. C. H. Silva et al., 2024).



(a) (b)  
**Gambar 2.** Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD)

Gambar 2 (a) spectrum XRD puncak khas pada difraksi Graphene Oxide (GO) dimana pada sudut  $2\theta \approx 11,2$  yang menunjukkan bahwa telah teridentifikasi adanya jarak antar lapisan (*Interlayer spacing*) yang terjadi hingga membesar akibat adanya gugus oksigen fungsional seperti  $-\text{OH}$ ,  $-\text{COOH}$  serta Epoksi pada lapisan Graphene. lebarnya puncak GO menandakan bahwa struktur kristalin pada GO merupakan *long-range order* (tidak memiliki struktur kristalin jangka panjang). Gambar 2 (b) Graphene Oxide (GO) yang memiliki jarak antar lapisan lebih besar dari  $\sim 0,79$  nm mengakibatkan adanya gugus fungsional oksigen yang menempel pada permukaan dan juga berada pada antar lapisan graphene. Pada Graphene Oxide gugus fungsional tersebut berupa Epoksi ( $-\text{C}-\text{O}-\text{C}$ ) dan Hidroksil ( $-\text{OH}$ ) yang menempel pada permukaan, Karboksil ( $-\text{COOH}$ ) yang umumnya berada pada tepi lembaran dan Karbonil ( $> \text{C}=\text{O}$ ) yang bias muncul di permukaan lembaran. Graphene memiliki bentuk struktur berupa kisi heksagonal dua dimensi yang berasal dari atom  $\text{sp}^2$ , seperti pada gambar berikut.



**Gambar 3.** Gugus fungsional graphene

**Tabel 1.** Ukuran kristalit dan parameter kisi

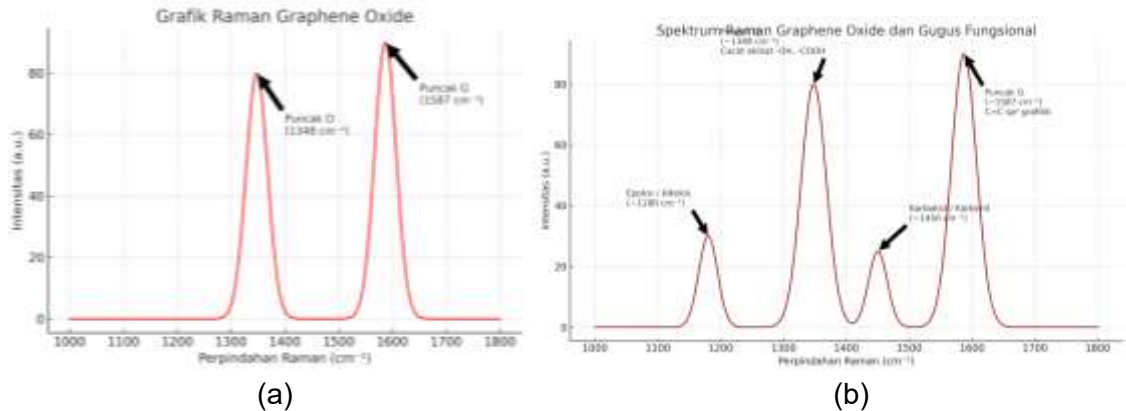
Parameter XRD	Nilai
Posisi puncak $2\theta$	$11,2^\circ$
Jarak antar lapisan (d)	0,79 nm
Lebar puncak (FWHM)	1,12
Kristalinitas	Amorf sebagian (Terdisrupsi)
Jumlah lapisan	3-6 lapis

Tabel 1. menunjukkan adanya jarak antar lapisan pada grafit yaitu sekitar 0,34 nm menjadi  $\sim 0,79$  nm yang menunjukkan bahwa struktur grafit telah berhasil teroksidasi hingga menjadi Graphene Oxide (GO). Kristalinitas pada graphene masih terdisrupsi (amorf sebagian), hal itu disebabkan karena adanya perubahan morfologi akibat proses oksidasi. Selain itu gugus-gugus fungsi juga mengganggu ikatan  $\pi-\pi$  konjugasi pada antar lapisan karbon  $\text{sp}^2$ . Pengaruh defek dan reduksi sebagian juga memberikan peran dimana dengan adanya defek topologi dan lubang (*holes*) yang berlebih sehingga bias membuat struktur GO lebih amorf. Hal ini menunjukkan adanya hubungan langsung antara cacat pada struktur GO

dengan penurunan kristalinitas, yang dapat mempengaruhi sifat konduktivitas listrik dan mekanik material. Dengan demikian hal ini menunjukkan bahwa pada metode Hummers dalam proses interkalasi oksigen telah berhasil. Saran untuk perbaikan, proses oksidasi bisa dioptimalkan dengan mengatur laju penambahan oksidator dan temperatur secara lebih presisi untuk mengurangi defek berlebih dan meningkatkan kristalinitas GO.

Spektroskopi Raman

Spektroskopi raman memberikan informasi adanya ikatan kimia, kristalinitas, cacat serta interaksi antar lapisan pada material karbon melalui interaksi antara cahaya dan vibrasi molekul (Li et al., 2023). Spektroskopi raman bekerja berdasarkan fenomena hamburan inelastic pada cahaya laser dengan panjang kisaran 532 nm atau 785 nm (Germond et al., 2017; Li et al., 2023).



Gambar 4. Grafik spectrum raman dan guus fungsional

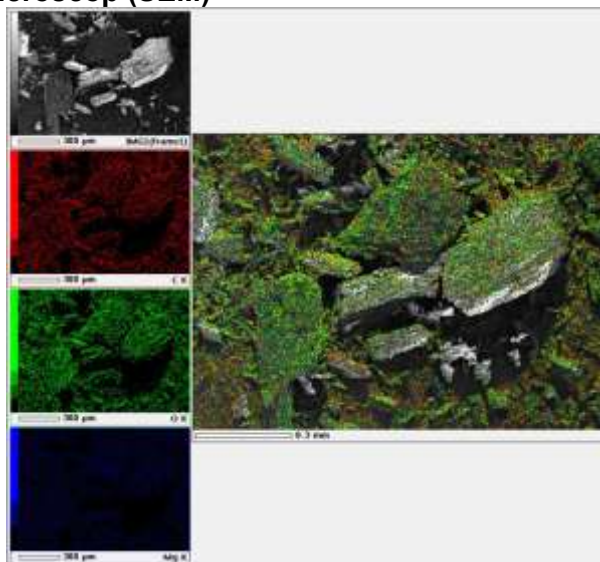
Gambar 4 (a) menunjukan dimana pada GO memiliki puncak D ( $\sim 1350\text{ cm}^{-1}$ ) yang menunjukan adanya suatu kecacatan struktural dan juga adanya disorder. Grafik juga menunjukan puncak G ( $\sim 1590\text{ cm}^{-1}$ ) yang dimana puncak tersebut berkaitan dengan mode getara pada ikatan C-C pada  $\text{sp}^2$  pada jaringan karbon. Gambar 4 (b) grafik menunjukan pada D-band (puncak D) mengalami kecacatan dikarenakan adanya  $\text{-OH}$  dan juga adanya  $\text{-COOH}$ , pada G-band (puncak G) menunjukan adanya vibrasi ikatan  $\text{C=C}$  pada jaringan  $\text{sp}^2$ . Selanjutnya menunjukan puncak pada epoksi/alkoksi yang berada pada puncak sekitar ( $\sim 1180\text{ cm}^{-1}$ ). Puncak terakhir yaitu pada karboksil/karbonil yang menunjukan puncak sekitar).

Tabel 2. Puncak Raman pada GO

Puncak Raman ( $\text{cm}^{-1}$ )	Jenis vibrasi/mode	Penjelasan struktur/gugus fungsi
$\sim 1348\text{ cm}^{-1}$	D-band	Adanya cacat secara structural karena adanya $\text{-OH}$ , $\text{-COOH}$ serta epoksi yang mengganggu kisi $\text{sp}^2$
$\sim 1587\text{ cm}^{-1}$	G-band	Adanya suatu vibrasi ikatan $\text{C=C}$ $\text{sp}^2$ pada jaringan grafit
$\sim 2700\text{ cm}^{-1}$	2D band	Menunjukan jumlah lapisan pada graphene yang berguna untuk membedakan antara GO dan rGO
$\sim 1150 - 1200\text{ cm}^{-1}$	C-O stretching	Mengindikasikan keberadaabn gugus epoksi
$\sim 1450 - 1500\text{ cm}^{-1}$	C=O atau C-OH bending	Terikat dengan gugus karboksil ( $\text{-COOH}$ ) dan karbonil ( $\text{>C=O}$ )
$\sim 1620\text{ cm}^{-1}$	$\text{sp}^2\text{ C=C}$ skeletal vibrasi	Hanya muncul sebagai shoulder dari G-bar

Analisis menunjukkan bahwa puncak D pada Raman terkait langsung dengan cacat struktural akibat gugus fungsi, yang berperan pada sifat mekanik dan konduktivitas GO. Penyesuaian kondisi sintesis, seperti temperatur dan durasi oksidasi, dapat membantu mengurangi cacat ini dan meningkatkan kualitas GO untuk aplikasi.

### Scanning Elektron Microscop (SEM)

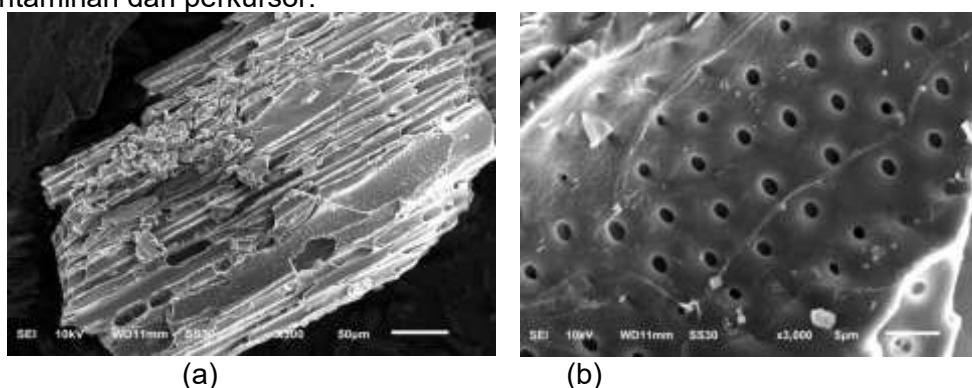


**Gambar 5.** EDX Mapping (peta distribusi unsur)



**Gambar 6.** Diagram kandungan unsur pada GO

Hasil SEM menunjukkan distribusi unsur pada permukaan material, dimana pada gambar kiri atas menunjukkan hasil *Scanning Elektron Mikroskop (SEM)*, gambar dengan warna merah menunjukkan distribusi unsur pada Karbon (C) yang berada pada seluruh permukaan lembaran yang menandakan adanya struktur karbon seperti graphene atau biochar. Gambar dengan warna hijau menandakan adanya unsur Oksigen (O) yang tersebar secara merata sehingga menunjukkan adanya oksidasi yang berhasil dan menunjukkan adanya gugus  $-OH$ ,  $-COOH$  serta epoksi. Yang terakhir gambar dengan warna biru menunjukkan adanya kandungan magnesium (Mg) yang lebih sedikit dibandingkan dengan karbon (C) dan Oksigen (O) yang kemungkinan berasal dari sisa senyawa kimia, impuritas serta kontaminan dari prekursor.



**Gambar 7.** SEM perbesaran 300X dengan skala 50µm

Gambar 7. (a) menunjukkan hasil Scanning Elektron Microscope (SEM) dengan struktur berlapis, berpori serta longitudinal dengan permukaan yang kasar, terdapat fragmen lembaran yang menumpuk sehingga menunjukkan morfologi seperti Graphene Oxide (GO). Selain itu juga menunjukkan struktur yang terlihat mikropori juga makropori dengan ukuran partikel pada panjang pori besar yaitu sebesar 80-120  $\mu\text{m}$  dan ketebalan lapisan pada ukuran 10-30  $\mu\text{m}$ . Hal ini menunjukkan bahwa grafit hasil pirolis siap untuk dioksidasi menjadi Graphene Oxide (GO).

Gambar 7. (b) menampilkan zoom in pada lembaran GO yang menunjukkan struktur dengan permukaan berpori dengan lubang-lubang mikroskopis yang berbentuk elips dan bulat dengan diameter pada ukuran 0,3-1,2  $\mu\text{m}$ . Fungsi struktur pada lapisan menunjukkan adanya struktur trakea atau sel penyusun pada dinding batang tumbuhan dan sebagai transportasi cairan atau difusi oksigen saat proses oksidasi.

Dari kedua gambar berdasarkan pada set scale atau bar skala pada skala 50  $\mu\text{m}$  memiliki distribusi ukuran partikel dan pori yang dapat diklasifikasikan menjadi Makropori, Mesopori serta Mikropori. Pada makropori memiliki ukuran  $> 50 \mu\text{m}$ , mesopori dengan ukuran 2-50  $\mu\text{m}$  dan pada mikropori sebesar  $< 2 \mu\text{m}$ .

**Tabel 3.** Ukuran partikel Graphene Oxide (GO)

Gambar	Objek	Ukuran Estimasi ( $\mu\text{m}$ )
Gambar 5	Panjang pori besar	$\pm 80-120 \mu\text{m}$
Gambar 7. (a)	Diameter pori kecil	$\pm 0,4-1,1 \mu\text{m}$
Gambar 7. (b)	Ukuran partikel karbon	$\pm 150-300 \mu\text{m}$

Graphene Oxide (GO) yang disintesis dari limbah batang tembakau telah dianalisis menggunakan berbagai teknik karakterisasi, seperti X-Ray Diffraction (XRD), Raman Spectroscopy, dan Scanning Electron Microscopy (SEM), untuk memahami struktur, morfologi, dan komposisinya. Berdasarkan hasil karakterisasi XRD, puncak difraksi pada sudut  $2\theta \approx 11,2^\circ$  mengindikasikan jarak antar lapisan GO yang mencapai sekitar 0,79 nm, yang lebih besar dibandingkan grafit murni dengan jarak antar lapisan sekitar 0,34 nm (Stobinski et al., 2014). Peningkatan jarak antar lapisan ini disebabkan oleh penempelan gugus fungsional oksigen, seperti  $-\text{OH}$ ,  $-\text{COOH}$ , dan epoksi, yang terikat pada permukaan dan antar lapisan graphene (Silva et al., 2024). Hal ini sesuai dengan temuan dari Ali et al. (2022) yang menyatakan bahwa oksidasi grafit menghasilkan GO dengan struktur yang lebih amorf dan defek struktural yang mengganggu konjugasi  $\pi-\pi$  pada lapisan graphene.

Lebar puncak pada difraksi XRD menunjukkan bahwa struktur kristal GO bersifat amorf sebagian (Bansal et al., 2022). Ini menandakan bahwa GO yang dihasilkan melalui metode Hummers yang dimodifikasi memiliki struktur yang tidak teratur dengan kristalinitas yang rendah. Pengaruh gugus oksigen dan defek struktural mengarah pada gangguan ikatan karbon  $\text{sp}^2$  dalam kisi grafen. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian oleh Li et al. (2023), yang menunjukkan bahwa cacat dan oksidasi dapat mengurangi kualitas kristalin dan mempengaruhi sifat konduktivitas listrik dan mekanik material GO. Meski demikian, sifat amorf ini dapat dimanfaatkan untuk aplikasi yang memerlukan interaksi kimia yang lebih besar, seperti dalam aplikasi sensor dan adsorpsi (Sahabi et al., 2024).

Spektroskopi Raman memberikan wawasan lebih lanjut mengenai defek pada struktur GO. Puncak D yang teramati pada sekitar  $1348 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya cacat struktural yang disebabkan oleh penempelan gugus fungsional seperti  $-\text{OH}$  dan  $-\text{COOH}$ , yang juga mengganggu struktur kisi karbon  $\text{sp}^2$  (Germond et al., 2017). Puncak G pada sekitar  $1590 \text{ cm}^{-1}$ , yang terkait dengan vibrasi ikatan  $\text{C}-\text{C}$  pada  $\text{sp}^2$ , mengindikasikan adanya struktur karbon yang terhubung dalam jaringan grafit. Hasil ini menguatkan pemahaman bahwa gugus fungsional yang menempel pada permukaan GO berperan besar dalam menciptakan defek yang dapat mempengaruhi sifat mekanik dan konduktivitas material GO (Li et al., 2023).

Hasil analisis SEM menunjukkan morfologi GO yang berlapis, berpori, dan kasar dengan ukuran partikel karbon yang bervariasi antara 150-300  $\mu\text{m}$  (Wang et al., 2022). Pengamatan distribusi unsur menggunakan peta EDX menunjukkan adanya karbon yang tersebar di seluruh permukaan material dan oksigen yang merata, yang mengonfirmasi oksidasi yang berhasil. Struktur berpori ini menunjukkan bahwa GO yang dihasilkan memiliki

luas permukaan yang tinggi, yang merupakan sifat penting untuk aplikasi adsorpsi dan penyimpanan energi (Ramli & Rahmat, 2022). Selain itu, struktur berpori pada GO juga dapat meningkatkan sifat mekanik dan konduktivitas material ini, sehingga menjadikannya bahan yang menarik untuk berbagai aplikasi dalam bidang energi dan teknologi.

Secara keseluruhan, karakterisasi yang dilakukan melalui XRD, Raman Spectroscopy, dan SEM menunjukkan bahwa GO yang disintesis dari limbah batang tembakau memiliki potensi untuk digunakan dalam berbagai aplikasi. Meskipun ada defek struktural dan kristalinitas yang rendah, GO ini menunjukkan sifat yang sesuai untuk aplikasi yang memerlukan luas permukaan tinggi dan interaksi kimia yang besar, seperti dalam sensor dan adsorpsi. Dengan optimasi lebih lanjut dalam proses sintesis, kualitas GO dapat ditingkatkan untuk aplikasi yang lebih luas.

## KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa limbah batang tembakau dapat dimanfaatkan secara efektif sebagai prekursor dalam sintesis Graphene Oxide (GO) menggunakan metode Hummers yang telah dimodifikasi. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa GO yang diperoleh memiliki jarak antar lapisan sekitar 0,79 nm, menandakan keberhasilan proses oksidasi. Struktur GO menunjukkan morfologi berlapis dan berpori, dengan ukuran partikel karbon berkisar antara 150 hingga 300  $\mu\text{m}$  serta panjang pori besar sekitar 80 hingga 120  $\mu\text{m}$ . Melalui analisis Scanning Electron Microscopy (SEM) dan X-Ray Diffraction (XRD), teridentifikasi keberadaan gugus fungsional seperti hidroksil (-OH) dan karboksil (-COOH), yang berkontribusi terhadap sifat kimia dan fisika material tersebut. Hasil ini menunjukkan potensi GO yang disintesis untuk berbagai aplikasi praktis, seperti penyimpanan energi (superkapasitor, baterai), sensor kimia, atau adsorben, sesuai dengan sifat morfologi berpori dan keberadaan gugus fungsionalnya. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah batang tembakau tidak hanya menjadi solusi pengelolaan limbah pertanian yang efisien, tetapi juga menyediakan pendekatan yang ramah lingkungan dan ekonomis dalam produksi nanomaterial berbasis karbon. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan optimasi skala produksi, studi performa GO dalam aplikasi energi atau elektronik, serta evaluasi stabilitas dan efisiensi material dalam kondisi operasional nyata.

## REKOMENDASI

Berdasarkan hasil penelitian ini, terdapat beberapa rekomendasi untuk penelitian selanjutnya guna meningkatkan kualitas dan aplikasi Graphene Oxide (GO) yang disintesis dari limbah batang tembakau. Pertama, proses oksidasi dapat dioptimalkan dengan mengatur laju penambahan oksidator dan suhu lebih presisi untuk mengurangi defek struktural dan meningkatkan kristalinitas GO. Penelitian lanjutan dapat mengeksplorasi variasi suhu dan waktu reaksi untuk menentukan kondisi optimal yang menghasilkan GO dengan kristalinitas lebih tinggi, yang pada gilirannya dapat meningkatkan konduktivitas listrik dan kekuatan mekanik material GO.

Kedua, penggunaan berbagai jenis reduktor untuk mengurangi GO menjadi graphene tereduksi (rGO) dapat diteliti, untuk menilai pengaruhnya terhadap sifat konduktivitas dan aplikasi lainnya, seperti dalam penyimpanan energi atau sensor.

Selain itu, karakterisasi lebih mendalam menggunakan teknik seperti Transmission Electron Microscopy (TEM) dapat dilakukan untuk menganalisis morfologi dan ketebalan lapisan GO dengan resolusi yang lebih tinggi. Terakhir, aplikasi GO dalam bidang lingkungan, seperti adsorpsi logam berat atau pemurnian air, patut dieksplorasi lebih lanjut untuk memahami potensi limbah batang tembakau sebagai sumber biomassa yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ali, B., Qayoum, A., Saleem, S., & Mir, F. Q. (2022). Synthesis and characterization of high-quality multi layered graphene by electrochemical exfoliation of graphite. *Research on Engineering Structures and Materials*, 8(3), 447–462. <https://doi.org/10.17515/resm2022.384na0121>
- Bansal, K., Singh, J., & Dhaliwal, A. S. (2022). Synthesis and characterization of Graphene Oxide and its reduction with different reducing agents. *IOP Conference Series*:

- Materials Science and Engineering*, 1225(1), 012050. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1225/1/012050>
- Camlica, M., & Yaldiz, G. (2021). Analyses and evaluation of the main chemical components in different tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) genotypes. *Grasas y Aceites*, 72(1), 1–15. <https://doi.org/10.3989/GYA.0801192>
- Garcia, K. R., Weiss-Angeli, V., Koester, L. S., Santos, V. dos, & Brandalise, R. N. (2021). Tobacco stalk lignocellulosic nanofibers characterization for pharmaceutical applications. *Research, Society and Development*, 10(14), e522101422261. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.22261>
- Germond, A., Kumar, V., Ichimura, T., Moreau, J., Furusawa, C., Fujita, H., & Watanabe, T. M. (2017). Raman spectroscopy as a tool for ecology and evolution. *Journal of the Royal Society Interface*, 14(131). <https://doi.org/10.1098/rsif.2017.0174>
- Ilyushin, M. A., Voznyakovskii, A. P., Shugalei, I., & Vozniakovskii, A. A. (2023). Carbonization of Biopolymers as a Method for Producing a Photosensitizing Additive for Energy Materials. *Nanomanufacturing*, 3(2), 167–176. <https://doi.org/10.3390/nanomanufacturing3020011>
- Indahsari, O. P. (2017). Briquettes from Tobacco Stems as the New Alternative Energy. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 19(2), 73–80. <https://doi.org/10.14203/jkti.v19i2.359>
- Irwan, I., Rahmin, R., Dali, N., Nohong, N., Ratna, R., Azis, T., Alimin, A., & Muzakkar, M. Z. (2025). Synthesis and Characteristics Of Graphene Oxide (GO) from the Skin Shell: Candlenut, Palm Oil and Coconut Hybrids. *Letters in Applied NanoBioScience*, 14(2), 1–9. <https://doi.org/10.33263/LIANBS142.094>
- Jayanti, P. D., Zurnansyah, Kusumah, H. P., Mahardhika, L. J., Riswan, M., Wahyuni, S., Adrianto, N., Cuana, R., Istiqomah, N. I., Ali, H., Ali, D., Chotimah, & Suharyadi, E. (2024). Localized surface plasmon resonance properties of green synthesized Ag/rGO composite nanoparticles utilizing *Amaranthus viridis* extract for biosensor applications. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 9(3), 100747. <https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2024.100747>
- Li, Z., Deng, L., Kinloch, I. A., & Young, R. J. (2023). Raman spectroscopy of carbon materials and their composites: Graphene, nanotubes and fibres. *Progress in Materials Science*, 135(November 2020), 101089. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2023.101089>
- Mardente, S., Aventaggiato, M., Mari, E., Francioso, A., Tafani, M., Mosca, L., Zicari, A., Malyshev, I., Kuznetsova, L., & Valentini, F. (2020). GO nanosheets: Promising nano carrier for the S29, 1-(2-Chloro-2-(4-chlorophenyl-ethyl)-N-(4-fluorobenzyl)-1H-pyrazolo[3,4-d] pyrimidin-4-amine, Therapeutic Agent in Neuroblastoma. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(17), 1–14. <https://doi.org/10.3390/ijms21176430>
- Palupi, B., Achri, B. A., Rahmawati, I., Rizkiana, M. itri, & Amini, H. W. (2020). Pretreatment of Tobacco Stems As Bioethanol Raw. *AIP Conference Proceedings*, 1–9. <https://doi.org/10.1063/5.0014558>
- Ramli, R., & Rahmat, H. (2022). Graphene Oxide Based on Biomass Waste: Synthesis and Applications. *Intech*, 1–21.
- Ren, T., Wang, H., Yuan, Y., Feng, H., Wang, B., Kuang, G., Wei, Y., Gao, W., Shi, H., & Liu, G. (2021). Biochar increases tobacco yield by promoting root growth based on a three-year field application. *Scientific Reports*, 11(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01426-9>
- Sahabi, S., Saidu, A., Mustapha, A. L., Garba, D. S., & Aati, R. (2024). Graphene Oxide Based on Coconut Shell and Sawdust Waste: Synthesis by Modified Hummers Methods and Characterization. *International Journal of Progressive Research in Engineering Management and Science*, 4(8), 690–695. <https://doi.org/10.58257/ijprems35808>
- Silva, D. L., Campos, J. L. E., Fernandes, T. F. D., Rocha, J. N., Machado, L. R. P., Soares, E. M., Miquita, D. R., Miranda, H., Rabelo, C., Vilela Neto, O. P., Jorio, A., & Cançado, L. G. (2020). Raman spectroscopy analysis of number of layers in mass-produced graphene flakes. *Carbon*, 161, 181–189. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.01.050>
- Silva, W. C. H., Zafar, M. A., Allende, S., Jacob, M. V., & Tuladhar, R. (2024). Sustainable Synthesis of Graphene Oxide from Waste Sources: A Comprehensive Review of

- Methods and Applications. *Materials Circular Economy*, 6(1). <https://doi.org/10.1007/s42824-024-00117-w>
- Soffian, M. S., Abdul Halim, F. Z., Aziz, F., A. Rahman, M., Mohamed Amin, M. A., & Awang Chee, D. N. (2022). Carbon-based material derived from biomass waste for wastewater treatment. *Environmental Advances*, 9(March), 100259. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100259>
- Stobinski, L., Lesiak, B., Malolepszy, A., Mazurkiewicz, M., Mierzwa, B., Zemek, J., Jiricek, P., & Bieloshapka, I. (2014). Graphene oxide and reduced graphene oxide studied by the XRD, TEM and electron spectroscopy methods. *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, 195(August), 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.elspec.2014.07.003>
- Wang, J., Jiang, B., Liu, L., Cao, L., Yuan, Q., Zong, Z., Huang, Z., Tian, J., Zhang, P., Lin, Z., & Ma, Z. (2022). Direct Carbonization of Tobacco Straw Cores to Prepare Porous Carbon for Supercapacitor Applications. *Journal of Physics: Conference Series*, 2160(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2160/1/012041>
- Zhang, X., Zhang, T., Guo, J., Ahmad, M., Yang, H., Su, X., Huang, F., Jin, Y., Xiao, H., & Song, J. (2022). Hierarchically porous tobacco midrib-based biochar prepared by a simple dual-templating approach for highly efficient Rhodamine B removal. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(7), 103904. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.103904>