

MINI REVIEW: PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI *GRAPHENE OXIDE* MENGGUNAKAN METODE *LIQUID PHASE EXFOLIATION* (LPE) DAN *HUMMER'S*

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF GRAPHENE OXIDE USING LIQUID PHASE EXFOLIATION (LPE) DAN HUMMER'S METHOD: MINI REVIEW

Nur Fadhilah Duratulhikmah, Noor Hindryawati*, Husna Syaima

Inorganic Laboratory, Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences,
Mulawarman University, Gunung Kelua Campus, Samarinda 76116 Indonesia

*Coessponding author: hindryawati@gmail.com

Diterbitkan: 30 Oktober 2023

ABSTRACT

Graphene oxide (GO) is a 2D material that has various oxygen functional groups on its surface and edges. The existence of these clusters makes GO have enormous potential to be applied in various fields. Currently various methods have been developed to synthesize these materials including Liquid Phase Exfoliation (LPE) and Hummer's. This review will present the synthesis of Graphene oxide along with the results of its characterization using Fourier Transform Infra Red (FTIR), Raman Spectroscopy, and UV-Vis spectrophotometer. Literature results show that in FTIR the typical functional groups that will appear are the O-H, C=O, and C-O epoxy groups, on Raman spectroscopy it shows peaks of $1300-1400\text{ cm}^{-1}$ (D-band) and peaks of $1500-1600\text{ cm}^{-1}$ (G-band) and there is a maximum absorption peak value at a wavelength of 200-235 nm from the results of UV-Vis characterization

Keywords: Graphene Oxide, Hummer's, Liquid Phase Exfoliation, Raman Spectroscopy

ABSTRAK

Graphene oxide (GO) merupakan suatu material 2D yang memiliki berbagai gugus fungsional oksigen pada permukaan dan tepinya. Keberadaan gugus tersebut menjadikan GO memiliki potensi yang sangat besar untuk diaplikasikan di berbagai bidang. Saat ini berbagai metode telah dikembangkan untuk mensintesis material tersebut diantaranya *Liquid Phase Exfoliation* (LPE) dan *Hummer's*. Dalam review ini akan disajikan sintesis *Graphene oxide* beserta hasil karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), *Raman Spectroscopy*, dan spektrofotometer UV-Vis. Hasil literatur menunjukkan bahwa pada FTIR gugus fungsi khas yang akan muncul yaitu gugus O-H, C=O, dan C-O epoksi, pada *Raman spectroscopy* menunjukkan puncak $1300-1400\text{ cm}^{-1}$ (D-band) dan puncak $1500-1600\text{ cm}^{-1}$ (G-band) dan terdapat nilai puncak serapan maksimum pada panjang gelombang 200-229 nm dari hasil karakterisasi UV-Vis

Kata kunci: Graphene Oxide, Hummer's, Liquid Phase Exfoliation, Raman Spectroscopy

PENDAHULUAN

Graphene oxide (GO) telah menjadi fokus penelitian yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir sebagai prekursor penting untuk sintesis *graphene* dan memiliki potensi dalam berbagai aplikasi. GO adalah bentuk modifikasi dari *graphene* yang memiliki kelarutan yang lebih baik dalam pelarut organik dan air, serta memiliki fungsionalitas yang dapat diubah

melalui pengenalan gugus oksigen ke dalam struktur [1].

Umumnya GO dapat diproduksi melalui grafit, baik grafit yang berada di alam maupun grafit sintetik. Saat ini berbagai limbah *biomass* telah diidentifikasi sebagai prekursor potensial untuk produksi grafit karena bahannya yang sangat melimpah, murah dan ramah lingkungan. Selain itu berbagai metode juga telah digunakan untuk mensintesis grafit sintetik seperti metode bantuan ultrasonik, pemanasan dengan suhu

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



tinggi, *chemical vapor decomposition*, pemanasan gelombang mikro dan pemanasan *joule* [2]. (Srinivasan *et al.*, 2015) melaporkan kandungan karbon yang tinggi dan kemungkinan pengembangan struktur kristal membuat *biomass* sebagai prekursor yang cocok untuk pengembangan karbon grafit. Produk karbon *biomass* biasanya diperoleh dengan mengubah produk alami seperti tanaman dan limbah hewan melalui proses seperti karbonasi atau aktivitas termal. Kandungan karbon pada tanaman sangat bergantung pada komposisi kimia terutama fraksi massa selulosa, lignin dan hemiselulosa, oleh karena itu sangat penting memperhatikan kandungan lignoselulosa suatu bahan *biomass* yang akan digunakan sebelum diproduksi menjadi grafit sintetis [3]

Dalam upaya untuk memperoleh GO dengan kualitas yang baik, metode *Liquid Phase Exfoliation* (LPE) dan metode *Hummer's* telah banyak digunakan. Metode LPE memanfaatkan penggunaan pelarut yang sesuai untuk memisahkan lapisan-lapisan grafen, menghasilkan GO dengan ukuran dan morfologi yang terkontrol. Di sisi lain, metode *Hummer's* melibatkan oksidasi grafen menggunakan campuran asam kuat, yang menghasilkan pembentukan gugus oksigen seperti hidroksil dan epoksi di dalam struktur *graphene*.

Oleh karena itu, jurnal ini akan membahas mengenai pembuatan GO dengan menggunakan metode *Hummer's* dan *Liquid Phase Exfoliation* dari berbagai penelitian sebelumnya. Selain itu juga akan dibahas beberapa Teknik karakterisasi yang umum digunakan dalam studi GO seperti *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*, *Raman Spectroscopy*, dan spektrofotometer UV-Vis.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam mini review ini dengan mengumpulkan artikel yang membahas tentang pembuatan GO dengan menggunakan metode *Hummer's* dan *Liquid Phase Exfoliation*. Data-data yang ada dikumpulkan dan disusun secara ringkas untuk membandingkan satu dengan yang lain, sehingga didapatkan deskripsi yang konkret untuk mencapai tujuan penulis dalam mereview pembuatan dan karakterisasi GO menggunakan metode *Liquid Phase Exfoliation* (LPE) dan *Hummer's* berdasarkan data *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*, *Raman Spectroscopy*, dan spektrofotometer UV-Vis

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode *Liquid Phase Exfoliation* (LPE)

Metode *Liquid Phase Exfoliation* (LPE) adalah salah satu metode yang digunakan untuk sintesis GO dengan cara mengelupas (exfoliasi) lapisan-lapisan grafit menggunakan pelarut cair. Pada metode ini, serbuk grafit atau material karbon lainnya dicampur dengan pelarut tertentu, seperti air atau pelarut organik, dan kemudian diolah dengan metode mekanik atau ultrasonik untuk memisahkan lapisan-lapisan grafit dan membentuk GO dalam bentuk dispersi koloid. Proses exfoliasi dilakukan dengan menerapkan gaya mekanik atau energi ultrasonik pada campuran grafit dan pelarut. Gaya ini membantu mengatasi gaya tarik antar lapisan grafit, sehingga lapisan-lapisan tersebut terpisah dan terbentuklah partikel-partikel GO yang terdispersi dalam pelarut [4]

Berikut beberapa contoh penelitian sintesis GO menggunakan metode *Liquid Phase Exfoliation* (LPE) dan karakterisasinya dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Pada penelitian Hanifah dan Dwandaru [5] dilakukan sintesis GO berbahan dasar grafit pensil 2B menggunakan metode LPE yaitu sonikasi dengan bantuan *horn speaker*. Pada penelitiannya, digunakan pelarut aquades dan dilakukan variasi waktu dan variasi frekuensi yang kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR dan UV-Vis. Hasil karakterisasi FTIR baik variasi waktu maupun variasi frekuensi menunjukkan bahwa terdapat gugus C=C dan OH yang menunjukkan terbentuknya GO. Sedangkan hasil karakterisasi UV-Vis menunjukkan pada variasi waktu bahwa semakin lama waktu sonikasi maka panjang gelombang yang diperoleh semakin besar yaitu sekitar 225 nm hingga 227 nm dan pada variasi frekuensi menunjukkan puncak panjang gelombang antara 224-225 nm.

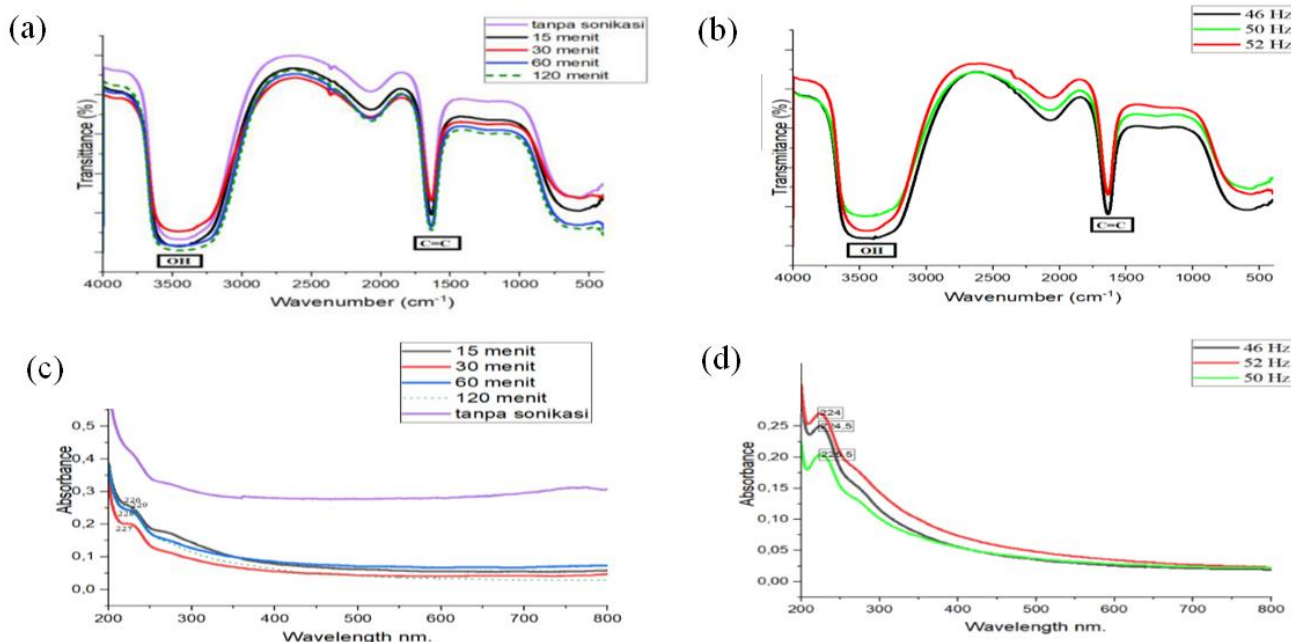
Pada penelitian Solo *et al* [6] dilakukan sintesis GO berbahan dasar arang sekam padi menggunakan metode LPE dengan bantuan *ultrasonic cleaner* dan blender. Pada penelitiannya digunakan pelarut surfaktan dan dilakukan variasi waktu 1, 2 dan 3 jam pada perlakuan menggunakan ultrasonifikasi, blender dan ultrasonifikasi + blender. Hasil karakterisasi UV-Vis dari ketiga perlakuan tersebut memiliki panjang gelombang yang sedikit berbeda dengan rentang antara 222 nm hingga 224 nm. Namun jika dilihat dari nilai absorbansi yang diperoleh dari masing-masing perlakuan terdapat perbedaan yang sangat terlihat. Nilai absorbansi

ultrasonifikasi, blender dan ultrasonifikasi + blender dalam setiap waktu dapat dilihat pada **Gambar 3**. Dari gambar tersebut dapat ditarik

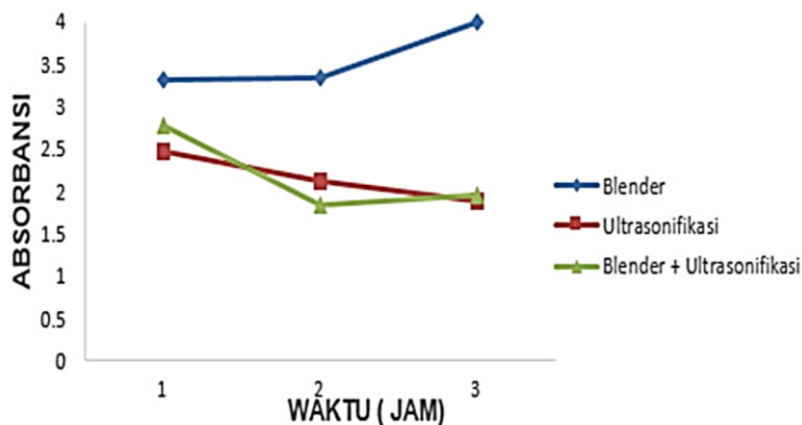
kesimpulan bahwa perlakuan blender dengan waktu yang semakin lama akan memiliki kandungan material GO yang paling banyak.

Tabel 1. Sintesis GO menggunakan metode LPE

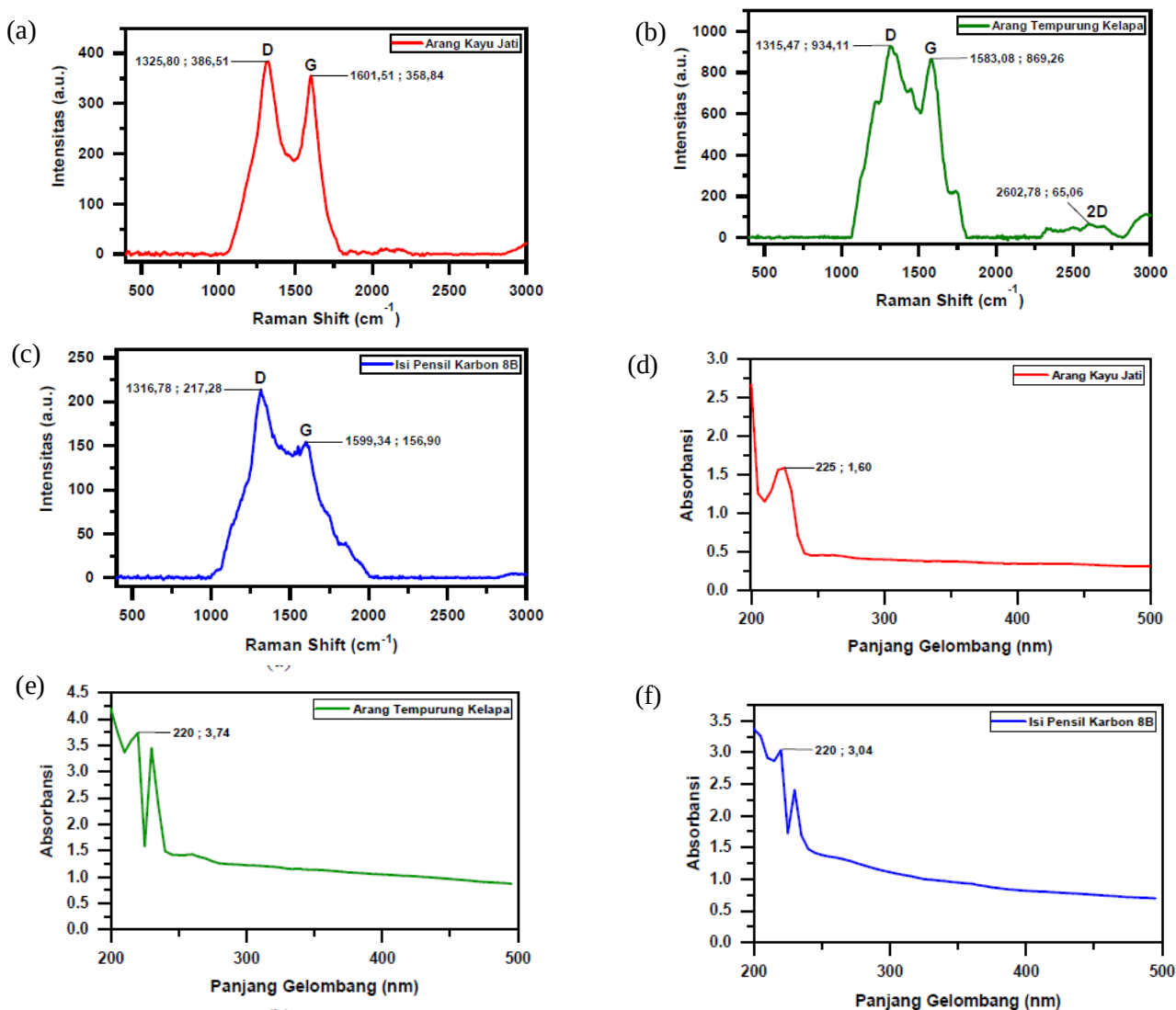
No	Referensi	Sumber	Alat Karakterisasi		
			FTIR	Raman Spectroscopy	UV-Vis
1.	Hanifah dan Dwandaru [5]	Grafit Pensil 2B	C=C O-H	-	224 nm – 229 nm
2.	Solo <i>et al</i> [6]	Arang sekam padi	-	-	222 nm – 224 nm
3.	Aziz dan Tjahjono [7]	Arang kayu jati, arang tempurung kelapa dan isi karbon pensil 8B	-	1325, 80 cm^{-1} ; 1315,47 cm^{-1} dan 1316,78 cm^{-1} (D-band) 1601,51 cm^{-1} , 1583,08 cm^{-1} dan 1599,34 (G-band)	220 nm – 225 nm
4.	Santika <i>et al</i> [8]	Bulu Ayam	O-H C $\equiv$ C C=O C=C	-	220 nm – 225 nm
5.	Biha <i>et al</i> [9]	Tongkol Jagung	-	-	224 nm



Gambar 1. Hasil Karakterisasi (a) FTIR variasi waktu (b) FTIR variasi frekuensi (c) UV-Vis variasi waktu (d) UV-Vis variasi frekuensi [5]



Gambar 2. Nilai absorbansi Blender, Ultrasonifikasi dan Blender + Ultrasonifikasi [6]

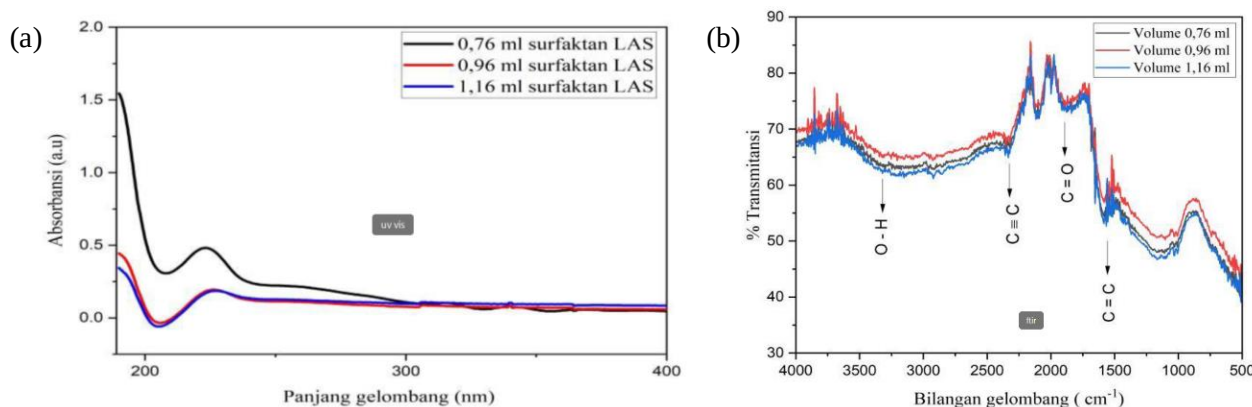


Gambar 3. Hasil Karakterisasi (a) *Raman Spectroscopy* arang kayu jati (b) *Raman Spectroscopy* arang tempurung kelapa (c) *Raman Spectroscopy* grafit pensil 8B (d) UV-Vis arang kayu jati (e) UV-Vis arang tempurung kelapa (f) UV-Vis grafit pensil 8B [7]

Pada penelitian yang dilakukan oleh Aziz dan Tjahjono [7], dilakukan sintesis GO menggunakan bahan dasar arang kayu jati, arang tempurung kelapa, dan isi pensil karbon 8B. Sintesis dilakukan menggunakan metode *Liquid Phase Exfoliation* (LPE) dengan bantuan blender. Pelarut yang digunakan dalam penelitian ini adalah larutan cuci piring berupa surfaktan. Setelah sintesis, material GO yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi menggunakan *Raman Spectroscopy* dan UV-Vis. Hasil *Spectroscopy Raman* menunjukkan bahwa pada GO berbahan dasar arang kayu jati, terdapat puncak D-band pada 1325,80 cm^{-1} dengan intensitas 386,51, dan puncak G-band pada 1601,51 cm^{-1} dengan intensitas 358,84. Rasio intensitas I_D/I_G yang diperoleh adalah sebesar 1,08. Pada GO berbahan dasar arang tempurung kelapa, terdapat puncak D-band pada 1315,47 cm^{-1} dengan intensitas 934,11, dan puncak G-band pada 1583,08 cm^{-1} dengan intensitas 869,26. Rasio intensitas I_D/I_G yang diperoleh adalah sebesar 1,07. Selain itu, material ini juga memiliki puncak 2D pada 2602,78 cm^{-1} dengan intensitas 65,06. Pada GO berbahan dasar isi pensil karbon 8B, terdapat puncak D-band pada 1316,78 cm^{-1} dengan intensitas 217,28, dan puncak G-band pada 1599,34 cm^{-1} dengan intensitas 156,90. Rasio intensitas I_D/I_G yang diperoleh adalah sebesar 1,38. Berdasarkan nilai rasio intensitas I_D/I_G tersebut, dapat disimpulkan bahwa GO berbahan dasar arang tempurung kelapa memiliki rasio

intensitas yang paling rendah, sehingga dianggap lebih baik dibandingkan dengan bahan dasar lainnya. Selanjutnya, hasil analisis UV-Vis menunjukkan bahwa nilai panjang gelombang berada dalam rentang 220 hingga 225 nm. Hal ini sesuai dengan karakteristik GO yang dihasilkan, yaitu berupa multilayer yang memiliki panjang gelombang sekitar 220-270 nm.

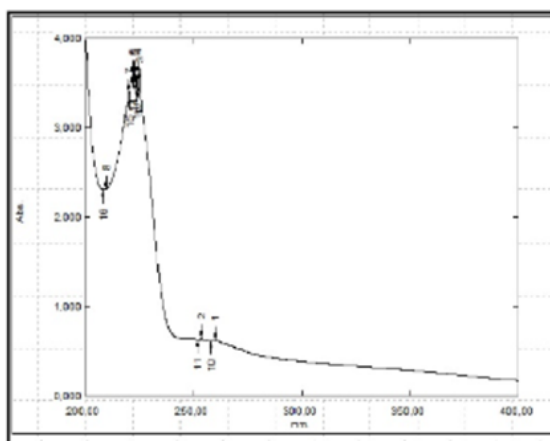
Pada penelitian Santika *et al* [8], dilakukan sintesis GO berbahan dasar limbah bulu ayam menggunakan metode LPE. Pelarut yang digunakan pada penelitiannya adalah surfaktan LAS dengan volume yang divariasikan yaitu 0,76 mL; 0,96 mL dan 1,16 mL kemudian setelah itu dikarakterisasi UV-Vis dan FTIR. Hasil karakterisasi UV-Vis menunjukkan bahwa puncak absorbansi dari ketiga sampel berada pada panjang gelombang 220 nm-225nm. Dari hasil karakterisasi yang ditunjukkan pada **Gambar 4 (a)** maka dapat disimpulkan bahwa penambahan volume surfaktan mengakibatkan panjang gelombang yang diserap sinar UV semakin panjang dan nilai absorbansinya semakin kecil. Sedangkan hasil FTIR menunjukkan bahwa volume surfaktan tidak mempengaruhi jenis gugus fungsi yang dihasilkan, namun mempengaruhi % transmitansi, dimana semakin tinggi volume surfaktan maka nilai % transmitansi menjadi berkurang.



Gambar 4. Hasil Karakterisasi GO menggunakan (a) UV-Vis (b) FTIR [8]

Pada penelitian Biha *et al* [9], dilakukan sintesis GO berbahan tongkol jagung menggunakan metode LPE dengan bantuan blender. Kemudian dikarakterisasi menggunakan UV-Vis yang menunjukkan keberhasilan dalam mensintesis GO yang dibuktikan dengan terbentuknya puncak absorbansi pada bilangan

gelombang 224 nm dengan nilai absorbansi sebesar 3,612.



Gambar 5. Hasil Karakterisasi GO menggunakan UV-Vis [9]

Metode Hummer's

Metode *Hummer's* adalah salah satu metode yang digunakan untuk sintesis GO. Metode ini melibatkan oksidasi grafit menggunakan campuran asam nitrat (HNO_3), asam sulfat pekat (H_2SO_4), dan *potassium permanganate* (KMnO_4). Proses ini menghasilkan GO dengan struktur dan sifat yang berbeda dari grafit. Metode *Hummer's* relatif sederhana, tetapi perlu dilakukan dengan hati-hati karena melibatkan bahan kimia yang berbahaya.

Tabel 2. Sintesis GO menggunakan metode Hummer's

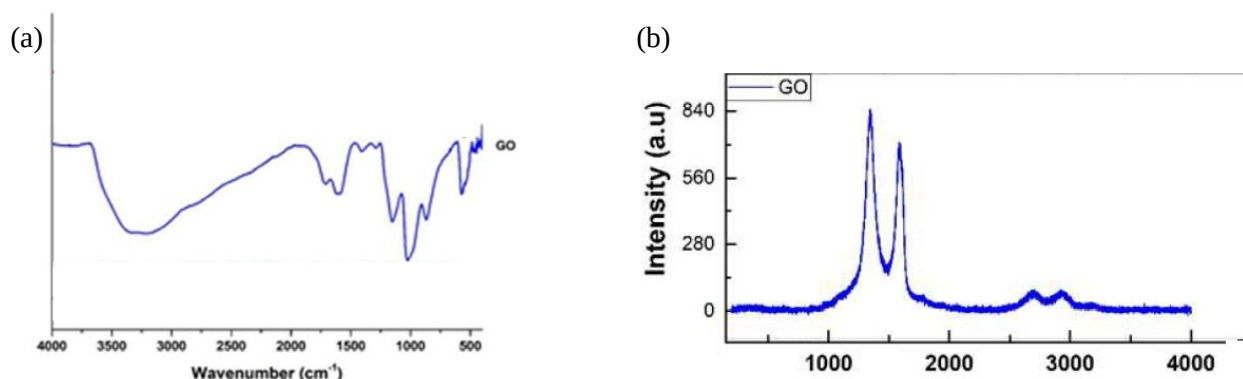
No	Referensi	Sumber	Alat Karakterisasi		
			FTIR	Raman Spectroscopy	UV-Vis
1.	Widyaningrum <i>et al</i> [10]	Cangkang Kelapa Sawit	O-H COOH CO-H C-O C-O-C	1343, 82 cm^{-1} (D-band) 1584,62 cm^{-1} (G-band) 2698 cm^{-1} (2D band)	-
2.	Supriyanto <i>et al</i> [11]	Tempurung kelapa,, sekam padi dan ampas padi	O-H C=C=O C=O C-O C-H	1361 cm^{-1} , 1348 cm^{-1} , 1358 cm^{-1} (D-band) 1588 cm^{-1} , 1588 cm^{-1} , 1582 cm^{-1} (G-band)	-
3.	Zhu <i>et al</i> [12]	Bubuk Cemara	C=C C-O—C C-O C=O O-H	1351 cm^{-1} (D-band) 1598 (G-band)	-
4.	Sharma <i>et al</i> [13]	Graphite Flake	C=C C-O C=O O-H C-H CO- =C-H	1347 cm^{-1} (D-band) 1587 cm^{-1} (G-band)	-
5.	Zhao <i>et al</i> [14]	Bubuk Grafit	C-O C=O O-H	1344 cm^{-1} (D-band) 1597 cm^{-1} (G-band)	-

Pada penelitian yang dilakukan oleh Widyaningrum *et al* [10], dilakukan sintesis GO menggunakan bahan dasar cangkang kelapa sawit. Hasil analisis FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi -OH pada bilangan gelombang 3450 cm^{-1} , 1720 cm^{-1} , dan 1625 cm^{-1} yang mengindikasikan vibrasi karboksil (-COOH), serta puncak pada 1270 cm^{-1} (CO-H), 1148 cm^{-1}

(C-O), dan 1030 cm^{-1} (C-O-C). Hasil ini sesuai dengan jurnal Ain *et al* (2019), yang menunjukkan adanya berbagai gugus fungsi oksigen dalam struktur GO [15]. Selanjutnya, hasil karakterisasi menggunakan *Raman Spectroscopy* menunjukkan bahwa GO memiliki puncak pada 1343,82 cm^{-1} (D-band), 1584,62 cm^{-1} (G-band), dan 2698 cm^{-1} (2D-band), dengan

rasio intensitas I_D/I_G sebesar 1,03. Menurut penelitian Kaniyoor *et al* (2012), GO dengan kualitas yang baik memiliki rasio intensitas I_D/I_G

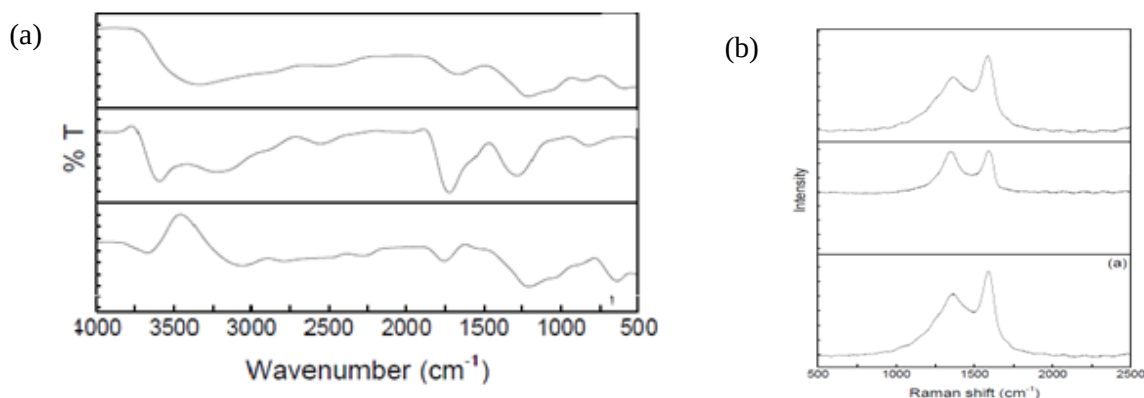
yang kurang dari 2 sehingga dapat disimpulkan bahwa kualitas pada penelitian ini dapat dikategorikan sebagai yang baik [16].



Gambar 6. Hasil Karakterisasi GO menggunakan (a) FTIR (b) *Raman Spectroscopy* [10]

Pada penelitian Supriyanto *et al* [11], dilakukan sintesis pembuatan GO berbahan dasar tempurung kelapa, sekam padi dan ampas tebu. Hasil FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi O-H, C=C=O, C=C aromatik, C-O dan C-H.

Sedangkan *Raman Spectroscopy* menunjukkan hasil spektrum GO dari tempurung kelapa, sekam padi dan ampas tebu secara berturut-turut 1361 cm^{-1} dan 1588 cm^{-1} , 1348 cm^{-1} dan 1588 cm^{-1} dan 1358 cm^{-1} dan 1582 cm^{-1} .



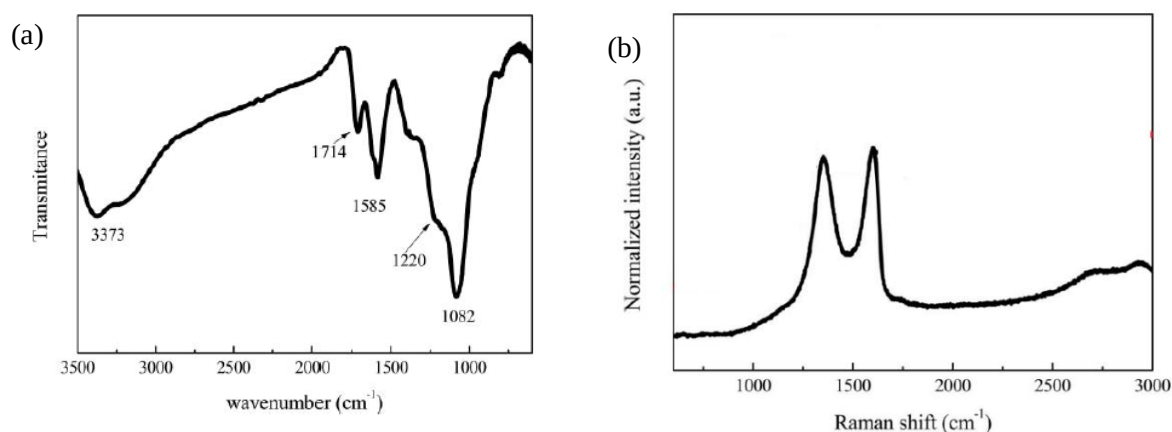
Gambar 7. Hasil Karakterisasi GO menggunakan (a) FTIR (b) *Raman Spectroscopy* [11]

Pada penelitian Zhu *et al* [12], dilakukan sintesis GO berbahan dasar bubuk cemara, yang kemudian di karakterisasi menggunakan FTIR dan *Raman spectroscopy*. Diperoleh hasil pada FTIR yaitu terdapat puncak adsorpsi pada bilangan gelombang 1580 cm^{-1} yang menunjukkan gugus fungsi C=C, 1082 cm^{-1} dari gugus C-O-C, 1220 cm^{-1} dan 1714 cm^{-1} yang menunjukkan gugus C-O dan C=O serta gugus O-H yang ditunjukkan pada bilangan gelombang 3373 cm^{-1} . Kemudian pada alat karakterisasi *Raman Spectroscopy* menunjukkan puncak *D-band* pada 1351 cm^{-1} dan *G-band* pada 1598 cm^{-1} .

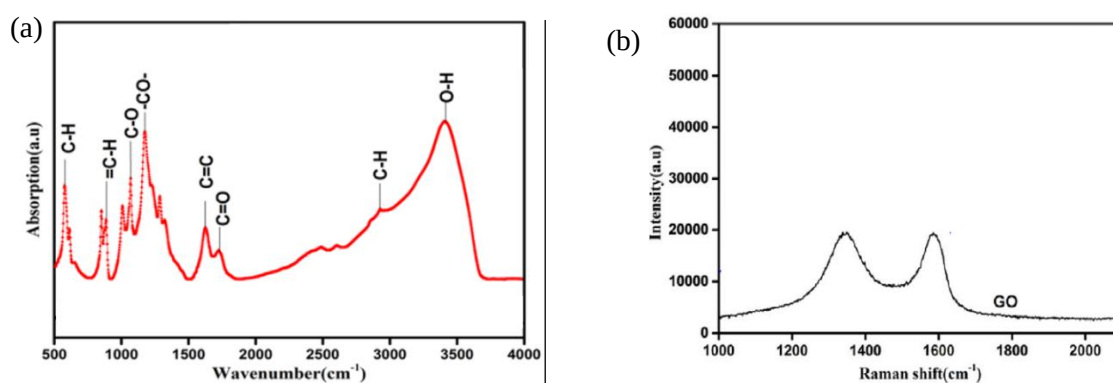
fungsi pada bilangan gelombang 3412 cm^{-1} (O-H), 1723 cm^{-1} (C=O karbonil), 1178 cm^{-1} dan 1723 cm^{-1} (C-O epoksi). Sedangkan untuk *Raman Spectroscopy*, ditunjukkan *D-band* pada 1347 cm^{-1} dan *G-band* 1587 cm^{-1} dengan rasio intensitas I_D/I_G sebesar 1,80.

Pada penelitian Sharma *et al* [13] dilakukan sintesis GO menggunakan *graphite flake* dan diperoleh hasil FTIR terdapat gugus

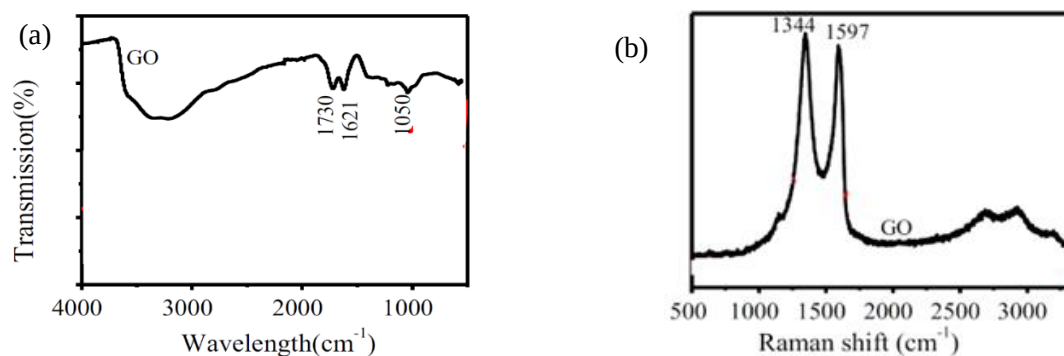
Pada penelitian Zhao *et al* [14] dilakukan pembuatan GO dengan bahan dasar serbuk grafit dan kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR dan *Raman spectroscopy*. Hasil FTIR menunjukkan bahwa terdapat puncak pada bilangan gelombang 1050 cm^{-1} (C-O), 1730 cm^{-1} (C=O) karbonil dan antara 3427-3250 cm^{-1} yang menunjukkan gugus O-H. Kemudian pada *Raman spektroskopi* menunjukkan peak 1344 cm^{-1} (*D-band*) dan 1597 (*G-band*)



Gambar 8. Hasil Karakterisasi GO menggunakan (a) FTIR (b) *Raman Spectroscopy* [12]



Gambar 9. Hasil Karakterisasi GO menggunakan (a) FTIR (b) *Raman Spectroscopy* [13]



Gambar 10. Hasil Karakterisasi GO menggunakan (a) FTIR (b) *Raman Spectroscopy* [14]

KESIMPULAN

Berdasarkan jurnal yang telah direview, dapat disimpulkan bahwa *Graphene Oxide* (GO) dapat disintesis menggunakan metode *Liquid Phase Exfoliation* (LPE) dan metode *Hummer's* dengan menggunakan grafit yang memiliki bahan dasar yang berbeda. Penggunaan metode dan bahan dasar yang berbeda menghasilkan karakteristik yang berbeda saat dianalisis menggunakan alat FTIR, *Raman Spectroscopy*, dan UV-Vis. Meskipun demikian, pada dasarnya

hasil yang diperoleh tetap sama. Pada analisis FTIR, terdapat gugus-gugus seperti O-H, C=C, C-O-C, C-O, dan C=O. Pada analisis *Raman Spectroscopy*, terdapat hasil intensitas rasio kurang dari 2 yang menandakan terbentuknya GO, serta terdapat puncak khas pada UV-Vis pada panjang gelombang 220-270 nm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yu, W., Sisi, L., Haiyan, Y., & Jie, L. (2020). Progress in the functional modification of graphene/graphene oxide: A review. *RSC Advances*, 10(26), 15328–15345.
- [2] Kamal, A. S., Othman, R., & Jabarullah, N. H. (2020). Preparation and synthesis of synthetic graphite from biomass waste: A review. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 11(2), 881–894.
- [3] Srinivasan, P., Sarmah, A. K., Smernik, R., Das, O., Farid, M., & Gao, W. (2015). A feasibility study of agricultural and sewage biomass as biochar, bioenergy and biocomposite feedstock: Production, characterization and potential applications. *Science of the Total Environment*, 512–513, 495–505.
- [4] Bete, Y. I., Bukit, M., Johannes, A. Z., & Pingak, R. K. (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), 114-120.
- [5] Hanifa, I. I., & Dwandaru, W. S. B. (2021). Sintesis Dan Karakterisasi Graphene Oxide Berbahan Dasar Grafit Olahan Menggunakan Metode Audiosonikasi. *Jurnal Ilmu Fisika dan Terapannya*, 8(1).
- [6] Solo, I. R., Bukit, M., Johannes, A. Z., & Pingak, R. K. (2020). Kajian Awal Sifat Optik Graphene Oxide Berbahan Dasar Arang Sekam Padi Dengan Metode Liquid Phase Exfoliation Menggunakan Alat Bantu Blender Dan Ultrasonic Cleaner. *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya*, 5(2), 145-148
- [7] Aziz, Z. I., & Tjahjono, A. (2022). Sintesis Graphene Oxide (GO) berbasis arang dengan metode liquid phase exfoliation (LPE). *Jurnal Teras Fisika: Teori, Modeling, dan Aplikasi Fisika*, 5(2), 1-8.
- [8] Santika, R., Astuti, A., & Usna, S. R. A. (2023). Sintesis dan Karakterisasi Sifat Optik Graphene Oxide dari Limbah Bulu Ayam dengan Metode Liquid Phase Exfoliation. *Jurnal Fisika Unand*, 12(2), 227-233.
- [9] Biha, A. A., Johannes, A. Z., Bukit, M., Pingak, R. K., & Sutaji, H. I. (2021). Kajian Sifat Fisis Bioplastik Pati Jagung dengan Penambahan Graphene Oxide Berbahan Dasar Tongkol Jagung Asal Kabupaten Kupang. *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya*, 6(1), 44-48.
- [10] Widyaningrum, B. A., Apriani, D., Amanda, P., Ismadi, I., & Sutanto, S. (2021). Synthesis and Characterization: Composite of Graphene Oxide Based Palm Kernel Shell Waste with Fe₃O₄. *Indonesian Journal of Materials Science*, 22(2), 488372.
- [11] Supriyanto, G., Rukman, N. K., Nisa, A. K., Jannatin, M., Piere, B., Abdullah, A., ... & Kusuma, H. S. (2018). Graphene oxide from Indonesian biomass: Synthesis and characterization. *BioResources*, 13(3), 4832-4840.
- [12] Zhu, L., Shi, T., & Chen, Y. (2015). Preparation and characteristics of graphene oxide from the biomass carbon material using fir powder as precursor. *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, 23(11), 961-967.
- [13] Sharma, N., Sharma, V., Jain, Y., Kumari, M., Gupta, R., Sharma, S. K., & Sachdev, K. (2017). Synthesis and characterization of graphene oxide (GO) and reduced graphene oxide (rGO) for gas sensing application. In *Macromolecular Symposia* (Vol. 376, No. 1, p. 1700006).
- [14] Zhao, D., Gao, X., Wu, C., Xie, R., Feng, S., & Chen, C. (2016). Facile preparation of amino functionalized graphene oxide decorated with Fe₃O₄ nanoparticles for the adsorption of Cr (VI). *Applied Surface Science*, 384, 1-9.
- [15] Q. U. Ain, M. U. Farooq, and M. I. Jalees. (2019). Application of Magnetic Graphene Oxide for Water Purification: Heavy Metals Removal and Disinfection. *Journal of Water Process Engineering*, 33, 101044
- [16] Kaniyoor, A., & Ramaprabhu, S. (2012). A Raman spectroscopic investigation of graphite oxide derived graphene. *Aip Advances*, 2(3), 032183.