Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah *p-ISSN 2656-5021*
Volume 9 Nomor 2 Halaman 166-174 April 2024 *e-ISSN 2657-1579*

REDUCED GRAPHENE OXIDE (rGO) BERBASIS LIMBAH ARANG KAYU ALABAN MENGGUNAKAN KOMBINASI METODE HUMMERS TERMODIFIKASI DAN KALSINASI

Eka Suarso[a], Ade Agung Harnawan[a], Nur Atika[a], dan Asri Wiana Lika Zahara[a]

[a]Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Lambung Mangkurat, Indonesia, 70714

Email korespondensi: ekasuarso@ulm.ac.id

ABSTRAK

Pohon Alaban merupakan sumber daya alam yang banyak tumbuh di Kalimantan Selatan dan memiliki kandungan karbon (C) yang sangat tinggi, sehingga satu di antara produknya adalah arang kayu. Limbah arang ini masih menjadi problem bagi masyarakat sekitar dan belum termanfaatkan secara maksimal dari aspek nilai ekonomis, karena minimnya pengetahuan masyarkat. Limbah arang kayu alaban dapat digunakan sebagai sumber pembentukan senyawa rGO yang merupakan turunan grafena fungsional utama sebagai senyawa "hijau" (berkelanjutan), karena memiliki kandungan karbon yang sangat tinggi. Oleh karena itu dalam penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi oksida grafena tereduksi (rGO) yang bersumber dari limbah arang kayu alaban dengan menggunakan kombinasi metode Hummer termodifikasi dan kalsinasi. Berdasarkan hasil analisis uji C-H-O-N-S dan XRF, diketahui bahwa persentase atom karbon (C) dan oksigen (O) sebagai unsur utama rGO mencapai 56,68% dan 31,86% dengan unsur impuritas yang sangat kecil. Gugus fungsi yang terdeteksi oleh spektrum FTIR terdiri dari C=C, C-O, C=O, C-H dan O-H. Menurut hasil analisis uji FTIR menunjukkan penampakan ikatan C=C yang terlihat lebih jelas dikaitkan dengan konfigurasi sp^2 (rGO). Sedangkan hasil analisis Spektroskopi Raman menghasilkan puncak (dilambangkan dengan pita D dan G) yang terletak pada bilangan gelombang 1300 cm^{-1} dan 1590 cm^{-1}, dengan nilai rasio ID/IG sampel adalah 2,61 yang sesuai dengan rasio ID/IG rGO.

Kata kunci: arang kayu alaban, oksida grafena tereduksi (rGO), Metode Hummer termodifikasi.

PENDAHULUAN

Karbon merupakan senyawa organik yang cukup banyak di alam, di antaranya terdapat pada pohon Alaban (kelompok famili *lamiaceae*). Pohon jenis ini merupakan sumber daya alam yang banyak tumbuh di Kalimantan Selatan dan banyak digunakan untuk produk arang kayu. Pada proses pembuatan arang kayu alaban terdapat dua produk, yaitu arang kayu utuh yang dipakai industri untuk dikomersilkan dan arang yang terbuang atau limbah (biomassa). Keberadaan limbah arang ini masih menjadi *problem* lingkungan bagi masyarakat sekitar dan belum termanfaatkan secara maksimal dari aspek nilai ekonomis, karena minimnya pengetahuan masyarkat (Alimah, 2020; Safitri dan Kusumawati, 2020). Oleh karena itu, diperlukan solusi dan inovasi baru akan pemanfaatan limbah arang kayu alaban tersebut untuk meningkatkan nilai ekonomisnya. Salah satu caranya adalah dengan mengubahnya menjadi

alotrop karbon yang bernilai ekonomis, yaitu sebagai bahan dasar pembuat oksida grafena tereduksi (rGO) yang memiliki banyak potensi (Pei, 2012; Belenkov *et al*., 2018).

Oksida grafena tereduksi (rGO) adalah material baru yang paling terkenal sebagai turunan grafena, memiliki konfigurasi dan sifat-sifat yang sama seperti grafena murni, karena memiliki struktur heterogen yang dihiasi dengan cacat struktural dan diisi dengan area yang mengandung gugus kimia teroksidasi (Asih *et al.*, 2019; Baqiya *et al*., 2020). Di samping itu, seperti halnya grafena, rGO memiliki banyak keunggulan, di antaranya mobilitas elektron intrinsik tinggi ($2{,}5 \times 10^5$ $cm^2 \cdot v^{-1} \cdot s^{-1}$), secara teoretis memiliki luas permukaan spesifik yang besar (2630 $m^2 \cdot g^{-1}$), modulus Young tinggi (~ 1.0 TPa), konduktivitas termal yang tinggi (~ 5000 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$), daya tahan kimia yang kuat dan konduktivitas listrik yang baik (Geim & Novoselov, 2015). rGO juga menunjukkan sensitivitas deteksi gas molekul tunggal, pengurungan kuantum pada pita skala nano, transportasi balistik jarak jauh pada suhu kamar dan transmitansi optik tinggi (~ 97,7%) (Husnah *et al*., 2017; Alam *et al*., 2017). Karakteristik rGO yang unik ini membuka jalan baru untuk aplikasi yang lebih luas di berbagai bidang sains dan teknologi seperti: bahan elektroda baterai ion litium, teknik katalis, biosensor, transistor film tipis fleksibel, sel surya, perangkat fotovoltaik, bahan sambungan *p-n*, superkapasitor, panel sentuh, aplikasi perisai elektromagnetik dan pemurnian air (Aunkor *et al*., 2016; Bhuyan *et al*., 2016).

Penelitian tentang rGO menjadi isu yang sangat menarik dan sudah banyak dilakukan sejak Andre Geim dan Konstantin Novoselov menerima penghargaan nobel bahan graphene pada tahun 2010 (Geim dan Novoselov, 2007; Astuti *et al*., 2020). Hanya saja, bahan dasar yang digunakan pada pembuatan grafena kebanyakan adalah grafit komersial. Sedangkan bahan dasar yang bersumber dari bahan alam baru dilakukan akhir-akhir ini, seperti pembuatan rGO yang bersumber dari limbah tempurung kelapa, kelapa sawit, batang padi, gula aren, dan asap sampah anorganik (Efiyanti *et al.*, 2020; Rahayu *et al*., 2017; Riyanto *et al*., 2020; Safariyanti *et al*., 2018; Siregar *et al.*, 2018). Berbagai metode telah digunakan untuk sintesis grafena, seperti sublimasi wafer Si, anil SiC, reduksi kimia dan termal GO, metode pengelupasan (*Scotch Tape Method*) (Geim dan Novoselov, 2007; Al-Hazmi *et al*., 2015). Namun, metode ini kurang efisien untuk memproduksi grafena dalam skala komersial (Asih *et al*., 2019; Baqiya *et al*., 2020). Produksi grafena dalam skala besar sulit dan sangat mahal; oleh karena itu, reduksi kimia GO menjadi rGO adalah rute yang serbaguna dan juga hemat biaya di antara semua metode di atas.

Salah satu tantangan dalam proses pembuatan oksida grafena tereduksi (rGO) selama ini adalah bagaimana mendapatkan lapisan rGO berukuran nano. Oleh karena itu, pada penelitian ini difokuskan pada cara mensintesis dan mengkarakterisasi rGO yang berasal dari grafit yang bersumber dari limbah arang kayu alaban dengan menggunakan kombinasi metode Hummer termodifikasi dan kalsinasi. Ketika

rGO memiliki konduktivitas listrik yang tinggi, maka penambahan rGO untuk teknologi elektroda baterai dan superkapasitor dapat meningkatkan nilai konduktivitasnya (Suarso *et al*., 2021, 2019).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan selama 4 bulan, terhitung dari Juli - Oktober 2022, bertempat di Laboratorium Fisika III (Persiapan bahan dan sintesis), Laboratorium Penelitian Kimia Fisika (Sintesis) FMIPA ULM, Laboratorium Sentral Mineral Material Maju FMIPA UM (Uji XRF, XRD, dan Uji FTIR), Laboratorium Energi & Lingkungan dan FTSPK ITS (uji C-H-O-N-S dan Uji Spektrum Raman).

Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut: gelas beaker, gelas ukur, corong gelas, pipet ukur, pipet tetes (*droping*), labu ukur, labu erlenmeyer, pengaduk kaca, spatula stainlessteel, kuvet dan rak kuvet, desikator, mortar dan alu, neraca analitik, crusibel, *hot plate* dan *magnetic stirrer* serta alat-alat penunjang lainnya. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan meliputi: alkohol 96%, aquades, asam sulfat (H_2SO_4), asam klorida (HCl) 37%, sodium nitrat ($NaNO_3$), kalium permanganat ($KMnO_4$), hidrogen peroksida (H_2O_2), kalium hidroksida (KOH), air deionisasi, sodium sulfate ($NaSO_3$), sodium borohydride ($NaBH_4$), L-glutathione, N-butanol dan serbuk $NH_4H_2PO_4$.

Metode Penelitian

Limbah arang kayu alaban ini dijadikan serbuk agar distribusi panas ketika karbonisasi menjadi lebih merata dan homogen. Sampel kemudian diberi perlakuan pemanasan di dalam furnace agar didapatkan serbuk arang dengan struktur grafit yang sudah tidak memiliki impuritas. Grafit berbasis limbah arang kayu alaban disintesis dengan metode Hummers termodifikasi melalui proses berikut: grafit (1 g) dan $NaNO_3$ (0,5 g) dicampur ke dalam H_2SO_4 (25 mL), kemudian diaduk selama 90 menit dalam *ice bath*. Setelah proses pengadukan, $KMnO_4$ (3 g) ditambahkan perlahan ke dalam larutan, dan pengadukan dilanjutkan selama 3 jam sampai warna larutan menjadi hijau tua. Selama proses pengadukan, suhu dijaga pada kisaran 20-0^oC dalam penangas es. Larutan dikeluarkan dari penangas es, kemudian pengadukan dilanjutkan selama 1 jam, sedangkan suhu dipertahankan pada 35^oC. Selanjutnya, air deionisasi (50 mL) ditambahkan secara perlahan dan larutan diaduk selama 1 jam. Kemudian, air deionisasi (100 mL) langsung ditambahkan lagi dan disterilkan selama 1 jam. Langkah selanjutnya, hidrogen peroksida (H_2O_2) (5 mL) ditambahkan perlahan ke dalam larutan dan kemudian disterilkan selama 30 menit untuk menghilangkan kelebihan $KMnO_4$. Setelah proses ini, sentrifugasi dilakukan untuk memisahkan endapan dari cairan, dan air deionisasi ditambahkan sampai pH netral tercapai. Endapan yang diperoleh dipanaskan menggunakan oven pada suhu 110^oC selama 12 jam untuk menghasilkan serbuk GO.

Setelah larutan GO dimurnikan, larutan dimasukkan ke dalam gelas beaker. Kemudian larutan diaduk selama kurang lebih 2 jam dalam pengaduk magnet agar larutan menjadi homogen. Larutan GO

sebanyak 500 mL dimasukkan ke dalam labu gelas dan agar reaksi lebih efisien, tambahkan sejumlah kecil (0,2 gram) $NaNO_3$ sehingga pH menjadi sekitar 8-9. Lalu tambahkan natrium borohidrida ($NaBH_4$) secara perlahan-lahan untuk mereduksi grafena oksida (GO). Larutan dicampur dalam penangas minyak dan rakitan kondensor pada suhu 80^oC selama 12 jam. Ketika oksida graphena tereduksi, warnanya berubah menjadi hitam, kemudian larutan oksida grafena tereduksi (rGO) disaring dan dicuci 500 ml aseton. Kemudian larutan rGO di saring dan dicuci lagi dengan aquades sampai pH menjadi 7.

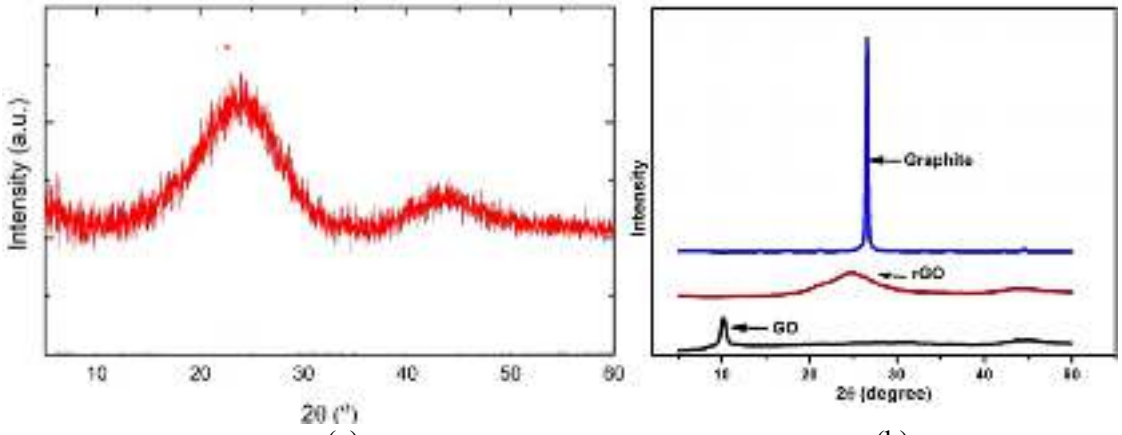
HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi kimia unsur penyusun senyawa rGO yang berasal dari hasil sintesis grafit arang kayu alaban dianalisis menggunakan kombinasi uji XRF dan uji C-H-O-N-S. Uji C-H-O-N-S bertujuan untuk menganalisis persentase berat dari unsur-unsur yang memiliki nomor atom kecil, seperti unsur utama penyusun rGO. Sedangkan uji XRF digunakan untuk mengamati persentase berat dari unsur-unsur yang memiliki nomor atom besar, dan dalam penelitian ini merupakan unsur impuritas. Arang kayu alaban merupakan bahan organik yang berasal dari alam dan memiliki ketidakmurnian yang cukup tinggi. Sehingga perlu dilakukan proses lain untuk menghilangkan unsur-unsur pengotor tersebut, seperti pemanasan pada titik didih tertentu, yang dikenal sebagai kalsinasi.

Dari uji C-H-O-N-S diperoleh enam unsur penyusun serbuk arang yang bernomor atom kecil, yaitu Karbon (C), Nitrogen (N), Hidrogen (H), Oksigen (O), Sulfur (S), dan Fospor (P). Persentase berat terbesar adalah karbon dan oksigen yang merupakan unsur utama penyusun senyawa rGO, sedangkan dari uji XRF diperoleh sepuluh unsur pengotor. Hasil kedua pengujian menunjukkan persentase total komposisi kimia unsur penyusun senyawa rGO yang berasal dari hasil sintesis grafit arang kayu alaban mengandung 15 unsur. Berdasarkan data tersebut, diketahui bahwa persentase atom karbon (C) dan oksigen (O) sebagai unsur utama rGO berturut-turut adalah 56,58% dan 31,86%. Sedangkan unsur impuritasnya hanya memiliki persentase yang sangat kecil (sekitar 6%). Hasil ini menunjukkan bahwa telah terjadi reduksi unsur oksigen dari serbuk senyawa rGO yang berasal dari hasil sintesis grafit arang kayu alaban melalui proses karbonisasi dan metode Hummer termodifikasi selama proses pemanasan pada temperatur 400°C.

Sementara itu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Suarso (2021), pengujian XRF dan CHONS dilakukan pada serbuk arang tempurung kelapa yang dipanaskan pada suhu 400^oC selama 5 jam. Dari hasil pengujian tersebut diperoleh komposisi kandungan unsur C sebagai unsur utama adalah 53,65%, sedangkan kandungan atom O sekitar 34,08%. Adapun unsur lainnya merupakan unsur impuritas dengan persentase yang sangat kecil (kurang dari 6%) (Suarso *et al.,* 2021). Umumnya karbon pada material alam dan tambang memiliki kadar oksigen mencapai 20% (Wachid *et al*., 2014). Oleh karena itu keberadaan unsur karbon dan oksigen dengan persentase tersebut, maka dapat dikatakan bahwa telah terbentuk fasa rGO pada serbuk arang kayu alaban. Jadi fasa rGO terbentuk seiring dengan

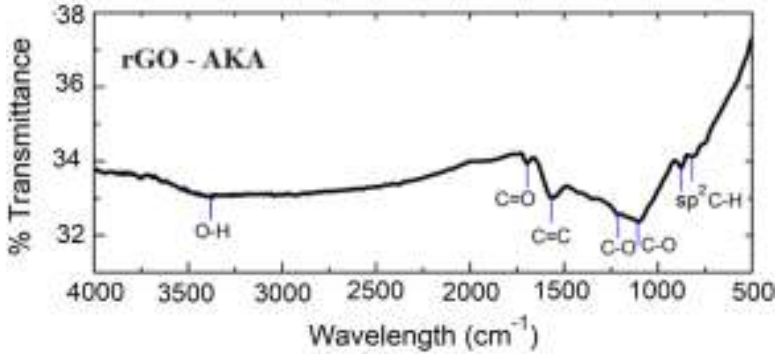
meningkatnya kadar unsur karbon dan berkurangnya kandungan oksigen dan impuritas akibat telah terlepas dari ikatannya dan menguap.



(a) (b)

Gambar 1 (a) Pola-pola Spektrum XRD dari rGO **(b)** Referensi Pola XRD *Commercial powders of JHIE Co. Ltd.* (2011)

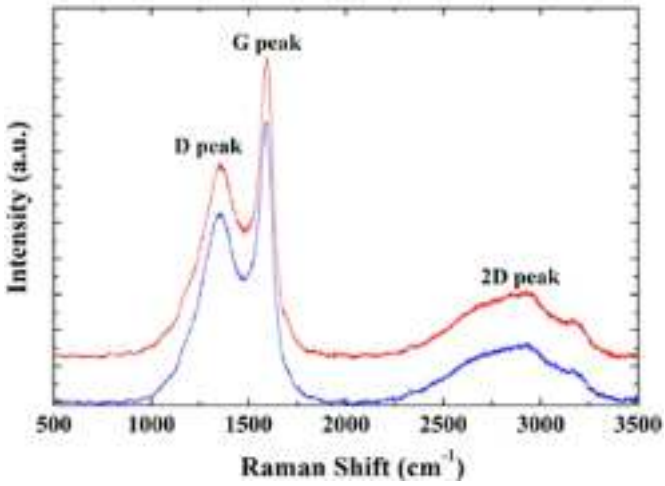
Gambar 1 menunjukkan spektrum XRD dari senyawa rGO yang berasal dari hasil sintesis grafit arang kayu alaban setelah pemanasan pada suhu 400ºC selama 5 jam. Puncak difraksi dengan intesitas rendah, lebar, bertumpuk, dan tajam dapat diamati pada sudut 2θ sekitar 20º-30º. Puncak lainnya dengan intensitas yang lebih rendah dengan bentuk yang sama terdapat pada sudut 2θ sebesar 35º-50º (Wu *et al.*, 2014). Pola difraksi sinar-*x* yang dihasilkan Gambar 1(a) menunjukkan fasa rGO dengan struktur semikristalin yang terbentuk oleh struktur turbostatik yang merupakan tumpukan susunan acak lapisan paralel yang membentuk struktur grafit dengan fasa *cliftonite* pada suhu 400ºC. Hal ini dibuktikan dari keberadaan dua puncak lebar yang masing-masing terletak pada posisi 24° dan 43,5° sepanjang bidang 002 dan 100. Pola difraksi sinar-*x* tersebut memiliki kecocokan dengan pola XRD referensi untuk rGO dari bahan kimia komersial pada Gambar 1(b). Menurut hasil penelitian rGO dari bahan grafit alam dengan menggunakan metode *Hummers*, fasa rGO terjadi pada puncak pola XRD di sekitar sudut difraksi 24° dan 43,5° (Fu *et al.,* 2013).



Gambar 2 Spektrum inframerah transformasi Fourier (FTIR) dari senyawa rGO yang berasal dari hasil sintesis grafit arang kayu alaban

Spektrum FTIR senyawa rGO yang berasal dari hasil sintesis grafit arang kayu alaban ditampilkan pada Gambar 2 menunjukkan adanya jenis gugus fungsi yang terdiri dari C=C, C-O, C=O, C-H dan O-H. Puncak transmisi pada spektrum FTIR rGO teramati pada panjang gelombang 3446 cm^{-1} (getaran regangan O–H), pada 1707 cm^{-1} (getaran regangan C═O), pada 1537 cm^{-1} (getaran regangan C═C) , pada 1431 cm^{-1} (getaran regangan dari tekukan sp^3 C–H), pada 1155 cm^{-1} (getaran regangan C–O), dan pada 802 cm^{-1} (getaran regangan dari alkena sp^2 C–H). Analisis kualitatif pada spektrum FTIR menunjukkan bahwa persentase gugus fungsi oksigen untuk rGO yang bersumber dari grafit arang kayu alaban adalah 35%. Keberadaan gugus fungsi ikatan C=C yang jelas sebagai salah satu indikasi terbentuknya fase rGO.

Berdasarkan grafik kurva pergeseran Raman pada Gambar 3 terdapat dua puncak utama yang masing-masing memiliki bilangan gelombang 1300 cm^{-1} (pita D) dan 1620 cm^{-1} (pita G). Pita cacat (pita D) disebabkan oleh cacat kristal yang terjadi selama proses sintesis (cacat dislokasi). Sedangkan pita grafit (pita G) mewakili ikatan grafit yang dimiliki oleh semua alotrop karbon, termasuk grafit, grafena, karbon aktif, dan karbon nanotube (CNT).



Gambar 3 Spektrum Pergeseran Raman rGO yang berasal dari hasil sintesis grafit arang kayu alaban

Dalam grafena murni, struktur kristal didominasi oleh ikatan karbon heksagonal dalam satu dimensi. Ini menunjukkan bahwa kristal yang terbentuk keadaannya sudah sempurna, sehingga puncak pita D untuk grafena murni memiliki intensitas yang rendah. Kondisi ini dapat dibuktikan dengan menghitung rasio ID/IG yang mewakili nilai rasio proporsional dari intensitas cacat (D) terhadap intensitas grafena (G). Berdasarkan hubungan tersebut, perkiraan ID/IG yang lebih besar cenderung meningkatkan cacat, menghasilkan ikatan heksagonal yang lemah pada lembaran grafena yang mungkin mengkonfirmasi fasa rGO. Nilai rasio ID/IG kedua sampel pada gambar tersebut adalah 2,62 dan 2,51 (disesuaikan dengan rasio ID/IG rGO). Sedangkan puncak lebar pada pita 2D menunjukkan jumlah lapisan yang terbentuk selanjutnya.

KESIMPULAN

Pendekatan yang tepat dalam mensintesis dan mengkarakterisasi struktur mikro senyawa rGO yang berasal dari grafit limbah arang kayu alaban (biomassa) telah diusulkan. Senyawa rGO berhasil disintesis dan dikarakterisasi dari grafit yang bersumber dari limbah arang kayu alaban dengan menggunakan kombinasi metode Hummer termodifikasi dan kalsinasi. Terbentuknya fasa rGO sebagai senyawa "hijau" (berkelanjutan) yang dipreparasi dari hasil sintesis grafit arang kayu alaban dipastikan dari hasil XRD dengan pengamatan sudut puncak 23° dan 43,5°. Berdasarkan hasil analisis uji C-H-O-N-S dan XRF, diketahui bahwa persentase atom karbon (C) dan oksigen (O) sebagai unsur utama rGO mencapai 56,68% dan 31,86% dengan unsur impuritas yang sangat kecil. Gugus fungsi yang terdeteksi oleh spektrum FTIR terdiri dari C=C, C-O, C=O, C-H dan O-H. Menurut hasil analisis uji FTIR menunjukkan penampakan ikatan C=C yang terlihat lebih jelas dikaitkan dengan konfigurasi sp^2 (rGO). Sedangkan hasil analisis Spektroskopi Raman menghasilkan puncak (dilambangkan dengan pita D dan G) yang terletak pada bilangan gelombang 1300 cm^{-1} dan 1590 cm^{-1}, dengan nilai rasio ID/IG sampel adalah 2,6 yang sesuai dengan rasio ID/IG rGO.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dan apresiasi diberikan kepada semua pihak yang telah banyak memberikan dukungan dalam penyelesaian penelitian ini, terutama Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) ULM atas bantuan dana DIPA-PNBP ULM tahun anggaran 2023 melalui Program Dosen Wajib Meneliti (PDWM).

DAFTAR PUSTAKA

Alam, S.N., Sharma, N., & Kumar, L., 2017. Synthesis of Graphene Oxide (GO) by Modified Hummers Method and Its Thermal Reduction to Obtain Reduced Graphene Oxide (rGO). *Graphene*, *06*, p.1–18.

Al-Hazmi, F.S., Al-Harbi, G.H., Beall, G.W., Al-Ghamdi, A.A., Obaid, A.Y., & Mahmoud, W.E., 2015. Synthesis and Structure of High Quality Graphene Prepared Via Solvothermal Exfoliation of Intercalated Graphite Flakes. *Superlattices Microstruct*, *86*, p.270–274.

Alimah, D., 2020, April. Karakteristik dan Budidaya Laban (Vitex pubescens) untuk Tujuan Kayu Energi. *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah* (SNLB) (Vol. 5, No. 2, p. 74–79).

Asih, R., Yutomo, E. B., Ristiani, D., Baqiya, M. A., Kawamata, T., Kato, M., Watanabe, I., Koike, Y., & Darminto, 2019. Comparative Study on Magnetism of Reduced Graphene Oxide (rGO) Prepared from Coconut Shells and the Commercial Product. *Materials Science Forum*, 966, p.290–295.

Astuti, F., Sari, N., Maghfirohtuzzoimah, V.L., Asih, R., Baqiya, M.A., & Darminto, D., 2020. Study of

the Formation of Amorphous Carbon and rGO-like Phases from Palmyra Sugar by Variation of Calcination Temperature. *J. Fis. dan Apl*., *16*(2), p.91 - 94.

Aunkor, M.T.H., Mahbubul, I.M., Saidur, R., & Metselaar, H.S.C., 2016. The Green Reduction of Graphene Oxide. *RSC Adv*, *6*, p.27807–27828.

Baqiya, M.A., Nugraheni, A.Y., Islamiyah, W., Kurniawan, A.F., Ramli, M.M., Yamaguchi, S., Furukawa, Y., Soontaranon, S., Putra, E.G.R., Cahyono, Y., Risdiana, & Darminto, 2020. Structural Study on Graphene-Based Particles Prepared from Old Coconut Shell by Acid–Assisted Mechanical Exfoliation. *Adv. Powder Technol*, *31*, p.2072–2078.

Belenkov, E.A., Greshnyakov, V.A., & Belaya, E.A., 2018. Structural Varieties of Carbon Compounds. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 447, No. 1, p. 012016). IOP Publishing.

Bhuyan, M.S.A., Uddin, M.N., Islam, M.M., Bipasha, F.A., & Hossain, S.S., 2016. Synthesis of Graphene. *Int. Nano Lett*. *6*, p.65–83.

Efiyanti, L., Wati, S.A., & Maslahat, M., 2020. Pembuatan dan Analisis Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet dengan Proses Kimia dan Fisika. *J. Ilmu Kehutan*, *14,* p.94 -108.

Geim, A.K. & Novoselov, K.S., 2007. The Rise of Graphene. *Nat. Mat.*, *6*, p.183–191.

Geim, A.K. & Novoselov, K.S., 2015. A Collection of Reviews from Nature Journals: *The Rise of Graphene*.

Husnah, M., Fakhri, H., Rohman, F., Aimon, A.H., & Iskandar, F., 2017. A Modified Marcano Method for Improving Electrical Properties of Reduced Graphene Oxide (rGO). *Mater. Res. Express, 4*, p.064001.

Pei, S., & Cheng, H.M., 2012. The reduction of graphene oxide. *Carbon*, *50*, p.3210-3228.

Rahayu, P., Primary, N., Rohmawati, L., 2017. Karakteristik Reduced Graphene Oxide (rGO) Berbahan Dasar Limbah Batang Padi. *Jurnal Sains dan Matematika*, *6*(1), p.26-31.

Riyanto, C.A., Prabalaras, E., & Martono, Y., 2020. Karakterisasi Nanopartikel Karbon Aktif dari Daun Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Berdasarkan Variasi Suhu dan Waktu Aktivasi. *J. Kim. dan Kemasan, 42*(2), p.85-92.

Safariyanti, S.J., Rahmalia, W., & Shofiyani, A., 2018. Sintesis dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Tempurung Buah Nipah (*Nypa fruticans*) Menggunakan Aktivator Asam Klorida. *Jur. Kimia Khatulistiwa. 7*(2), p.41–46.

Safitri, R.F. & Kusumawati, D.H. 2020. Review: Aplikasi Bahan Komposit Berbasis Reduced Graphene Oxide (rGO). *Inovasi Fisika Indonesia*, ***9***(2), p.93–104.

Siregar, S.A., Husnah, M., Sihombing, S.F., & Tanjung, E., 2018. Sintesis dan Karakterisasi Reduced Graphene Oxide (rGO) dari Sumber Asap Sampah Anorganik. *Journal of Phys. and Science Learning, 02*(2), p.622-6707.

Suarso, E., Laila, A.Z., Setyawan, F.A., Zainuri, M., Arifin, Z., & Darminto, 2019. The Effect of Reduced Graphene Oxide (rGO) Coating on Electrical Conductivity of Lithium Ferro Phosphate (LFP) as an Alternative Cathode for Li-Ion Battery. *Mater. Sci. Forum, 966,* p.386–391.

Suarso, E., Setyawan, F.A., Subhan, A., Ramli, M.M., Ismail, N.S., Zainuri, M., Arifin, Z., & Darminto, 2021. Enhancement of $LiFePO_4$ (LFP) Electrochemical Performance Through the Insertion of Coconut Shell-Derived rGO-like Carbon as Cathode of Li-ion Battery. *J. Mater. Sci. Mater. Electron*, *32,* p.28297–28306.

Wachid, F.M., Perkasa, A.Y., Prasetya, F.A., Rosyidah, N., & Darminto, 2014. Synthesis and Characterization of Nanocrystalline Graphite from Coconut Shell with Heating Process. p.202–206.