

Sintesis Graphene Oxide (GO) berbasis arang dengan metode *liquid phase exfoliation* (LPE)

Zahra Izzati Aziz*, Arif Tjahjono

Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi,

Universitas Islam Negeri (UIN) Syarif Hidayatullah Jakarta

Jl. Ir H. Juanda No.95, Cempaka Putih, Ciputat Timur, Tangerang Selatan, Banten 15412, Indonesia

*email: zahraizzati Aziz@gmail.com

Abstrak - Telah dilakukan penelitian tentang sintesis *graphene oxide* (GO) berbasis arang menggunakan metode *Liquid Phase Exfoliation* (LPE) dengan melakukan *milling* menggunakan blender selama 3 jam pada campuran 2 gram serbuk arang, 250 ml aquades, dan surfaktan berupa sabun cuci piring sebanyak 0,75 ml untuk mengeksfoliasi lapisan karbon. Terdapat tiga jenis arang yang digunakan, yaitu arang kayu jati, arang tempurung kelapa, dan isi pensil karbon 8B yang ada di pasaran. Hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan spektroskopi *energy-dispersive X-ray* (EDX), spektrofotometer UV-Vis, dan spektroskopi Raman. Hasil karakterisasi EDX menunjukkan bahwa kandungan unsur karbon (C) paling optimum terdapat pada arang kayu jati dengan nilai 90,15 *Mass%* atau 92,88 *At%*, sedangkan pada arang tempurung kelapa nilainya 76,25 *Mass%* atau 82,74 *At%*, dan pada isi pensil karbon 8B nilainya 64,11 *Mass%* atau 75,34 *At%*. Hasil karakterisasi UV-Vis menunjukkan bahwa ketiga sampel telah memiliki panjang gelombang yang sesuai dengan panjang gelombang GO, yaitu 220 nm – 270 nm. Hasil karakterisasi Raman menunjukkan bahwa impuritas ketiga sampel masih cukup tinggi yang ditandai dengan intensitas puncak D yang lebih tinggi dibandingkan puncak G, hal ini tidak lepas dari kualitas arang yang digunakan. Lapisan yang dihasilkan dari ketiga sampel berupa *multilayer*. Berdasarkan perhitungan nilai energi celah pita menggunakan metode *Tauc Plot* diketahui bahwa ketiga sampel berada dalam rentang material semikonduktor dengan nilai energi celah pita terkecil yaitu arang kayu jati sebesar 3,23 eV.

Kata kunci: Covid-19, Suhu tubuh, Denyut jantung, Saturasi oksigen

Abstract – Research has been conducted on the synthesis of charcoal-based graphene oxide (GO) using the *Liquid Phase Exfoliation* (LPE) method by milling using a blender for 3 hours on a mixture of 2 grams of charcoal powder, 250 ml of distilled water, and surfactants in the form of dish soap as much as 0.75 ml to exfoliate the carbon layer. There are three types of charcoal used, namely teak wood charcoal, coconut shell charcoal, and 8B carbon pencil fill on the market. The synthesis results were characterized using *energy-dispersive X-ray spectroscopy* (EDX), *UV-Vis spectrophotometer*, and *Raman spectroscopy*. The results of EDX characterization show that the most optimal carbon (C) element content is found in teak wood charcoal with a value of 90.15 *Mass%* or 92.88 *At%*, while in coconut shell charcoal the value is 76.25 *Mass%* or 82.74 *At%*, and in 8B carbon pencil fill the value is 64.11 *Mass%* or 75.34 *At%*. *UV-Vis* characterization results showed that all three samples had wavelengths corresponding to GO wavelengths, which were 220 nm – 270 nm. Raman characterization results showed that the impurity of the three samples was still quite high which was characterized by a higher peak intensity of D than the G peak, this could not be separated from the quality of the charcoal used. The resulting layer of all three samples is *multilayer*. Based on the calculation of the energy value of the bandgap using the *Tauc Plot* method it is known that the three samples are in the range of semiconductor materials with the smallest bandgap energy value, teak wood charcoal of 3.23 eV.

Key words: charcoal, graphene oxide, *Liquid Phase Exfoliation*

PENDAHULUAN

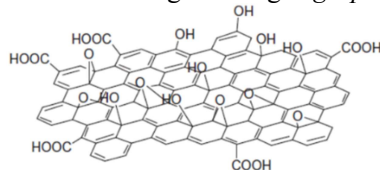
Karbon merupakan unsur keenam dalam tabel periodik yang menjadi salah satu topik yang paling menarik dan banyak dikembangkan dalam ilmu material, khususnya nanomaterial. Hal ini dikarenakan karbon memiliki modifikasi alotrop yang sebagian sifatnya bisa benar-benar berlawanan [1]. Sejak tahun 1985, alotrop karbon mulai berkembang dengan kemunculan

fullerene yang pertama kali diamati oleh Kroto dkk. Penemuan-penemuan berikutnya berkembang hingga ke alotrop karbon sintetis, termasuk di dalamnya sintesis karbon *nanotube* pada tahun 1991 dan penemuan kembali *graphene* pada tahun 2004 [2].

Graphene dikenal sebagai lapisan tunggal atom karbon padat yang dikemas ke dalam kisi kristal sarang lebah dua dimensi (2D) [3].

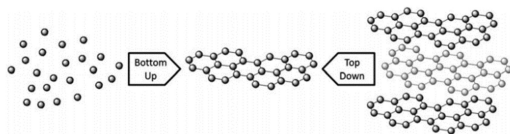
Selama lebih dari satu dekade terakhir, *graphene* telah menjadi salah satu topik penting yang dipelajari dalam bidang nanomaterial karena struktur dua dimensi (2D) dan kumpulan sifat fisiknya yang unik [4].

Terkait topik mengenai *graphene*, dikenal pula modifikasi material dari *graphene* yaitu *graphene oxide* (GO). Struktur GO dapat didefinisikan sebagai lembaran *graphene* yang memiliki gugus fungsi oksigen pada tepi dan permukaan bidangnya seperti yang digambarkan pada **Gambar 1**. Kehadiran gugus fungsi oksigen pada GO menjadikan material ini memiliki potensi yang besar untuk diaplikasikan pada berbagai bidang, seperti penggunaan elektroda berbasis GO untuk diaplikasikan dalam kimia elektroanalitik dan sensor elektrokimia. Selain itu, salah satu keunggulan dari GO adalah proses sintesisnya yang jauh lebih mudah dibandingkan dengan *graphene* [5].



Gambar 1. Struktur pada GO [6]

Secara umum, sintesis *graphene* sendiri terbagi menjadi dua jenis metode, yaitu *top-down* dan *bottom-up* seperti yang digambarkan pada **Gambar 2**. Metode *top-down* adalah proses pemecahan lapisan grafit yang ditumpuk untuk menghasilkan lembaran *graphene* tunggal. Sedangkan metode *bottom-up* adalah proses mensintesis *graphene* dari molekul karbon sehingga membentuk *graphene* [7].



Gambar 2. Skema metode *bottom-up* dan *top-down* dalam sintesis *graphene* [7].

Metode *bottom-up* dapat menghasilkan material *graphene* yang memiliki cacat jauh lebih sedikit dibandingkan dengan metode *top-down*. Meskipun demikian, metode *top-down* lebih unggul dalam hal produksi *graphene* dalam skala besar dikarenakan proses produksinya yang lebih mudah [8]. Metode dengan rute *top-down* yang utama diantaranya terdapat metode *Liquid Phase Exfoliation* (LPE) dan *Mechanical Exfoliation* (ME) [9].

Beberapa penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan metode LPE dalam proses sintesis *graphene* maupun GO oleh Eswaraiyah Varla dkk (2014) [4], Wiwid Jarinda (2017) [10], dan Yuditha Ignasia Bete dkk (2019) [11]. Dibuktikan bahwa grafit ataupun arang dapat disintesis mejadi GO menggunakan metode LPE dengan blender dan surfaktan sebagai media bantu eksfoliasi.

Proses sintesis GO berbasis arang menggunakan metode LPE dengan blender dan surfaktan untuk mengeksfoliasi lapisan karbon dilakukan pada penelitian ini. Ada tiga jenis arang yang akan digunakan, yaitu arang kayu jati, arang tempurung kelapa, dan isi pensil karbon 8B yang ada di pasaran. Penggunaan ketiga jenis arang tersebut didasarkan pada kemudahan dalam mendapatkan sumber bahan. Hasil sintesis GO kemudian dikarakterisasi menggunakan spektroskopi *energy-dispersive X-ray* (EDX), spektrofotometer UV-Vis, dan spektroskopi Raman. Hasil penelitian ini diharapkan terbentuk material GO dengan metode yang sederhana, selain itu juga akan diperoleh informasi mana di antara ketiga jenis arang tersebut yang akan menghasilkan material GO yang paling optimum.

METODE PENELITIAN

A. Sintesis GO

Hal pertama yang dilakukan adalah menghaluskan arang kayu jati, arang tempurung kelapa, dan isi pensil karbon 8B menggunakan mortar hingga menjadi serbuk halus. Khusus untuk isi pensil karbon 8B, sebelumnya dipisahkan terlebih dahulu dari kayu pensil menggunakan *cutter*. Ketiga jenis arang kemudian diayak hingga ukuran 200 mesh. Masing-masing jenis arang ditimbang sebanyak 2 gram untuk pengujian menggunakan spektroskopi EDX dan sebanyak 2 gram lainnya untuk sintesis GO. Tahapan berikutnya, persiapan larutan sabun cuci piring sebanyak 0,75 ml dan aquades sebanyak 250 ml.

Seluruh bahan yang sudah disiapkan dimasukkan ke dalam blender untuk dilakukan proses *milling* dengan kecepatan konstan selama 3 jam dengan interval waktu setiap 15 menit dilakukan *restart* selama 15 menit. Total waktu proses *milling* dan *restart* selama 6 jam. Cairan sampel hasil *milling* dimasukkan ke dalam botol sampel 300 ml untuk didiamkan selama kurang lebih 3 hari. Cairan sampel kemudian diambil

menggunakan pipet tetes dan dimasukkan ke dalam botol sampel 20 ml untuk diuji menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan spektroskopi Raman. Cairan hasil sintesis GO pada penelitian ini disajikan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Hasil sintesis GO pada sampel (a) Arang kayu jati (b) Arang tempurung kelapa (c) Isi pensil karbon 8B

Penampakan ketiga sampel pada **Gambar 3**, terlihat bahwa ketiganya memiliki warna yang hampir seragam, yaitu hitam pekat.

B. Karakterisasi Material

Karakterisasi Spektroskopi EDX

Instrumen spektroskopi EDX yang digunakan adalah JEOL JSM 6510 LA. Rentang energi yang digunakan yaitu 0 – 20 keV.

Karakterisasi Spektrofotometer UV-Vis

Instrumen spektrofotometer UV-Vis yang digunakan adalah Agilent Cary 60. Rentang panjang gelombang yang digunakan yaitu 200 nm – 800 nm.

Karakterisasi Spektroskopi Raman

Instrumen spektroskopi Raman yang digunakan adalah HORIBA - *The LabRAM HR Evolution Raman Microscopes*. Panjang sinar laser yang digunakan adalah 785 nm dan grating 600g/mm. Rentang pergeseran Raman yaitu $200 \text{ cm}^{-1} - 3000 \text{ cm}^{-1}$.

C. Perhitungan Energi Celah Pita dengan Metode Tauc Plot

Perhitungan energi celah pita menggunakan metode *Tauc Plot* membutuhkan data spektrum serapan UV-Vis [12]. Metode ini memanfaatkan grafik linear hubungan antara E (eV) pada sumbu horizontal (sumbu-x) dan $(\alpha h\nu)^{1/m}$ pada sumbu vertikal (sumbu-y) [13]. Persamaan untuk memperoleh nilai energi celah pita disajikan pada persamaan (1).

$$(\alpha h\nu)^{1/m} = B(h\nu - E_g) \quad (1)$$

Nilai α yang merupakan nilai koefisien absorptansi yang didapatkan dengan menggunakan persamaan $\alpha = A \frac{1}{\log(e)L}$ di mana A adalah nilai absorptansi, nilai $\log(e) = 0,4343$, dan L adalah lebar kuvet, di mana pada penelitian ini besarnya adalah 1 cm. Nilai energi foton $E = h\nu = hc/\lambda$ didapatkan dengan memasukkan nilai $hc = 1240 \times 10^{-9} \text{ eVm}$ yang diperoleh dari persamaan Planck dan nilai panjang gelombang spektrum UV-Vis. Nilai m pada perhitungan ini menggunakan nilai $m = 1/2$ yang berarti *direct allowed transition* [12].

HASIL DAN PEMBAHASAN

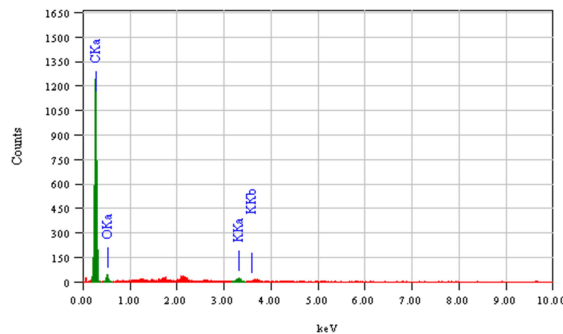
A. Analisis Hasil Karakterisasi Spektroskopi EDX

Ketiga jenis arang yang telah dihaluskan dan diayak dikarakterisasi menggunakan spektroskopi EDX. Hasil karakterisasi EDX menunjukkan bahwa ketiga jenis arang secara kualitas masih belum optimal dikarenakan masih terdapat banyak unsur-unsur yang tidak dikehendaki yang terdeteksi oleh EDX. Hal tersebut dapat disebabkan karena belum sempurnanya proses karbonisasi dari ketiga jenis arang yang digunakan sebagai bahan baku sampel.

Secara prinsip proses karbonisasi adalah pembakaran biomassa tanpa kehadiran oksigen, sehingga hanya zat yang mudah menguap yang dilepaskan, sedangkan karbon tetap berada di dalamnya. Pada proses ini, suhu menjadi salah satu faktor penting karena berkaitan dengan kualitas arang yang dihasilkan [14]. Berkenaan dengan hal tersebut, kualitas arang yang digunakan tentunya akan berdampak terhadap kualitas material GO yang akan dihasilkan. Spektrum EDX yang dihasilkan dari arang kayu jati disajikan pada **Gambar 4**, dan rincian komposisi unsur penyusun arang kayu jati pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi unsur penyusun arang kayu jati

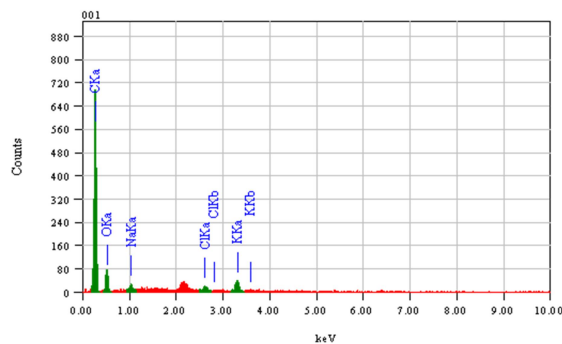
Elemen	Mass%	At%
C	90,15	92,88
O	8,77	6,78
K	1,08	0,34



Gambar 4. Spektrum EDX arang kayu jati

Tabel 1 menunjukkan unsur karbon (C) mendominasi dengan nilai 90,15 *Mass%* atau 92,88 *At%* menyatakan bahwa proses karbonisasi dari arang kayu jati yang digunakan pada penelitian ini sudah cukup baik, meskipun masih belum sempurna. Hal tersebut ditunjukkan dengan masih cukup tingginya kandungan oksigen (O) dengan nilai 8,77 *Mass%* atau 6,77 *At%*.

Spektrum EDX yang dihasilkan dari arang tempurung kelapa disajikan pada Gambar 5, dan rincian komposisi unsur penyusun arang tempurung kelapa pada Tabel 2.



Gambar 5. Spektrum EDX arang tempurung kelapa

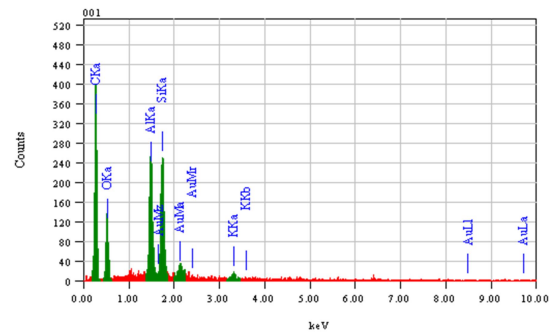
Tabel 2. Komposisi unsur penyusun arang tempurung kelapa

Elemen	Mass%	At%
C	76,25	82,74
O	19,26	15,63
Na	0,87	0,49
Cl	0,74	0,27
K	2,61	0,87

Tabel 2 menunjukkan unsur C mendominasi dengan nilai 76,25 *Mass%* atau 82,74 *At%* menyatakan bahwa proses karbonisasi dari arang tempurung kelapa yang digunakan pada penelitian ini masih belum sempurna yang terlihat dari kandungan unsur C yang masih relatif rendah, meskipun unsur

tersebut paling dominan dari semua unsur yang terdeteksi EDX. Selain itu, ada beberapa unsur yang tidak dikehendaki, terutama unsur O yang memiliki nilai *Mass%* dan *At%* yang cukup besar.

Spektrum EDX yang dihasilkan dari isi pensil karbon 8B disajikan pada Gambar 6, dan rincian komposisi unsur penyusun isi pensil karbon 8B pada Tabel 3.



Gambar 6. Spektrum EDX isi pensil karbon 8B

Tabel 3. Komposisi unsur penyusun isi pensil karbon 8B

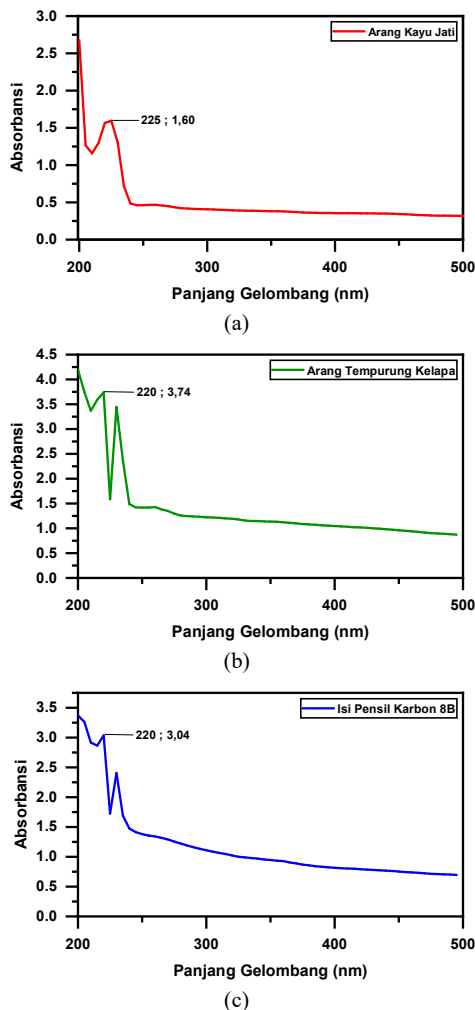
Elemen	Mass%	At%
C	64,11	75,34
O	19,96	17,61
Al	5,79	3,03
Si	7,15	3,59
K	0,72	0,26
Au	2,27	0,16

Tabel 3 menunjukkan unsur C merupakan unsur yang mendominasi dengan nilai sebesar 64,11 *Mass%* atau 75,34 *At%*. Seperti halnya arang tempurung kelapa, arang yang berasal dari isi pensil karbon 8B juga memiliki kandungan unsur C yang relatif rendah yang dapat disebabkan dari proses karbonisasi yang tidak optimum. Selain itu, terdapat unsur aluminium (Al) dan silikon (Si) yang terdeteksi. Keberadaan kedua unsur tersebut dapat mewakili keberadaan tanah liat sebagai bahan penyusun pensil [15].

B. Analisis Hasil

Karakterisasi Spektrofotometer UV-Vis

Hasil karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis berupa spektrum panjang gelombang dan absorbansi. Spektrum UV-Vis yang dihasilkan dari setiap sampel disajikan pada Gambar 7, dan nilai panjang gelombang dan absorbansi yang dihasilkan pada setiap sampel pada Tabel 4.



Gambar 7. Spektrum UV-Vis sampel (a) Arang kayu jati (b) Arang tempurung kelapa (c) Isi pensil karbon 8B

Tabel 4. Nilai panjang gelombang dan absorbansi pada setiap sampel

Nama Sampel	Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi
Arang Kayu Jati	225	1,60
Arang Tempurung Kelapa	220	3,74
Isi Pensil Karbon 8B	220	3,04

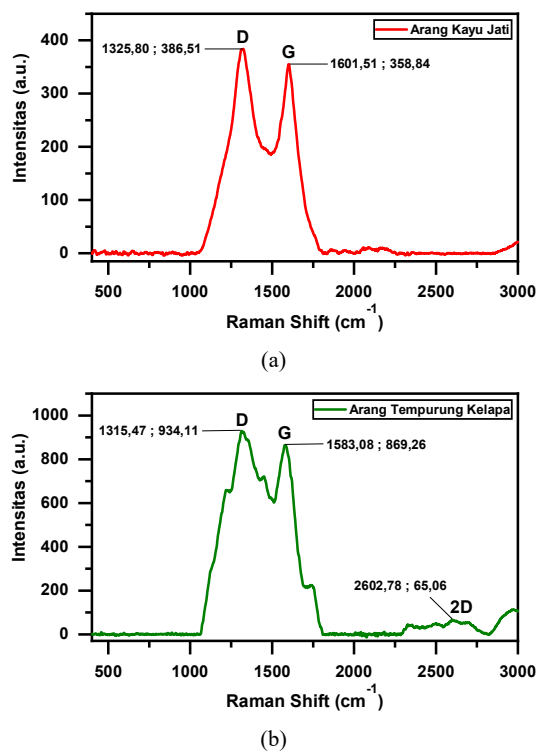
Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai panjang gelombang pada ketiga sampel berada dalam rentang nilai panjang gelombang dari GO, yaitu 220 nm – 270 nm dengan karakteristik GO yang dihasilkan berupa *multilayer* [11]. Sampel arang kayu jati memiliki nilai panjang gelombang tertinggi yaitu 225 nm. Nilai tersebut menjadi nilai yang paling jauh dari nilai minimum rentang panjang gelombang GO yang menandakan sampel arang kayu jati menjadi

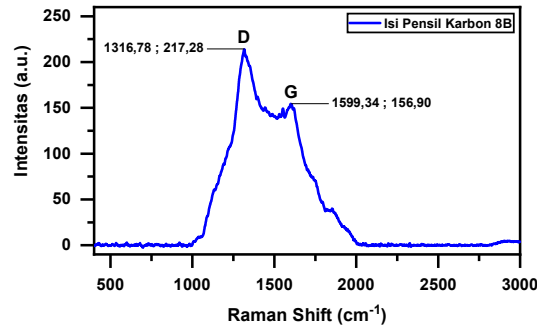
sampel dengan hasil sintesis GO paling optimum.

Nilai absorbansi pada sampel arang tempurung kelapa dan isi pensil karbon 8B menghasilkan nilai yang cukup tinggi dibandingkan dengan sampel arang kayu jati. Tingginya nilai absorbansi ini dapat disebabkan oleh larutan yang terlalu pekat. Hukum Lambert-Beer menyatakan nilai absorbansi akan berbanding lurus dengan nilai konsentrasi apabila nilai absorbansi berada dalam rentang linier pengukuran, yaitu $0,3 < A < 2,5$ [16]. Nilai absorbansi pada sampel arang tempurung kelapa dan isi pensil karbon 8B berada di luar rentang linier pengukuran, sehingga tidak dapat dibuktikan bahwa konsentrasi GO dalam kedua sampel tersebut lebih besar dari arang kayu jati.

C. Analisis Hasil Karakterisasi Spektroskopi Raman

Hasil karakterisasi menggunakan spektroskopi Raman berupa spektrum pergeseran Raman dan intensitas. Spektrum yang dihasilkan memberikan informasi mengenai karakteristik lapisan yang terbentuk dan tingkat kecacatan dari ketiga sampel. Spektrum Raman yang dihasilkan dari setiap sampel disajikan pada **Gambar 8**.





(c)

Gambar 8. Spektrum Raman sampel (a) Arang kayu jati (b) Arang tempurung kelapa (c) Isi pensil karbon 8B

Tiga jenis puncak yang dapat menjadi acuan untuk mengidentifikasi karakteristik lapisan yang terbentuk dan tingkat kecacatan dari sampel yang diuji, yaitu puncak D (*defect*) dengan rentang nilai $\sim 1350 \text{ cm}^{-1}$, puncak G dengan rentang nilai $\sim 1580 \text{ cm}^{-1}$, dan puncak 2D dengan rentang nilai $\sim 2700 \text{ cm}^{-1}$ [17]. Nilai intensitas pada setiap puncak yang muncul disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Letak puncak dan intensitas pada setiap sampel

Nama Sampel	Puncak D		Puncak G		Puncak 2D
	Raman Shift (cm ⁻¹)	Intensitas (a.u.)	Raman Shift (cm ⁻¹)	Intensitas (a.u.)	Raman Shift (cm ⁻¹)
Arang Kayu Jati	1325,8	386,51	1601,5	358,84	-
Arang Tempurung Kelapa	1315,4	934,11	1583,0	869,26	~ 2600
Isi Pensil Karbon 8B	1316,7	217,28	1599,3	156,90	-

Spektrum Raman pada **Gambar 8** dan data intensitas pada **Tabel 5** menyatakan bahwa intensitas puncak D lebih besar nilainya dibandingkan dengan puncak G. Tingginya intensitas puncak D mengindikasikan bahwa kualitas material masih belum optimum karena puncak D dapat mewakili kecacatan pada material. Rentang panjang gelombang $\sim 2500 - 2700 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan hanya sampel arang tempurung kelapa yang memiliki puncak 2D dengan intensitas lemah pada nilai $\sim 2600 \text{ cm}^{-1}$. Puncak 2D dapat mewakili karakteristik lapisan yang terbentuk dari material. Nilai puncak 2D akan berbanding terbalik dengan jumlah lapisan karbon yang terbentuk. Hal tersebut mengindikasikan bahwa material yang terbentuk

dari ketiga sampel masih memiliki banyak lapisan karbon (*multilayer*) [18]. Nilai rasio perbandingan antara intensitas puncak D dan intensitas puncak G (I_D/I_G) pada setiap sampel disajikan pada Tabel 6.

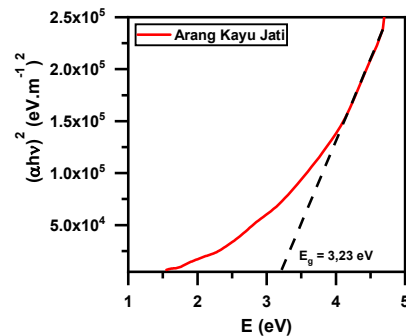
Tabel 6. Nilai rasio perbandingan I_D/I_G pada setiap sampel

Nama Sampel	I_D/I_G
Arang Kayu Jati	1,08
Arang Tempurung Kelapa	1,07
Isi Pensil Karbon 8B	1,38

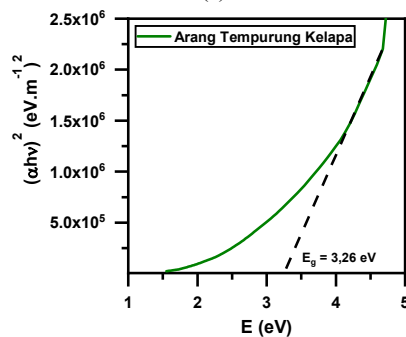
Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai I_D/I_G terendah terdapat pada sampel arang tempurung kelapa dan arang kayu jati dengan nilai yang hampir sama. Nilai tersebut menandakan kedua sampel memiliki tingkat kecacatan lebih rendah dibandingkan dengan sampel isi pensil karbon 8B. Semakin rendah nilai I_D/I_G menyatakan bahwa kualitas material yang terbentuk lebih baik dengan cacat dan impuritas lebih rendah [19].

D. Analisis Hasil Perhitungan Nilai Energi Celah Pita dengan Metode *Tauc Plot*

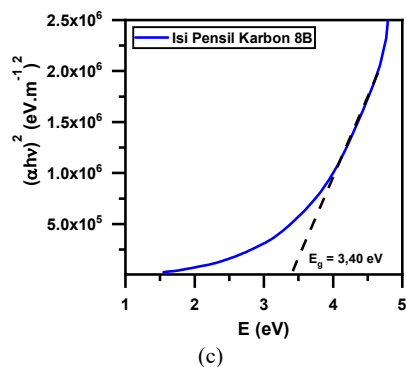
Perhitungan nilai energi celah pita menggunakan metode *Tauc Plot* menghasilkan kurva *Tauc Plot* pada **Gambar 9**, dan nilai energi celah pita yang dihasilkan pada setiap sampel pada Tabel 7.



(a)



(b)



Gambar 9. Kurva *Tauc Plot* sampel (a) Arang kayu jati (b) Arang tempurung kelapa (c) Isi pensil karbon 8B

Tabel 7. Nilai energi celah pita pada setiap sampel

Nama Sampel	Energi Celah Pita (eV)
Arang Kayu Jati	3,23
Arang Tempurung Kelapa	3,26
Isi Pensil Karbon 8B	3,40

Tabel 7 menunjukkan bahwa sampel arang kayu jati memiliki nilai energi celah pita terendah sebesar 3,23 eV. Sampel tersebut menjadi sampel dengan hasil sintesis GO paling optimum dikarenakan semakin kecil nilai energi celah pita maka sifat menghantarkan listrik yang dihasilkan akan semakin baik. Nilai energi celah pita pada ketiga sampel berada dalam rentang nilai energi celah pita dari GO dengan sifat yang dimiliki berupa semikonduktor [20].

KESIMPULAN

Material GO dapat disintesis dari arang kayu jati, arang tempurung kelapa, dan isi pensil karbon 8B yang ada di pasaran dengan menggunakan metode LPE. Hasil karakterisasi EDX menunjukkan bahwa kandungan unsur karbon (C) paling optimum terdapat pada arang kayu jati dengan nilai 90,15 *Mass%* atau 92,88 *At%*, sedangkan pada arang tempurung kelapa nilainya 76,25 *Mass%* atau 82,74 *At%*, dan pada isi pensil karbon 8B nilainya 64,11 *Mass%* atau 75,34 *At%*. Hasil karakterisasi UV-Vis menunjukkan bahwa ketiga sampel telah memiliki panjang gelombang yang sesuai dengan panjang gelombang GO, yaitu 220 nm – 270 nm. Hasil karakterisasi Raman menunjukkan bahwa impuritas ketiga sampel masih cukup tinggi yang ditandai dengan intensitas puncak D yang lebih tinggi dibandingkan puncak G, hal ini tidak lepas dari kualitas arang yang digunakan. Lapisan yang

dihasilkan ketiga sampel berupa *multilayer*. Nilai energi celah pita menggunakan metode *Tauc Plot* dihasilkan bahwa ketiga sampel berada dalam rentang material semikonduktor dengan nilai energi celah pita energi terkecil yaitu arang kayu jati sebesar 3,23 eV.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Krueger, "Carbon Materials and Nanotechnology", WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2010. <https://doi.org/10.1002/9783527629602.ch1>
- [2] A. Hirsch, "The Era of Carbon Allotropes", *Nat. Mater.*, vol. 9, 868–871, 2006. <https://doi.org/10.1038/nmat2885>.
- [3] K. Spyrou, P. Rudolf, *Functionalization of Graphene*, 1st Ed., Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2014. <https://doi.org/10.1142/9948>.
- [4] E. Varrla, K.R. Paton, C. Backes, A. Harvey, R.J. Smith, J. McCauley, J.N. Coleman, "Turbulence-Assisted Shear Exfoliation of Graphene Using Household Detergent and a Kitchen Blender", *Nanoscale*, vol. 6, 11810–11819, 2014. <https://doi.org/10.1039/c4nr03560g>.
- [5] D. Chen, H. Feng, J. Li, "Graphene Oxide: Preparation, Functionalization, and Electrochemical Applications", *Chem. Rev.* vol. 112, 6027–6053, 2012. <https://doi.org/10.1021/cr300115g>.
- [6] M. Nasrollahzadeh, F. Babaei, P. Fakhri, B. Jaleh, *Synthesis, Characterization, Structural, Optical Properties and Catalytic Activity of Reduced Graphene Oxide/Copper Nanocomposites*, *RSC Adv.*, 2014. <https://doi.org/10.1039/C4RA12552E>.
- [7] R.S. Edwards, K.S. Coleman, "Graphene synthesis: Relationship to applications", *Nanoscale*, vol. 5, 38–51, 2013. <https://doi.org/10.1039/c2nr32629a>.
- [8] M.P. Ghatule, U.A. Devare, "Study and Analysis on Synthesis of Graphene and its Applications in Solar Cells", *Int. J. Innov. Res. Adv. Eng.*, vol. 2, 184–186, 2015.
- [9] A.M. Al-Dhahebi, S.C.B. Gopinath, M.S.M. Saheed, "Graphene Impregnated

- Electrospun nanofiber sensing materials: a comprehensive overview on bridging laboratory set-up to industry", *Nano Converg.*, vol. 7, 2020.
<https://doi.org/10.1186/s40580-020-00237-4>.
- [10] W. Jarinda, "Preparasi dan Sintesis Nanomaterial Graphene Oxide Berbahan Dasar Abu Sekam Padi Menggunakan Metode Liquid Phase Exfoliation Kombinasi Blender+Sonifikasi, Blender, dan Sonifikasi dengan Variasi Waktu Pencampuran Bahan", Universitas Negeri Yogyakarta, 2017.
- [11] Y.I. Bete, M. Bukit, A.Z. Johannes, R.K. Pingak, "Kajian Awal Sifat Optik Graphene Oxide Berbahan Dasar Arang Tongkol Jagung yang Disintesis dengan Metode Liquid Phase Exfoliation (LPE)", *J. Fis. Fis. Sains Dan Apl.*, vol. 4, 114–120, 2019.
<https://doi.org/10.35508/fisa.v4i2.1832>.
- [12] A.Z. Johannes, R.K. Pingak, M. Bukit, "Tauc Plot Software: Calculating Energy Gap Values of Organic Materials Based on Ultraviolet-Visible Absorbance Spectrum", *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 823 , 2020.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/823/1/012030>.
- [13] M.M.Y. Missa, R.K. Pingak, H.I. Sutaji, "Penentuan Celah Energi Optik Ekstrak Daun Alpukat (Persea Americana Mill) Asal Desa Oinlasi Menggunakan Metode Tauc Plot", *J. Fis. Fis. Sains dan Apl.*, vol. 3, 86–90, 2018.
<https://doi.org/10.35508/fisa.v3i1.606>.
- [14] H. Nurdin, Hasanuddin, Waskito, Ambiyar, M. Saddikin, "Effect of Carbonization Process on Tibarau Sugarcane Briquette to Increase Calorific Value", in *2nd Int. Conf. Eng. Environ.*, UNP Press, Padang, 2019, pp. 100–105.
- [15] Y. Kim, A. Sung, Y. Seo, S. Hwang, H. Kim, "Measurement of Hardness and Friction Properties of Pencil Leads for Quantification of Pencil Hardness Test", *Adv. Appl. Ceram.*, vol. 115, 443–448, 2016.
<https://doi.org/10.1080/17436753.2016.1186364>.
- [16] C.A. De Caro, H. Claudia, *UV/VIS Spectrophotometry - Fundamentals and Applications*, Mettler Toledo, 2015.
- [17] A.C. Ferrari, J.C. Meyer, V. Scardaci, C. Casiraghi, M. Lazzeri, F. Mauri, S. Piscanec, D. Jiang, K.S. Novoselov, S. Roth, A.K. Geim, "Raman Spectrum of Graphene and Graphene Layers", *Phys. Rev. Lett.*, vol. 97, 1–4, 2006.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.97.187401>.
- [18] M.B.P. Honorisal, N. Huda, T. Partuti, A. Sholehah, "Sintesis dan Karakterisasi Grafena Oksida dari tempurung Kelapa dengan Metode Sonikasi dan Hidrotermal", *Tek. J. Sains Dan Teknol.*, vol. 16, 1–11, 2020.
<https://doi.org/10.36055/tjst.v16i1.7519>.
- [19] L. Agustina, N.P. Putri, "Analisis Fasa dan Ikatan Molekul Reduced Graphene Oxide (rGO) Berbahan Dasar Tempurung Kelapa", *Semin. Nas. Fis.*, 2018, 222–225.
- [20] D. Bhatnagar, S. Singh, S. Yadav, A. Kumar, I. Kaur, "Experimental and Theoretical Investigation of Relative Optical Band Gaps in Graphene generations", *Mater. Res. Express.*, vol. 4, 2017.
<https://doi.org/10.1088/2053-1591/4/1/015101>.