

## Sintesis Arang Batok Kelapa menjadi Material Maju Grafen Menggunakan Metode Reduksi Kimia

Sugianto Arjo<sup>\*)</sup>, Harry Ramza, Mirza Nur Hidayat  
Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA-Jakarta

<sup>\*)</sup>Corresponding Author : s.arjo@uhaamka.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.20527/flux.v18i2.10549>

Submitted: 26 April 2021; Accepted: 27 Juli 2021

**ABSTRAK-** Penelitian ini merupakan bentuk kajian sederhana yang memanfaatkan biomassa pertanian yaitu batok kelapa yang disintesis menjadi material maju grafen. Grafen merupakan salah satu material maju dan terbarukan dalam bidang sains dan teknologi terkini karena kemanfaatannya yang multifungsi. Penelitian ini diawali dengan mengubah biomassa batok kelapa menjadi karbon melalui suatu reaksi pembakaran. Arang hasil dari pembakaran selanjutnya diberikan perlakuan dengan metode reduksi kimia atau metode Hummer tereduksi. Hasil penelitian ini memperlihatkan bentuk morfologi grafen berupa serpihan-serpihan atau dikenal dengan istilah grafen *Flakes*. Hasil ini terkonfirmasi melalui uji visualisasi SEM, dimana grafen *Flakes* diperlihatkan dalam formasi tumpukan mengindikasikan struktur multilayer. Hasil uji TEM memperlihatkan jarak antar kisi kristal yang dimilikinya yaitu berkisar pada 2,40 dan 2,46 Å. Berdasarkan pada data jarak antar kisi kristal tersebut, hasil simulasi energi menggunakan prinsip DOS didapatkan bahwan grafen hasil sintesis memiliki energi secara berturut-turut adalah 4,0 eV untuk level konduksi dan 3,3 eV untuk level valensi. Hasil uji optik sifat absorbansi dan fluoresens memperlihatkan grafen memiliki dua puncak serapan utama yang berkorelasi dengan terjadinya transisi energi  $\pi - \pi^*$  dan  $n - \pi^*$  dari bentuk ikatan C=C dan C-O-C. Adapun pendaran yang dihasilkan melalui uji fluoresensi adalah warna hijau dengan panjang gelombang 525 nm. Secara sederhana rancangan penelitian dapat dikatakan telah berhasil dalam mensintesis grafen dari arang batok kelapa, meskipun belum sempurna dan masih perlu untuk dilakukan kajian kembali. Hasil dari penelitian ini selanjutnya akan dikembangkan lagi menjadi bentuk grafen dengan morfologi yang berpori.

**KATA KUNCI:** Arang Batok Kelapa; Reduksi Kimia; Material Maju; Grafen

**ABSTRACT-** This research is a simple study that takes an advantage of agricultural biomass that is synthesized coconut shell to become graphene, an advanced material. Graphene is one of advanced-and-renewable material in the recent science and technology due to its multifunctional values. The research started with a changed coconut shell being carbon through a burning reaction. Then the next procedure is given to the charcoal, produced from the burning process, by chemical reduction method or reduced hummer method. The observation showed a morphological form of graphene known as graphene flakes. It had been confirmed by SEM visualization test where the graphene flakes exhibited in a drift formation indicated a multilayer structure. TEM test result showed a space in the owned crystal lattice approximately from 2.4 to 2.46 Å. Based on the data of the crystal lattice space, the result of energy simulation using DOS principal impressed that synthesized graphene has energy respectively 4.0 eV for a conduction and 3.3 eV for valency level. Therefore, the absorbantion and fluorecence result of the optical test showed that the graphene has two main absorptions corellated with the transitional energy of  $\pi - \pi^*$  and  $n - \pi^*$  to the form of C=C and C-O-C. However, emission resulted from fluorecence test is green with wavelength 525 nm. In a simple way, this reseach project can be resumed as a success study in the synthesized coconut from coconut shell, while it had not been perfect, yet, and it needed to be advanced. Next, the outcome of the study will be developed more to be a porous graphene form

**KEYWORDS:** Coconut shell Carcoal; Chemical Reduction; Advanced Material; Graphene.

## PENDAHULUAN

Grafen merupakan salah satu material terbaru saat ini yang sangat menjanjikan dalam berbagai aplikasi sains dan teknologi. Aplikasi sains yang dapat ditunjang oleh grafen dalam bidang medis diantaranya adalah sebagai media transfer obat (J. Liu et al., 2018; Muñoz et al., 2019; Y. Yang et al., 2013), sebagai media dalam pengiriman gen dan protein (Hossain et al., 2020; Vincent et al., 2017), sebagai media untuk terapi fotothermal dan terapi fotodinamik (De Melo-Diogo et al., 2019; Oliveira et al., 2018; Yan et al., 2019), sebagai biosensor (Deshmukh et al., 2020; Li et al., 2019; Peña-Bahamonde et al., 2018; Sumaryada et al., 2019; Szunerits & Boukherroub, 2018; C. Zhang et al., 2018; Yanyan Zhu et al., 2019), aplikasi *bioimaging* (Lin et al., 2018; X. Zhu et al., 2016), sebagai agen anti mikroba (Lin et al., 2018; X. Zhu et al., 2016), sebagai media pada sistem jaringan (Bai et al., 2019; Shang et al., 2019). Sedangkan dalam sistem pengembangan teknologi, grafen dapat diperankan sebagai piranti dalam *dye sensitized solar cells* (DSSC) (Adil et al., 2018; Mahmoudi et al., 2018), superkapasitor (Horn et al., 2019; Maddu et al., 2019; W. Yang et al., 2015), biochip (Ramalingam et al., 2020; Roy et al., 2016), anti peluru (Bizao et al., 2018; Costa et al., 2019), anti radar (Chen et al., 2017; Xie et al., 2019; D. Zhang et al., 2019), 3D printing (Bai et al., 2019; Guo et al., 2019).

Berdasarkan pada struktur morfologi, grafen merupakan nanomaterial dua dimensi (2D) atau dalam bentuk lembaran-lembaran yang tersusun atas atom-atom karbon dalam bentuk ikatan  $sp^2$ . Keadaan ini menjadikannya sebagai media yang sangat baik dalam kegiatan transfer elektron, sehingga secara elektronik grafen memiliki sifat kelistrikan yang tinggi (Murata et al., 2019; H. Sun et al., 2015). Kemampuan inilah yang menjadikan grafen sebagai pilihan utama untuk diterapkan dalam aplikasi superkapasitor, elektroda dan piranti dalam beberapa divais elektronik lainnya.

Mengingat bahwa grafen merupakan nanomaterial dalam bentuk lembaran-

lembaran yang sangat tipis, akan tetapi berdasarkan pada kajian sifat mekanik atau daya kekuatan kemulurannya sangat baik keadaan stres dan strainnya memperlihatkan sebagai struktur material yang sangat kuat (L. Liu et al., 2012; Y. Y. Zhang & Gu, 2013). Hal ini menjadikan grafen sebagai material yang sangat potensial untuk diterapkan sebagai bahan interior anti peluru (Bizao et al., 2018; Costa et al., 2019; Monetta et al., 2015; Peña-Bahamonde et al., 2018).

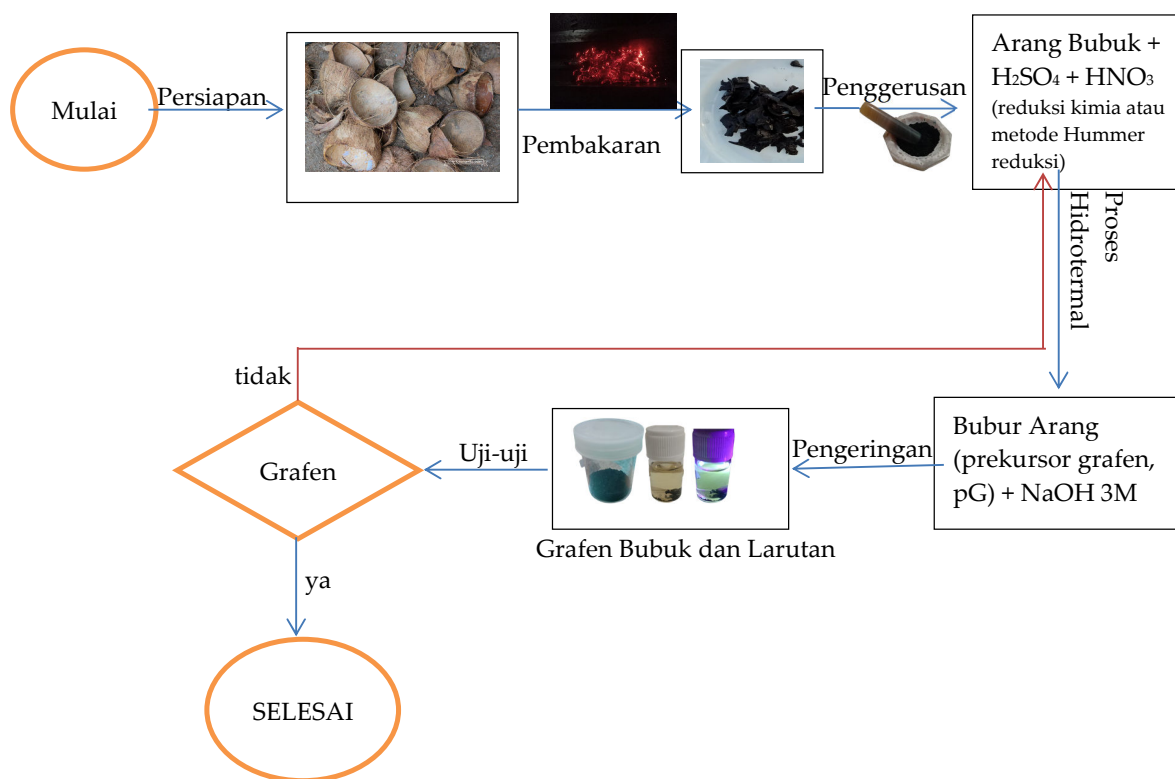
Mengingat begitu banyaknya ruang lingkup terapan sains dan teknologi yang dapat diperankan oleh nanomaterial grafen ini, bukanlah suatu hal yang tidak mungkin jika penelitian tentang grafen akan menjadi sesuatu yang sangat menjanjikan baik dalam bidang sains dan teknologi itu sendiri bahkan sampai pada hal komersialisasi.

Berdasarkan pada uraian di atas dalam kesempatan ini peneliti akan mencoba untuk merancang suatu percobaan sederhana atau penelitian dasar yaitu sintesa nanomaterial grafen dari arang batok kelapa dengan menggunakan metode reduksi kimia. Metode ini merupakan pengembangan metode Hummer yang secara umum telah digunakan untuk mensintesa grafen (Charmi et al., 2019; Hummers & Offeman, 1958; Oliveira et al., 2018; Valencia et al., 2018; Veeresh et al., 2020).

Hasil kajian dari beberapa referensi bahwa grafen dapat disintesa dari material yang memiliki ikatan kimia utama dari hidrokarbon. Beberapa material tersebut diantaranya adalah grafit (Achee et al., 2018; Jiang et al., 2017; Kim et al., 2018), glukosa (Adel et al., 2016; Shehab et al., 2017), biomassa (Das et al., 2017; Kong et al., 2020) dan arang batok kelapa (Muniyalakshmi et al., 2020; L. Sun et al., 2013; Supeno et al., 2020).

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan persiapan meliputi alat dan bahan yang akan digunakan, khususnya adalah menyiapkan batok kelapa yang sudah tua. Pertama-tama batok kelapa dibersihkan dari berbagai kotoran seperti tanah dan serabutnya, setelah



**Gambar 1** Bagan alir sintesa grafen *flakes* menggunakan metode reduksi kimia atau metode Hummer reduksi dari arang batok kelapa.

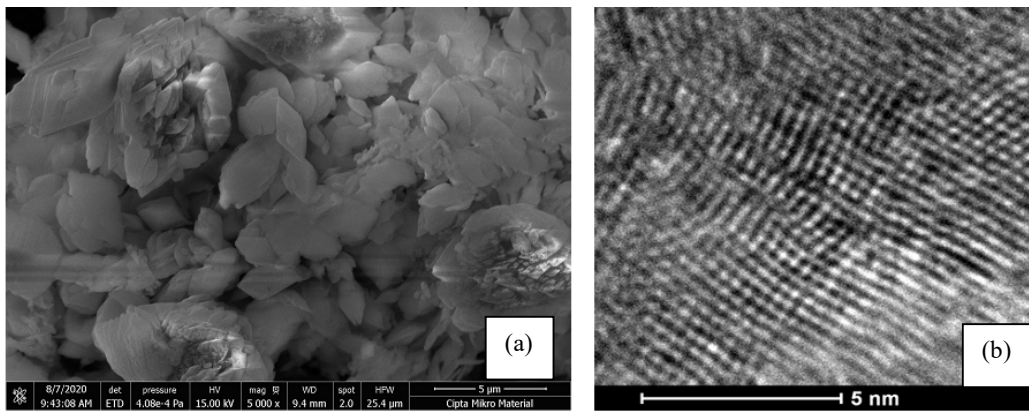
itu batok kelapa dibakar secara tradisional. Batok kelapa yang telah dibakar hingga menjadi arang kemudian digerus dengan menggunakan mortar sampai menjadi halus (tidak diperlukan penyaringan).

Sebanyak 2 g arang bubuk yang telah dihaluskan kemudian dimasukkan ke dalam 100 ml larutan asam  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{HNO}_3$  dengan masing-masing berbanding 3:1. Setelah tercampur secara sempurna, larutan asam dan bubuk arang tempurung tersebut dimasukkan ke dalam reaktor hidrotermal untuk dilakukan reaksi pada suhu  $120\text{ }^\circ\text{C}$  selama 120 menit. Setelah itu di dinginkan sampai pada suhu ruang. Arang batok kelapa yang berubah menjadi bubur arang (prekursor Grafen, pG) diambil sebanyak 5 ml dan dimasukkan ke dalam gelas kaca berukuran 50 ml yang bersuhu  $0\text{ }^\circ\text{C}$ . Sambil diaduk di atas *hotplate* menggunakan magnetik stirrer pG ditambahkan larutan NaOH 3M tetes demi tetes sampai mencapai pH 7. Larutan pG yang dalam kondisi netral, dituang ke dalam cawan petri dan selanjutnya dikeringkan di atas *hotplate* pada

suhu  $80\text{ }^\circ\text{C}$  sampai kering sempurna. Bubuk yang telah dihasilkan dari proses pengeringan tersebut sebagian langsung dilakukan uji SEM, dan FTIR. Sedangkan sebagian bubuk yang lain dilarutkan ke dalam pelarut organik diChloromethane dan selanjutnya dilakukan pengujian sifat optik, absorbansi, fluoresens dan uji HR-TEM. Secara rinci proses sintesa nanomaterial grafen ini secara rinci sebagai mana diperlihatkan dalam Gambar 1.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji morfologi menggunakan citra SEM telah memperlihatkan bentuk morfologi grafen berupa lembaran-lembaran atau *flakes* yang bertumpuk. Grafen *flakes* tersebut memperlihatkan struktur morfologi seperti belah ketupat belum berbentuk heksagonal sebagaimana mestinya struktur karbon (Terrones et al., 2010; Veeresh et al., 2020; Yanwu Zhu et al., 2010). Bentuk grafen *flakes* ini secara visual sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 2a. Sedangkan hasil uji HR-TEM diperlihatkan kisi-kisi kristal dalam

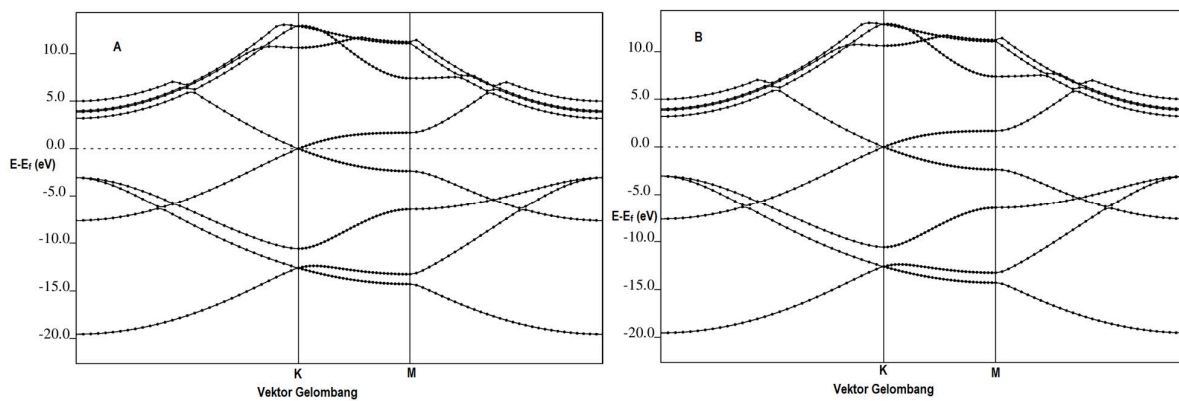


**Gambar 2** Visualisasi morfologi *graphene flakes* menggunakan citra SEM (a) dan TEM (b) yang disintesa dari arang batok kelapa menggunakan metode reduksi kimia atau metode Hummer yang telah dimodifikasi

bentuk titik-titik. Hasil perhitungan berdasarkan pada skala dalam gambar (Gambar 2b) diperoleh jarak antar titik kisi sebesar 2,40 dan 2,46 Å. Jarak antar titik kisi kristal tersebut dalam Gambar 2b ditandai dengan garis berwarna kuning. Secara rinci perihal informasi tersebut dapat dilihat dalam Gambar 2.

Hasil visualisasi tentang DOS ini dapat memperlihatkan besarnya energi gap dari *graphene* tersebut. Secara berturut-turut hasil visualisasi DOS ini secara rinci dapat dilihat dalam Gambar 3. Dari Gambar 3 dapat diketahui bahwa pada titik sumbu 0.0 merupakan tingkatan pada level fermi, sedangkan pada posisi di atas dan di bawah level fermi secara berurutan merupakan keadaan pada level pita  $\pi^*$  (level konduksi)

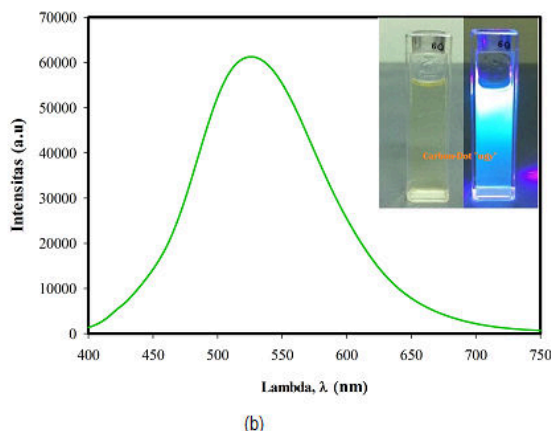
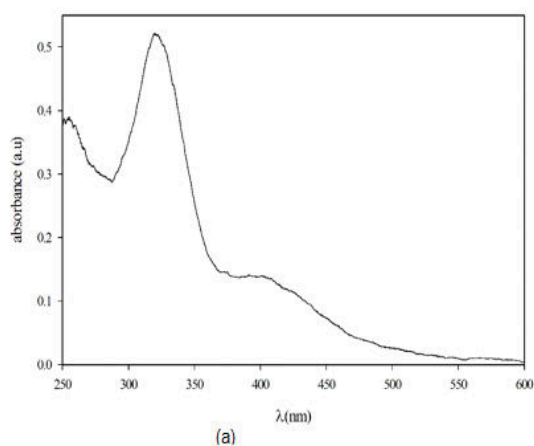
dan level pita  $\pi$  (level valensi) (Su et al., 2018; You et al., 2010). Sedangkan pita energi dari material grafen itu sendiri secara teori diperoleh dari jarak energi antara level valensi dan level konduksi sebagaimana yang diperlihatkan pada garis vertikal M. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa jarak energi antara level valensi dan level konduksi berdasarkan pada Gambar 3a adalah 4,0 eV, dimana 1,8 eV jarak dari level fermi ke level konduksi dan 2,2 eV jarak dari level fermi ke level valensi. Berdasarkan pada hasil analisis untuk Gambar 3b diperoleh jarak dari level fermi ke level konduksi pada garis vertikal M adalah 1,5 eV, sedangkan jarak dari level fermi ke level valensi diketahui sebesar 1,8 eV. Jadi secara keseluruhan jarak antara level valensi ke level adalah 3,3 eV.



**Gambar 3** Simulasi energi grafen *flakes* berdasarkan pada data ukuran jarak antar kisi yang diperoleh melalui analisis HR-TEM. (A) merupakan bentuk energi pita yang hitung pada jarak antar kisi 2.460 Å, dan (B) pada jarak 2.4 Å (P. Giannozzi et al., 2017; Paolo Giannozzi et al., 2009)

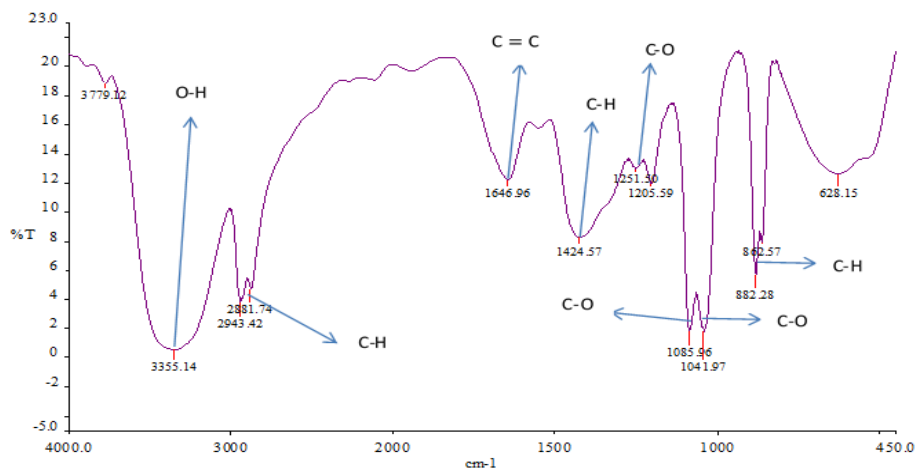
## SIFAT OPTIK

Hasil uji sifat optik absorbansi telah memperlihatkan dua puncak secara signifikan yaitu pada panjang gelombang 320 nm dan 402 nm. Adanya puncak serapan tersebut, secara teori bahwa puncak-puncak tersebut mengkonfirmasi adanya pergerakan secara atomik ketika berinteraksi antara foton dengan molekul dalam grafen *flakes*. Hasil studi referensi kedua puncak tersebut adalah bentuk dari C=C dan C-O. Dimana untuk bentuk C=C merupakan ciri khas utama dari grafen, sehingga memiliki serapan yang sangat kuat (Ahirwar et al., 2017; Saxena et al., 2011; Sur et al., 2016). Puncak utama dari bentuk C=C pada panjang gelombang 320 nm tersebut merupakan transisi secara elektronik dalam bentuk  $\pi - \pi^*$  yang terjadi dalam ruang UV (Saxena et al., 2011; Sur et al., 2016). Secara teoritik bahwa transisi secara elektronik ini terjadi dari keadaan energi dasar (*ground state*) ke keadaan energi yang lebih tinggi (*excited*). Sedang untuk panjang gelombang 402 nm merupakan bentuk transisi secara elektronik dalam bentuk  $n - \pi^*$  dari bentuk C-O-C. Perihal pemaparan tersebut secara visual penggambaran transisi secara elektronik tersebut dapat diperlihatkan melalui kurva absorbansi yang dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 4.



Gambar 4 Hasil uji sifat optik dari Grafen Flakes menggunakan spektrofotometer UV-Vis. a) Kurva absorbansi yang menggambarkan keadaan eksitasi, b) Kurva Fluoresens yang menggambarkan keadaan emisi

Uji FTIR merupakan bentuk pengujian yang dilakukan untuk mengetahui letak ikatan gugus fungsi dari grafen *flakes* itu sendiri melalui keadaan vibrasi dan *stretching*. Pada dasarnya bahwa struktur utama dari grafen itu adalah ikatan karbon. Hasil uji FTIR memperlihatkan bahwa ikatan karbon utama (C=C) terbentuk pada bilangan gelombang  $1646.96 \text{ cm}^{-1}$  yang diakibatkan oleh *stretching* vibrasi hibridisasi atom-atom karbon itu sendiri  $sp^2$  (Kim et al., 2018; Valencia et al., 2018). Sedangkan bentuk ikatan lainnya yang dihasilkan dari analisis data FTIR yang merupakan pencirian khusus dari karbon adalah bentuk pusat vibrasi *stretching* C-O yang diperlihatkan pada bilangan gelombang  $1041,97$  dan  $1085,96 \text{ cm}^{-1}$ . Sedang untuk bentuk C-O epoxy yang berkorelasi dengan  $sp^3$  diperlihatkan pada bilangan gelombang  $1205,59$  dan  $1251,50 \text{ cm}^{-1}$ . Untuk spektrum FITR yang terlihat tampak sebagaimana diperlihatkan pada bilangan  $3355,14 \text{ cm}^{-1}$  merupakan bentuk pencirian secara khusus ikatan gugus fungsi yang dimiliki oleh molekul air dalam bentuk ikatan OH. Pernyataan tersebut dapat dikonfirmasi dalam beberapa artikel sebagai referensi (Kim et al., 2018; Omwenga, 2017; Valencia et al., 2018). Secara rinci posisi-posisi ikatan gugus fungsi ini dapat dilihat dalam Gambar 5.



Gambar 5 Hasil uji sifat optik dari Grafen *Flakes* menggunakan spektrofotometer FTIR, untuk memperlihatkan bentuk ikatan gugus fungsi merupakan pencirian khas dari Grafen dari keadaan vibrasi dan stretching.

## KESIMPULAN

Uraian sederhana dari penelitian ini adalah keberhasilan mensintesa arang batok kelapa menjadi material maju grafen yang memiliki prospek menjanjikan saat ini dan masa yang akan datang. Metode reduksi kimia merupakan metode yang sangat efektif untuk dikembangkan dalam mensintesis grafen dari arang batok kelapa. Untuk penelitian selanjutnya adalah bagaimana grafen *flakes* yang dihasilkan dalam bentuk berpori.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana dengan pendanaan dari hibah internal Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA bersama Lemlitbang UHAMKA.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achee, T. C., Sun, W., Hope, J. T., Quitzau, S. G., Sweeney, C. B., Shah, S. A., Habib, T., & Green, M. J. (2018). High-yield scalable graphene nanosheet production from compressed graphite using electrochemical exfoliation. *Scientific Reports*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32741-3>
- Adel, M., El-Maghraby, A., El-Shazly, O., El-Wahidy, E. W. F., & Mohamed, M. A. A. (2016). Synthesis of few-layer graphene-like nanosheets from glucose: New facile approach for graphene-like nanosheets large-scale production. *Journal of Materials Research*, 31(4), 455–467. <https://doi.org/10.1557/jmr.2016.25>
- Adil, S. F., Khan, M., & Kalpana, D. (2018). Graphene-based nanomaterials for solar cells. In *Multifunctional Photocatalytic Materials for Energy*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101977-1.00008-9>
- Ahirwar, S., Mallick, S., & Bahadur, D. (2017). Electrochemical Method to Prepare Graphene Quantum Dots and Graphene Oxide Quantum Dots. *ACS Omega*, 2(11), 8343–8353. <https://doi.org/10.1021/acsomega.7b01539>
- Bai, R. G., Muthoosamy, K., Manickam, S., & Hilal-Alnaqbi, A. (2019). Graphene-based 3D scaffolds in tissue engineering: Fabrication, applications, and future scope in liver tissue engineering. *International Journal of Nanomedicine*, 14, 5753–5783. <https://doi.org/10.2147/IJN.S192779>
- Bizao, R. A., Machado, L. D., De Sousa, J. M., Pugno, N. M., & Galvao, D. S. (2018). Scale effects on the ballistic penetration of graphene sheets. *Scientific Reports*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25050-2>
- Charmi, J., Nosrati, H., Mostafavi Amjad, J., Mohammadkhani, R., & Danafar, H. (2019). Polyethylene glycol (PEG)

- decorated graphene oxide nanosheets for controlled release curcumin delivery. *Heliyon*, 5(4), e01466. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01466>
- Chen, C. Y., Pu, N. W., Liu, Y. M., Huang, S. Y., Wu, C. H., Ger, M. Der, Gong, Y. J., & Chou, Y. C. (2017). Remarkable microwave absorption performance of graphene at a very low loading ratio. *Composites Part B: Engineering*, 114, 395–403. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.02.016>
- Costa, U. O., Nascimento, L. F. C., Garcia, J. M., Monteiro, S. N., da Luz, F. S., Pinheiro, W. A., & da Costa Garcia Filho, F. (2019). Effect of graphene oxide coating on natural fiber composite for multilayered ballistic armor. *Polymers*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/polym11081356>
- Das, V. K., Shifrina, Z. B., & Bronstein, L. M. (2017). Graphene and graphene-like materials in biomass conversion: Paving the way to the future. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(48), 25131–25143. <https://doi.org/10.1039/c7ta09418c>
- De Melo-Diogo, D., Lima-Sousa, R., Alves, C. G., & Correia, I. J. (2019). Graphene family nanomaterials for application in cancer combination photothermal therapy. *Biomaterials Science*, 7(9), 3534–3551. <https://doi.org/10.1039/c9bm00577c>
- Deshmukh, M. A., Kang, B. C., & Ha, T. J. (2020). Non-enzymatic electrochemical glucose sensors based on polyaniline/reduced-graphene-oxide nanocomposites functionalized with silver nanoparticles. *Journal of Materials Chemistry C*, 8(15), 5112–5123. <https://doi.org/10.1039/c9tc06836h>
- Giannozzi, P., Andreussi, O., Brumme, T., Bunau, O., Buongiorno Nardelli, M., Calandra, M., Car, R., Cavazzoni, C., Ceresoli, D., Cococcioni, M., Colonna, N., Carnimeo, I., Dal Corso, A., De Gironcoli, S., Delugas, P., Distasio, R. A., Ferretti, A., Floris, A., Fratesi, G., ... Baroni, S. (2017). Advanced capabilities for materials modelling with Quantum ESPRESSO. *Journal of Physics Condensed Matter*, 29(46). <https://doi.org/10.1088/1361-648X/aa8f79>
- Giannozzi, Paolo, Baroni, S., Bonini, N., Calandra, M., Car, R., Cavazzoni, C., Ceresoli, D., Chiarotti, G. L., Cococcioni, M., Dabo, I., Dal Corso, A., De Gironcoli, S., Fabris, S., Fratesi, G., Gebauer, R., Gerstmann, U., Gougoussis, C., Kokalj, A., Lazzeri, M., ... Wentzcovitch, R. M. (2009). QUANTUM ESPRESSO: A modular and open-source software project for quantum simulations of materials. *Journal of Physics Condensed Matter*, 21(39). <https://doi.org/10.1088/0953-8984/21/39/395502>
- Guo, H., Lv, R., & Bai, S. (2019). Recent advances on 3D printing graphene-based composites. *Nano Materials Science*, 1(2), 101–115. <https://doi.org/10.1016/j.nanoms.2019.03.003>
- Horn, M., Gupta, B., MacLeod, J., Liu, J., & Motta, N. (2019). Graphene-based supercapacitor electrodes: Addressing challenges in mechanisms and materials. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 17, 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2019.03.004>
- Hossain, M. B., Islam, M. M., Abdulrazak, L. F., Rana, M. M., Akib, T. B. A., & Hassan, M. (2020). Graphene-Coated Optical Fiber SPR Biosensor for BRCA1 and BRCA2 Breast Cancer Biomarker Detection: a Numerical Design-Based Analysis. *Photonic Sensors*, 10(1), 67–79. <https://doi.org/10.1007/s13320-019-0556-7>
- Hummers, W. S., & Offeman, R. E. (1958). Preparation of Graphitic Oxide. *Journal of the American Chemical Society*, 80(6), 1339. <https://doi.org/10.1021/ja01539a017>
- Jiang, F., Yu, Y., Wang, Y., Feng, A., & Song, L. (2017). A novel synthesis route of graphene via microwave assisted intercalation-exfoliation of graphite. *Materials Letters*, 200, 39–42.

- <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2017.04.048>
- Kim, J., Yoon, G., Kim, J., Yoon, H., Baek, J., Lee, J. H., Kang, K., & Jeon, S. (2018). Extremely large, non-oxidized graphene flakes based on spontaneous solvent insertion into graphite intercalation compound. *Carbon*, 139, 309–316. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.06.071>
- Kong, X., Zhu, Y., Lei, H., Wang, C., Zhao, Y., Huo, E., Lin, X., Zhang, Q., Qian, M., Mateo, W., Zou, R., Fang, Z., & Ruan, R. (2020). Synthesis of graphene-like carbon from biomass pyrolysis and its applications. *Chemical Engineering Journal*, 399, 125808. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125808>
- Li, Z., Zhang, W., & Xing, F. (2019). Graphene Optical Biosensors. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(10), 24–28. <https://doi.org/10.3390/ijms20102461>
- Lin, J., Huang, Y., & Huang, P. (2018). Graphene-Based Nanomaterials in Bioimaging. In *Biomedical Applications of Functionalized Nanomaterials: Concepts, Development and Clinical Translation*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-50878-0.00009-4>
- Liu, J., Dong, J., Zhang, T., & Peng, Q. (2018). Graphene-based nanomaterials and their potentials in advanced drug delivery and cancer therapy. *Journal of Controlled Release*, 286(May), 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2018.07.034>
- Liu, L., Zhang, J., Zhao, J., & Liu, F. (2012). Mechanical properties of graphene oxides. *Nanoscale*, 4(19), 5910–5916. <https://doi.org/10.1039/c2nr31164j>
- Maddu, A., Nugroho, R. A., Rustami, E., Arjo, S., & Hidayat, M. (2019). Synthesis of graphene/polyaniline nanocomposite for supercapacitor electrodes. *Journal of Physics: Conference Series*, 1171(1), 0–8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1171/1/012043>
- Mahmoudi, T., Wang, Y., & Hahn, Y. B. (2018). Graphene and its derivatives for solar cells application. *Nano Energy*, 47(January), 51–65. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2018.02.047>
- Monetta, T., Acquesta, A., & Bellucci, F. (2015). Graphene/epoxy coating as multifunctional material for aircraft structures. *Aerospace*, 2(3), 423–434. <https://doi.org/10.3390/aerospace2030423>
- Muniyalakshmi, M., Sethuraman, K., & Silambarasan, D. (2020). Synthesis and characterization of graphene oxide nanosheets. *Materials Today: Proceedings*, 21, 408–410. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.375>
- Muñoz, R., Singh, D. P., Kumar, R., & Matsuda, A. (2019). Graphene Oxide for Drug Delivery and Cancer Therapy. In *Nanostructured Polymer Composites for Biomedical Applications*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816771-7.00023-5>
- Murata, H., Nakajima, Y., Saitoh, N., Yoshizawa, N., Suemasu, T., & Toko, K. (2019). High-Electrical-Conductivity Multilayer Graphene Formed by Layer Exchange with Controlled Thickness and Interlayer. *Scientific Reports*, 9(1), 1–5. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40547-0>
- Oliveira, A. E. F., Braga, G. B., Tarley, C. R. T., & Pereira, A. C. (2018). Thermally reduced graphene oxide: synthesis, studies and characterization. *Journal of Materials Science*, 53(17), 12005–12015. <https://doi.org/10.1007/s10853-018-2473-3>
- Omwenga, E. (2017). A model for evaluating e-learning systems quality in higher education in developing countries Kennedy Hadullo Technical University of Mombasa, Kenya. *International Journal of Education and Development Using Information and Communication Technology*, 13(2).
- Peña-Bahamonde, J., Nguyen, H. N., Fanourakis, S. K., & Rodrigues, D. F. (2018). Recent advances in graphene-based biosensor technology with



- applications in life sciences. *Journal of Nanobiotechnology*, 16(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s12951-018-0400-z>
- Ramalingam, S., Elsayed, A., & Singh, A. (2020). An electrochemical microfluidic biochip for the detection of gliadin using MoS<sub>2</sub>/graphene/gold nanocomposite. *Microchimica Acta*, 187(12). <https://doi.org/10.1007/s00604-020-04589-w>
- Roy, S., Rahman, I. A., Santos, J. H., & Ahmed, M. U. (2016). Meat species identification using DNA-redox electrostatic interactions and non-specific adsorption on graphene biochips. *Food Control*, 61, 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.09.029>
- Saxena, S., Tyson, T. A., Shukla, S., Negusse, E., Chen, H., & Bai, J. (2011). Investigation of structural and electronic properties of graphene oxide. *Applied Physics Letters*, 99(1), 5–8. <https://doi.org/10.1063/1.3607305>
- Shang, L., Qi, Y., Lu, H., Pei, H., Li, Y., Qu, L., Wu, Z., & Zhang, W. (2019). Graphene and Graphene Oxide for Tissue Engineering and Regeneration. In *Theranostic Bionanomaterials*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815341-3.00007-9>
- Shehab, M., Ebrahim, S., & Soliman, M. (2017). Graphene quantum dots prepared from glucose as optical sensor for glucose. *Journal of Luminescence*, 184, 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2016.12.006>
- Su, F., Huo, L., Kong, Q., Xie, L., & Chen, C. (2018). Theoretical study on the quantum capacitance origin of graphene cathodes in lithium ion capacitors. *Catalysts*, 8(10). <https://doi.org/10.3390/catal8100444>
- Sumaryada, T., Gunawan, M. S., Perdana, S., Arjo, S., & Maddu, A. (2019). A molecular interaction analysis reveals the possible roles of graphene oxide in a glucose biosensor. *Biosensors*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/bios9010018>
- Sun, H., Ge, G., Zhu, J., Yan, H., Lu, Y., Wu, Y., Wan, J., Han, M., & Luo, Y. (2015). High electrical conductivity of graphene-based transparent conductive films with silver nanocomposites. *RSC Advances*, 5(130), 108044–108049. <https://doi.org/10.1039/c5ra24650d>
- Sun, L., Tian, C., Li, M., Meng, X., Wang, L., Wang, R., Yin, J., & Fu, H. (2013). From coconut shell to porous graphene-like nanosheets for high-power supercapacitors. *Journal of Materials Chemistry A*, 1(21), 6462–6470. <https://doi.org/10.1039/c3ta10897j>
- Supeno, M., Pratama, A., & Haulian Purba, R. (2020). Adsorption of N-Graphene from Coconut Shell. *Oriental Journal of Chemistry*, 36(02), 280–285. <https://doi.org/10.13005/ojc/360210>
- Sur, U. K., Saha, A., Datta, A., Ankamwar, B., Surti, F., Roy, S. D., & Roy, D. (2016). Synthesis and characterization of stable aqueous dispersions of graphene. *Bulletin of Materials Science*, 39(1), 159–165. <https://doi.org/10.1007/s12034-015-0893-0>
- Szunerits, S., & Boukherroub, R. (2018). *Graphene-based biosensors*.
- Terrones, M., Botello-Méndez, A. R., Campos-Delgado, J., López-Urías, F., Vega-Cantú, Y. I., Rodríguez-Macías, F. J., Elías, A. L., Muñoz-Sandoval, E., Cano-Márquez, A. G., Charlier, J. C., & Terrones, H. (2010). Graphene and graphite nanoribbons: Morphology, properties, synthesis, defects and applications. *Nano Today*, 5(4), 351–372. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2010.06.010>
- Valencia, C., Valencia, C. H., Zuluaga, F., Valencia, M. E., Mina, J. H., & Grande-Tovar, C. D. (2018). Synthesis and application of scaffolds of chitosan-graphene oxide by the freeze-drying method for tissue regeneration. *Molecules*, 23(10). <https://doi.org/10.3390/molecules23102651>
- Veeresh, S., Ganesh, H., Nagaraju, Y. S., Vandana, M., Ashokkumar, S. P., Yesappa, L., Vijeth, H., & Devendrappa,

- H. (2020). Structure, morphology and optical properties of graphene oxide. *AIP Conference Proceedings*, 2244(June), 5–9. <https://doi.org/10.1063/5.0009205>
- Vincent, M., De Lázaro, I., & Kostarelos, K. (2017). Graphene materials as 2D non-viral gene transfer vector platforms. *Gene Therapy*, 24(3), 123–132. <https://doi.org/10.1038/gt.2016.79>
- Xie, X., Zhou, Y., & Huang, K. (2019). Advances in microwave-assisted production of reduced graphene oxide. *Frontiers in Chemistry*, 7(JUN), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fchem.2019.00355>
- Yan, M., Liu, Y., Zhu, X., Wang, X., Liu, L., Sun, H., Wang, C., Kong, D., & Ma, G. (2019). Nanoscale Reduced Graphene Oxide-Mediated Photothermal Therapy Together with IDO Inhibition and PD-L1 Blockade Synergistically Promote Antitumor Immunity. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 11(2), 1876–1885. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b18751>
- Yang, W., Ni, M., Ren, X., Tian, Y., Li, N., Su, Y., & Zhang, X. (2015). Graphene in Supercapacitor Applications. In *Current Opinion in Colloid and Interface Science* (Vol. 20, Issues 5–6, pp. 416–428). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2015.10.009>
- Yang, Y., Asiri, A. M., Tang, Z., Du, D., & Lin, Y. (2013). Graphene based materials for biomedical applications. In *Materials Today*. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2013.09.004>
- You, J. H., Ju, W. W., Li, E. Q., Pu, T. S., Zhao, Y. Y., & Wang, H. (2010). Fifth-nearest-neighbor tight-binding description of electronic structure of graphene. *Communications in Theoretical Physics*, 53(6), 1172–1176. <https://doi.org/10.1088/0253-6102/53/6/36>
- Zhang, C., Zhang, Z., Yang, Q., & Chen, W. (2018). Graphene-based Electrochemical Glucose Sensors: Fabrication and Sensing Properties. *Electroanalysis*, 30(11), 2504–2524. <https://doi.org/10.1002/elan.201800522>
- Zhang, D., Liu, T., Cheng, J., Cao, Q., Zheng, G., Liang, S., Wang, H., & Cao, M. S. (2019). Lightweight and High-Performance Microwave Absorber Based on 2D WS<sub>2</sub>-RGO Heterostructures. *Nano-Micro Letters*, 11(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s40820-019-0270-4>
- Zhang, Y. Y., & Gu, Y. T. (2013). Mechanical properties of graphene: Effects of layer number, temperature and isotope. *Computational Materials Science*, 71, 197–200. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2013.01.032>
- Zhu, X., Liu, Y., Li, P., Nie, Z., & Li, J. (2016). Applications of graphene and its derivatives in intracellular biosensing and bioimaging. *Analyst*, 141(15), 4541–4553. <https://doi.org/10.1039/c6an01090c>
- Zhu, Yanwu, Murali, S., Cai, W., Li, X., Suk, J. W., Potts, J. R., & Ruoff, R. S. (2010). Graphene and graphene oxide: Synthesis, properties, and applications. *Advanced Materials*, 22(35), 3906–3924. <https://doi.org/10.1002/adma.201001068>
- Zhu, Yanyan, Zhang, X., Sun, J., Li, M., Lin, Y., Kang, K., Meng, Y., Feng, Z., & Wang, J. (2019). A non-enzymatic amperometric glucose sensor based on the use of graphene frameworks-promoted ultrafine platinum nanoparticles. *Microchimica Acta*, 186(8). <https://doi.org/10.1007/s00604-019-3653-9>