



Sintesis, karakterisasi dan sifat optik *Graphene Oxide* (GO) berbasis bahan alam tempurung kelapa

AINUN NIKMAH* DAN ROBI KURNIAWAN

Laboratorium Mineral dan Material Maju, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang 5, Malang 65145

<p>Kata kunci: graphene oxide; tempurung kelapa; sifat optik; bahan alam</p>	<p>ABSTRAK: Pada studi ini Graphene Oxide (GO) telah berhasil disintesis menggunakan metode Hummer's termodifikasi. GO disintesis menggunakan bahan baku alami berupa limbah tempurung kelapa. Sampel hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD, FTIR dan SEM EDX. Hasil XRD menunjukkan bahwa terdapat terdapat 2 puncak utama yang bersesuaian dengan bidang hkl 002 dan 100. Hasil XRD menunjukkan bahwa sampel hasil sintesis cenderung membentuk senyawa <i>graphene oxide</i> yang tereduksi (rGO). Gugus fungsi hasil FTIR menunjukkan bahwa GO yang terbentuk tidak sepenuhnya tereduksi menjadi rGO yang ditandai dengan adanya peregangan C-H pada bilangan gelombang 3065 cm⁻¹. Selain itu, juga terdapat dua puncak C=O pada gugus alkoksi dan epoksi yang merupakan karakteristik dari GO. Morfologi sampel dari hasil SEM menunjukkan struktur yang khas dari GO yaitu membentuk lembaran tipis berlapis lapis dengan ketebalan sekitar 14.57 hingga 14.86 nm. Sifat optik dari GO juga diselidiki menggunakan UV Vis dan diperoleh nilai celah pita energi sekitar sebesar 2.97 eV.</p>
<p>Keywords: graphene oxide; coconut shell; optical properties; natural materials</p>	<p>ABSTRACT: In this study, graphene oxide (GO) was successfully synthesized using the modified Hummer's method. GO was synthesized using natural raw materials from coconut shell waste. The synthesis sample was characterized using XRD, FTIR, and SEM EDX. The XRD results showed that there were 2 main peaks corresponding to the <i>hkl</i> 002 and 100 planes. The XRD results showed that the synthesis sample tended to form reduced graphene oxide compounds (rGO). The functional group of the FTIR results showed that the GO formed was not completely reduced to rGO which was indicated by the presence of C-H stretching at a wave number of 3065 cm⁻¹. In addition, there were also two C=O peaks in the alkoxy and epoxy groups which were characteristic of GO. The sample's morphology from the SEM results showed a typical structure of GO, namely forming a thin layered sheet with a thickness of around 14.57 to 14.86 nm. The optical properties of GO were also investigated using UV Vis and the energy band gap value was obtained around 2.97 eV.</p>

1 PENDAHULUAN

Graphene merupakan alotrop karbon yang membentuk lapisan tipis yang memiliki struktur kristal 2D dan struktur hexagonal yang menyerupai sarang lebah [1]. *Graphene* memiliki celah pita energi nol, luas permukaan spesifik yang besar > 2000 m²/g dan nilai konduktifitas listrik yang tinggi (10³ W/mK) [2]. Meskipun *graphene* memiliki aplikasi potensial yang menjanjikan dalam nanoteknologi seperti supercapasitor [3], pemurnian air [4], biosensor [5], dan pengiriman obat [6], namun nilai celah pita nol *graphene* membatasi aplikasinya dalam bidang nanoelektronik [7]. Beberapa pendekatan telah dilakukan untuk membuat celah pita dalam *graphene*,

salah satunya yaitu dengan memodifikasi *graphene* sehingga membentuk turunan baru.

GO merupakan turunan dari *graphene* yang paling umum digunakan sebagai alternatif untuk mengatasi kelemahan dari *graphene*. GO dianggap sebagai kandidat yang menjanjikan dan potensial untuk mengembangkan material berbasis *graphene* dengan nilai celah pita energi yang dapat disesuaikan sehingga mampu menghasilkan sifat-sifat baru yang lebih potensial dalam segala bidang [8],[9]. GO telah menarik perhatian signifikan karena memiliki sifat fisik dan kimia yang unik [10],[11]. Selain memiliki luas permukaan besar, GO juga memiliki sifat elektronik, mekanik, biokompatibel dan sifat dispersibilitas air yang sangat baik [3],[4].

* Corresponding Author: ainunnikmah@um.ac.id

Berbagai metode telah dikembangkan untuk mensintesis GO seperti *electrochemical reduction* [14], *electrochemical exfoliation* [15], CVD [16] dan metode Hummer's [17]. Dibandingkan dengan metode lain, metode Hummer's yang dimodifikasi dipilih pada penelitian ini karena metode tersebut dapat menghasilkan GO dengan kualitas tinggi, waktu sintesis yang singkat dan lebih ekonomis [17]. Menariknya, pada studi ini limbah tempurung kelapa digunakan sebagai prekursor GO. Tempurung kelapa merupakan limbah organik yang dapat dijadikan sebagai bahan baku dalam sintesis GO. Namun sayangnya, selama ini limbah tempurung kelapa hanya sebatas dimanfaatkan sebagai bahan bakar rumah tangga saja [18]. Penelitian sebelumnya, melaporkan bahwa karbon aktif dari tempurung kelapa memiliki luas permukaan per satuan volume yang sangat besar dan jaringan pori-pori submikroskopis yang memungkinkan untuk menyerap zat lain dengan efektif [19]. Omar dkk., juga menyebutkan bahwa fabrikasi GO dari grafit alami kelapa dapat bekerja lebih baik daripada grafit sintetis saat pengelupasan dalam larutan air [17]. Pendekatan ini tidak hanya mampu meningkatkan nilai ekonomis dari limbah tempurung kelapa, namun juga berkontribusi pada pengembangan teknologi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

2 METODE

Fabrikasi bubuk grafit dari tempurung kelapa

Tempurung kelapa yang telah dikumpulkan sebelumnya dicuci dan dibersihkan dari kulitnya, kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari selama 5 hari. Tempurung kelapa kering kemudian dihancurkan menjadi partikel granular berukuran 2-3 mm dan dikarbonisasi pada suhu 600 °C selama 3 jam untuk menghasilkan arang tempurung. Selanjutnya arang ditumbuk menggunakan mortar dan disaring menggunakan ayakan 200 mesh. Serbuk arang terkarbonisasi kemudian dicuci menggunakan asam fluorida 40% dengan perbandingan 1:3. Larutan diaduk diatas *magnetic stirrer* selama 3 jam pada suhu 45 °C. Selanjutnya larutan yang dihasilkan dicuci menggunakan air deionisasi dan NaOH hingga diperoleh pH netral. Sampel disaring dan dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 110°C selama 1 jam dan dihaluskan menggunakan mortar sehingga diperoleh bubuk grafit.

Sintesis GO dengan metode Hummer's yang dimodifikasi

Sampel GO disintesis menggunakan metode Hummer's yang dimodifikasi. Sebanyak 1-gram grafit dari

hasil sebelumnya dicampurkan dengan 0,5 g NaNO₃ dilarutkan kedalam 25 mL H₂SO₄ dan kemudian diaduk diatas *magnetic stirrer* selama 30 menit didalam penangas es (*ice bath*). Setelah pengadukan, sebanyak 3 gr KMnO₄ ditambahkan secara perlahan lahan kedalam larutan dan diaduk selama 1 jam dengan kecepatan 400 rpm hingga diperoleh larutan berwarna hijau tua. Selama proses pengadukan suhu dipertahankan pada <20 °C dalam penangas es. Langkah berikutnya, larutan hasil reaksi dikeluarkan dari penangas es dan dilanjutkan dengan pengadukan selama 1 jam pada suhu 35 °C. Sebanyak 50 mL air deionisasi ditambahkan secara perlahan dan diaduk selama 1 jam. Kemudian tambahkan kembali 100 mL air deionisasi kedalam larutan sebelumnya dan diaduk selama 1 jam. Sebanyak 10 mL H₂O₂ ditambahkan kedalam larutan secara titrasi dan diaduk diatas *magnetic stirrer* selama 30 menit pada kecepatan 600 rpm dan suhu dipertahankan pada 35 °C. Larutan hasil reaksi kemudian dicuci berulang kali dengan air deionisasi menggunakan *centrifuge* hingga diperoleh pH netral. Larutan disaring dan hasil endapannya dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100 °C selama 4 jam. Sampel dihaluskan menggunakan mortar hingga diperoleh serbuk GO.

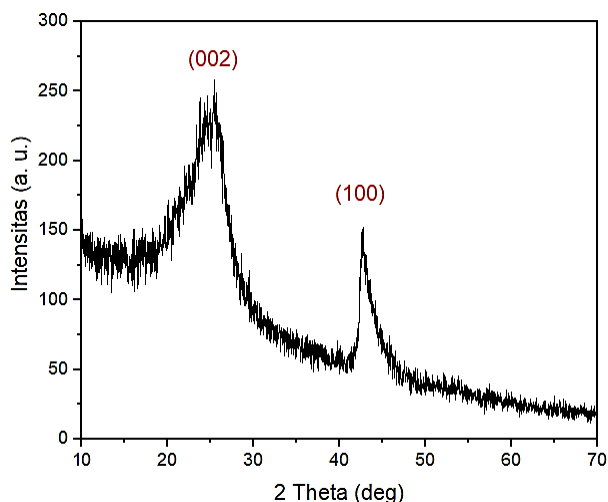
Karakterisasi

Sampel hasil sintesis dikarakterisasi dengan menggunakan X-Ray Diffractometer (XRD) merk PANalytical tipe Expert Pro untuk mengidentifikasi fase yang terbentuk dari sampel. *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) merk Shimadzu tipe IR Prestige 21 digunakan untuk mengetahui gugus fungsi dalam sampel. Untuk mengetahui morfologi, ukuran serta komposisi unsur, sampel di karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) merk FEI tipe Inspect-S50. Lebih lanjut, sifat optik dari sampel juga diuji menggunakan spektrofotometer *Ultraviolet-Visible* (UV-Vis) merk Analytik Jena tipe Specord 200 Plus.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 menunjukkan hasil karakterisasi XRD GO yang disintesis dari bahan alam tempurung kelapa. Berdasarkan gambar teramati bahwa fase yang terbentuk bersifat *amorf* yang ditandai dengan adanya puncak lebar pada sudut 2θ : 24,3° yang bersesuaian dengan bidang *hkl* (002) [20]. Selain itu juga terdapat puncak lain yang kurang intens pada sudut 2θ : 42,6° pada bidang *hkl* (100). Berdasarkan puncak puncak yang teramati dari hasil XRD menunjukkan bahwa sampel hasil sintesis cenderung membentuk senyawa *graphene oxide* yang tereduksi (rGO). Hasil ini bersesuaian dengan penelitian sebelumnya yang

dilakukan oleh Hidayah dkk., [21]. Dalam penelitiannya, Hidayat dkk. melaporkan bahwa kehadiran puncak yang lebar dari rGO menyiratkan bahwa fase yang terbentuk pada bidang *hkl* (002) tersusun secara acak dibandingkan dengan struktur kristalisasi yang tinggi dari grafit, yang puncak (002) pada grafit lebih tajam dan intens.

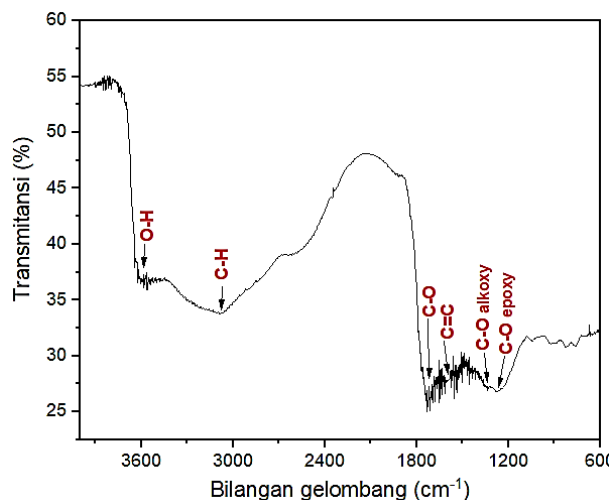


Gambar 1. Hasil XRD dari GO Tempurung kelapa

Pada studi ini, pergeseran pola difraksi dari GO menjadi rGO bisa disebabkan oleh terjadinya perubahan derajat oksidasi yang terjadi selama proses sintesis. Grafit memiliki tingkat oksidasi yang tinggi, namun beberapa sampel mengalami reduksi selama proses pengeringan dalam oven sehingga senyawa oksigen terpisah dari lapisan ikatan GO [22]. Selain itu, pergeseran fase ini juga bisa disebabkan oleh penggunaan prekursor alam seperti tempurung kelapa. Rukman dkk., melaporkan dalam risetnya, puncak difraksi dari GO komersil membentuk fase kristalin pada sudut $2\theta = 10\text{-}11^\circ$, namun bisa berbeda jika prekursor grafit yang digunakan berupa limbah tempurung kelapa [23].

Gugus fungsi hasil karakterisasi FTIR ditampilkan pada Gambar 2. Berdasarkan gambar, teramati adanya peregangan O-H yang terbentuk pada bilangan gelombang 3498 cm^{-1} yang mengungkapkan adanya gugus hidroksil pada GO [24]. Puncak serapan pada bilangan gelombang 3065 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi peregangan dari C-H [25]. Adanya peregangan spektrum C-H ini menunjukkan bahwa GO yang terbentuk tidak sepenuhnya tereduksi menjadi rGO [7]. Puncak vibrasi pada bilangan gelombang 1733 cm^{-1} mewakili karbonil C=O dan gugus fungsi karbon aromatic C=C terbentuk pada bilangan gelombang 1601 cm^{-1} [28]. Selain itu, terdapat dua puncak pada bilangan ge-

lombang 1307 dan 1263 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi peregangan C=O pada gugus alkoksi dan epoksi secara berturut turut [10].

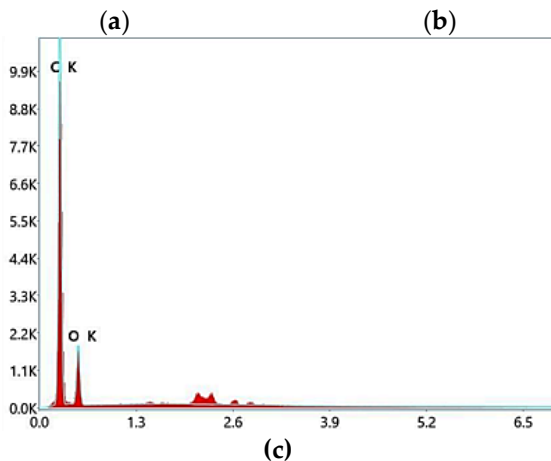
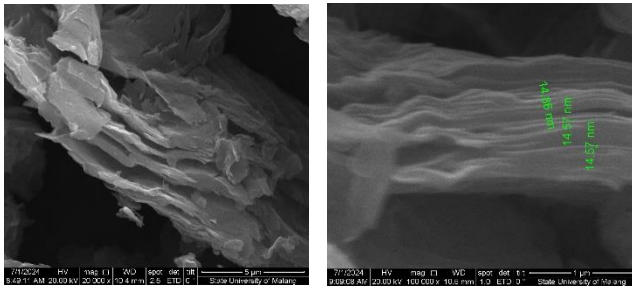


Gambar 2. Spektra FTIR dari GO tempurung kelapa

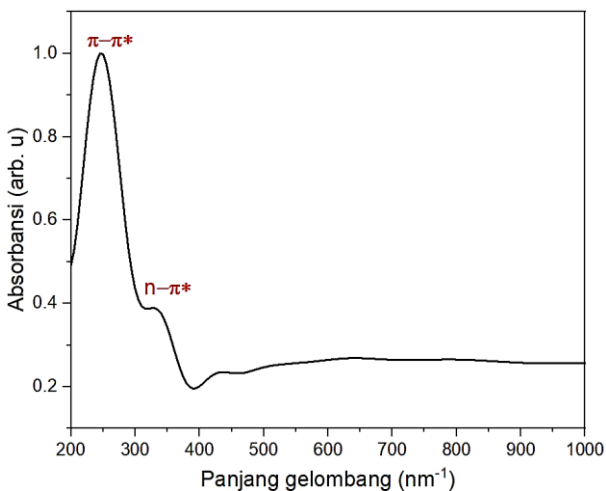
Morfologi permukaan dari GO tempurung kelapa ditampilkan pada Gambar 3. Berdasarkan hasil SEM, morfologi sampel menunjukkan struktur yang khas dari GO yaitu membentuk lembaran tipis berlapis lapis [30]. Ketebalan lembaran GO pada studi ini berdasarkan hasil SEM sekitar 14.57 hingga 14.86 nm sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 3b. Kindalkar dkk., juga menyebutkan bahwa lembaran lembaran nano yang terbentuk menyerupai sutra yang ditumpuk rapat [31]. Peneliti lain seperti Grace dkk., juga melaporkan bahwa GO yang disintesis dari abu sekam kelapa memiliki morfologi permukaan yang datar dengan struktur lapisan yang teratur dari oksida grafena [32]. Selanjutnya, studi tentang komposisi unsur dari GO tempurung kelapa juga dilakukan dengan EDX sebagaimana Gambar 3c. Dari hasil spektra EDX, terdapat 2 puncak utama yang teramati yaitu karbon (C) dan oksigen (O). Unsur karbon berasal dari kerangka dasar *graphene* sedangkan unsur oksigen berasal dari gugus fungsional oksigen yang terikat pada lembaran *graphene* sebagai hasil dari proses oksidasi.

Sifat optik dari GO tempurung kelapa diselidiki menggunakan spektroskopi UV Vis sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Spektrum UV Vis GO memiliki puncak serapan yang kuat pada panjang gelombang 247 nm yang terjadi karena adanya transisi $\pi\text{-}\pi^*$ dari C-C aromatic didaerah hibrida sp^2 [25]. Puncak absorbansi lain juga teramati pada panjang gelombang 329 nm yang sesuai dengan transisi $n\text{-}\pi^*$ dari C=O didaerah hibrida sp^3 [33]. Transisi $\pi\text{-}\pi^*$ merupakan jenis transisi elektronik yang terjadi pada bahan yang mengandung π terkonjugasi. Sistem π merupakan jaringan atom yang memiliki or-

bitar p yang berdekatan dan tumpang tindih membentuk orbital molekul π yang terdelokalisasi [11]. Pada kasus GO ini, transisi $\pi - \pi^*$ berkaitan dengan jaringan ikatan π yang terdelokalisasi dibidang *graphene*. Sedangkan transisi $n - \pi^*$ berkaitan dengan gugus fungsi yang mengandung oksigen pada permukaan *graphene*. Kehadiran gugus tersebut, menyebabkan terjadinya perubahan sifat elektronik, sifat optik maupun nilai energi celah pita pada suatu material [11].



Gambar 3. GO tempurung kelapa dengan (a) SEM perbesaran 20.000; (b) SEM perbesaran 100.000x; (c) Spektra EDX

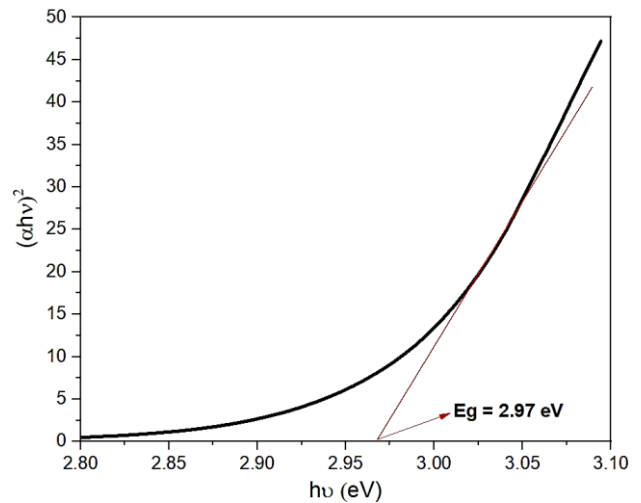


Gambar 4. Absorbansi dari GO tempurung kelapa

Celah pita energi pada studi ini dihitung menggunakan persamaan Tauc sebagaimana ditunjukkan pada persamaan [34] :

$$(\alpha hv)^n = A(hv - E_g)^n$$

dimana α merupakan koefisien absorpsi, hv merupakan energy photon, E_g adalah nilai celah pita energi, sedangkan n menunjukkan tipe transisi ($n = 1/2, 3/2, 2$ dan 3) untuk transisi jenis *direct allowed, direct forbidden, indirect forbidden* atau *indirect forbidden*. Berdasarkan persamaan tersebut, diperoleh informasi mengenai nilai celah pita energi yang bisa diketahui melalui metode Tauc plot seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Berdasarkan hasil tersebut, nilai energi celah pita dari GO tempurung kelapa diperoleh sebesar 2.97 eV. Hasil ini menunjukkan bahwa limbah tempurung kelapa yang awalnya bersifat isolator dengan energi celah pita ≥ 5 eV, setelah disintesis menjadi GO berubah sifatnya menjadi semikonduktor yang ditandai dengan nilai energi celah pita ≤ 5 eV [24]. Berdasarkan analisis ini, GO tempurung kelapa memiliki potensi aplikasi sebagai perangkat elektronik, optoelektrik atau aplikasi lainnya.



Gambar 5. Energi celah pita dari GO tempurung kelapa

4 KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil mensintesis GO berbasis bahan alam tempurung kelapa menggunakan metode Hummer's yang dimodifikasi. Berdasarkan kajian struktur dari hasil XRD terdapat 2 puncak utama yang bersesuaian dengan bidang khl 002 dan 100. Hasil XRD menunjukkan bahwa sampel hasil sintesis cenderung membentuk senyawa *graphene oxide* yang tereduksi (rGO). Namun, munculnya spektrum C-H pada hasil FTIR menunjukkan bahwa GO yang terbentuk tidak sepenuhnya tereduksi men-

jadi rGO. Berdasarkan hasil SEM-EDX, morfologi permukaan GO berbentuk lembaran berlapis dengan ukuran sekitar 14.86 nm. Sifat optik dari GO yang disintesis dari tempurung kelapa menunjukkan karakteristik yang baik dengan nilai energi celah pita sebesar 2.97 eV. Hal ini mengidentifikasi bahwa GO tempurung kelapa berpotensi untuk diaplikasikan sebagai perangkat elektronik, optoelektrik atau aplikasi lainnya.

ACKNOWLEDGMENT

Penelitian ini didukung oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Negeri Malang melalui hibah penelitian dengan nomor kontrak 4.4.561/UN32.14.1/LT/2024.

REFERENSI

- [1] C. V. Goethem *et al.*, "Advancing Molecular Sieving via Å-Scale Pore Tuning in Bottom-Up Graphene Synthesis," *ACS Nano*, p. acsnano.3c11885, Feb. 2024, doi: 10.1021/acsnano.3c11885.
- [2] A. Mondal and N. R. Jana, "Graphene-nanoparticle composites and their applications in energy, environmental and biomedical science," *Rev. Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 3, no. 3, pp. 177–192, 2014.
- [3] S. W. Bokhari *et al.*, "Advances in graphene-based supercapacitor electrodes," *Energy Rep.*, vol. 6, pp. 2768–2784, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.egy.2020.10.001.
- [4] M. Aizudin *et al.*, "Membranes prepared from graphene-based nanomaterials for water purification: a mini-review," *Nanoscale*, vol. 14, no. 48, pp. 17871–17886, 2022, doi: 10.1039/D2NR05328D.
- [5] A.-I. Lazăr *et al.*, "Graphene-Related Nanomaterials for Biomedical Applications," *Nanomaterials*, vol. 13, no. 6, p. 1092, Mar. 2023, doi: 10.3390/nano13061092.
- [6] Q. H. Le, F. Neila, K. Smida, Z. Li, Z. Abdelmalek, and I. Tlili, "pH-responsive anticancer drug delivery systems: Insights into the enhanced adsorption and release of DOX drugs using graphene oxide as a nanocarrier," *Eng. Anal. Bound. Elem.*, vol. 157, pp. 157–165, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.enganabound.2023.09.008.
- [7] H. Rasuli and R. Rasuli, "Nanoparticle-decorated graphene/graphene oxide: synthesis, properties and applications," *J. Mater. Sci.*, vol. 58, no. 7, pp. 2971–2992, Feb. 2023, doi: 10.1007/s10853-023-08183-2.
- [8] M. Torkaman, R. Rasuli, and L. Taran, "Photovoltaic and photocatalytic performance of anchored oxygen-deficient TiO₂ nanoparticles on graphene oxide," *Results Phys.*, vol. 18, p. 103229, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.rinp.2020.103229.
- [9] M. Servati and R. Rasuli, "Electrochemical performance of decorated reduced graphene oxide by MoO₃ nanoparticles as a counter electrode," *Mater. Res. Express*, vol. 6, no. 9, p. 095519, Jul. 2019, doi: 10.1088/2053-1591/ab3165.
- [10] A. Mahmud and A. B. Deoghare, "A comparative study on coconut shell-derived graphene oxide and reduced graphene oxide," *Curr. Appl. Phys.*, vol. 62, pp. 12–21, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.cap.2024.03.009.
- [11] T. Tene, M. Guevara, F. Benalcázar Palacios, T. P. Morrocho Barrionuevo, C. Vacacela Gomez, and S. Bellucci, "Optical properties of graphene oxide," *Front. Chem.*, vol. 11, p. 1214072, Jul. 2023, doi: 10.3389/fchem.2023.1214072.
- [12] A. Avornyo and C. V. Chrysikopoulos, "Applications of graphene oxide (GO) in oily wastewater treatment: Recent developments, challenges, and opportunities," *J. Environ. Manage.*, vol. 353, p. 120178, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.jenvman.2024.120178.
- [13] A. 'lia S. Shamsol, N. M. Apandi, W. W. A. Zailani, K. N. K. Izwan, M. Zakaria, and N. N. Zulkarnain, "Graphene oxide as carbon-based materials: A review of geopolymer with addition of graphene oxide towards sustainable construction materials," *Constr. Build. Mater.*, vol. 411, p. 134410, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.134410.
- [14] S. Y. Toh, K. S. Loh, S. K. Kamarudin, and W. R. W. Daud, "Graphene production via electrochemical reduction of graphene oxide: Synthesis and characterisation," *Chem. Eng. J.*, vol. 251, pp. 422–434, Sep. 2014, doi: 10.1016/j.cej.2014.04.004.
- [15] F. Pogacean *et al.*, "Graphene-based materials produced by graphite electrochemical exfoliation in acidic solutions: Application to Sunset Yellow voltammetric detection," *Microchem. J.*, vol. 147, pp. 112–120, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.microc.2019.03.007.
- [16] S. Grimm, M. Schweiger, S. Eigler, and J. Zaumseil, "High-Quality Reduced Graphene Oxide by CVD-Assisted Annealing," *J. Phys. Chem. C*, vol. 120, no. 5, pp. 3036–3041, Feb. 2016, doi: 10.1021/acs.jpcc.5b11598.
- [17] H. Omar *et al.*, "A review of synthesis graphene oxide from natural carbon based coconut waste by Hummer's method," *Mater. Today Proc.*, vol. 75, pp. 188–192, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2022.11.427.
- [18] N. A. Putri and Z. A. I. Supardi, "Sintesis Dan Karakterisasi Graphene Oxide (Go) Dari Bahan Alam Tempurung Kelapa," *Inov. Fis. Indones.*, vol. 12, no. 2, pp. 47–55, Jul. 2023, doi: 10.26740/ifi.v12n2.p47-55.
- [19] M. T. H. Aunkor, I. M. Mahbulbul, R. Saidur, and H. S. C. Metselaar, "The green reduction of graphene oxide," *RSC Adv.*, vol. 6, no. 33, pp. 27807–27828, 2016, doi: 10.1039/C6RA03189G.
- [20] E. H. Sujiono *et al.*, "Graphene oxide based coconut shell waste: synthesis by modified Hummers method and characterization," *Heliyon*, vol. 6, no. 8, p. e04568, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04568.
- [21] N. M. S. Hidayah *et al.*, "Comparison on graphite, graphene oxide and reduced graphene oxide: Synthesis and characterization," presented at the Proceedings Of

- The International Conference Of Global Network For Innovative Technology And Awam International Conference In Civil Engineering (Ignite-Aicce'17): Sustainable Technology And Practice For Infrastructure and Community Resilience, Penang, Malaysia, 2017, p. 150002. doi: 10.1063/1.5005764.
- [22] C. Monteserín *et al.*, "Effects of Graphene Oxide and Chemically-Reduced Graphene Oxide on the Dynamic Mechanical Properties of Epoxy Amine Composites," *Polymers*, vol. 9, no. 9, p. 449, Sep. 2017, doi: 10.3390/polym9090449.
- [23] N. K. Rukman, M. Jannatin, G. Supriyanto, M. Z. Fahmi, and W. A. W. Ibrahim, "GO-Fe₃O₄ Nanocomposite from coconut shell: Synthesis and characterization," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 217, p. 012008, Jan. 2019, doi: 10.1088/1755-1315/217/1/012008.
- [24] Department of Mechanical Engineering, Universitas Negeri Makassar, 90224 Makassar, Indonesia *et al.*, "Comparative Study and Characterization of Reduced Graphene Oxide (RGO) and Porous Reduced Graphene Oxide (P-RGO) Based on Coconut Shell Waste," *J. Nano- Electron. Phys.*, vol. 13, no. 6, pp. 06017-1-06017-6, 2021, doi: 10.21272/jnep.13(6).06017.
- [25] R. Bhargava and S. Khan, "Structural, optical and dielectric properties of graphene oxide," presented at the 2ND International Conference On Condensed Matter And Applied Physics (ICC 2017), Bikaner, India, 2018, p. 030011. doi: 10.1063/1.5032346.
- [26] I. O. Faniyi *et al.*, "The comparative analyses of reduced graphene oxide (RGO) prepared via green, mild and chemical approaches," *SN Appl. Sci.*, vol. 1, no. 10, p. 1181, Oct. 2019, doi: 10.1007/s42452-019-1188-7.
- [27] O. Akhavan, M. Kalaei, Z. S. Alavi, S. M. A. Ghiasi, and A. Esfandiari, "Increasing the antioxidant activity of green tea polyphenols in the presence of iron for the reduction of graphene oxide," *Carbon*, vol. 50, no. 8, pp. 3015-3025, Jul. 2012, doi: 10.1016/j.carbon.2012.02.087.
- [28] M. Gamil *et al.*, "Graphene-based strain gauge on a flexible substrate," *Sens Mater*, vol. 26, no. 9, pp. 699-709, 2014.
- [29] S. Zinadini, V. Vatanpour, A. A. Zinatizadeh, M. Rahimi, Z. Rahimi, and M. Kian, "Preparation and characterization of antifouling graphene oxide/polyethersulfone ultrafiltration membrane: Application in MBR for dairy wastewater treatment," *J. Water Process Eng.*, vol. 7, pp. 280-294, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.jwpe.2015.07.005.
- [30] S. Gurunathan, J. Woong Han, V. Eppakayala, and J. Kim, "Green synthesis of graphene and its cytotoxic effects in human breast cancer cells," *Int. J. Nanomedicine*, p. 1015, Mar. 2013, doi: 10.2147/IJN.S42047.
- [31] V. S. Kindalkar, K. K. S. Bhat, and S. M. Dharmapraakash, "An eco-friendly approach for the reduction of graphene oxide using *Syzygium samarangense* fruit extract," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 261, p. 124224, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.matchemphys.2021.124224.
- [32] A. Sahila Grace and G. S. P. Littis Malar, "Synthesis and Characterization of Graphene Oxide from Coconut Husk Ash," *Orient. J. Chem.*, vol. 36, no. 02, pp. 348-352, Apr. 2020, doi: 10.13005/ojc/360220.
- [33] V. H. Pham *et al.*, "Chemical reduction of an aqueous suspension of graphene oxide by nascent hydrogen," *J. Mater. Chem.*, vol. 22, no. 21, p. 10530, 2012, doi: 10.1039/c2jm30562c.
- [34] A. Nikmah, A. Taufiq, and A. Hidayat, "Synthesis and Characterization of Fe₃O₄/SiO₂ nanocomposites," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 276, no. 1, p. 012046, May 2019, doi: 10.1088/1755-1315/276/1/012046.