

Sintesis dan Karakterisasi Sifat Fisis *Graphene Oxide* berbahan Dasar Limbah Bulu Ayam dengan Metode *Liquid Phase Exfoliation*

Rahma Santika, Astuti, Sri Rahayu Alfitri Usna*

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163 Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 11 Desember 2022
Direvisi: 29 Desember 2022
Diterima: 30 Desember 2022

Kata kunci:

GO
Limbah bulu ayam
Liquid phase exfoliation
Sifat optik
Surfaktan

Keywords:

GO
Chicken feather waste
Liquid phase exfoliation
Optical properties
Surfactans

Penulis Korespondensi:

Sri Rahayu Alfitri Usna
Email:
sriahayualfitri@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Limbah bulu ayam broiler berpotensi untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan graphene oxide (GO). GO merupakan material yang dapat diaplikasikan pada berbagai perangkat penyimpan energi, seperti superkapasitor dan baterai. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan menganalisis sifat fisis material GO yang dihasilkan. Ada dua tahap dalam pembuatan material GO. Tahap pertama adalah proses karbonisasi bulu ayam dengan variasi suhu 300 °C, 400 °C, dan 500 °C. Berdasarkan hasil karakterisasi difraksi sinar-X (XRD), suhu karbonisasi optimum untuk mendapatkan grafit bulu ayam adalah 400 °C. Grafit ini kemudian digunakan sebagai bahan utama untuk sintesis GO. Tahap kedua adalah sintesis GO menggunakan metode liquid phase exfoliation (LPE) dengan memvariasikan volume surfaktan alkilbenzena sulfonat (LAS) linier yaitu 0,76 ml, 0,96 ml, dan 1,16 ml. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa semua sampel GO memiliki ukuran kristal yang hampir sama, yaitu sekitar 26,66 nm. Dari ketiga sampel, semakin tinggi volume surfaktan maka semakin kuat dan tajam puncak difraksi XRD yang dihasilkan. Peningkatan volume surfaktan menyebabkan penurunan nilai absorbansi sampel GO. Ikatan karbon dan oksigen telah muncul pada ketiga variasi volume surfaktan sehingga dapat disimpulkan sintesis material GO berhasil dilakukan.

Broiler chicken feather waste has the potential to be used as a raw material for graphene oxide (GO) synthesis. GO is a material that can be applied to various energy storage devices, such as supercapacitors and batteries. This study aims to synthesize and analyze the physical properties of the resulting GO material. There are two stages in the manufacture of GO materials. The first stage is the process of carbonizing chicken feathers with temperature variations of 300 °C, 400 °C, and 500 °C. Based on the X-ray diffraction (XRD) characterization results, the optimum carbonization temperature to obtain chicken feather graphite is 400 °C. This graphite is then used as the primary material for GO synthesis. The second stage was the GO synthesis using the liquid phase exfoliation (LPE) method by varying the volume of the linear alkylbenzene sulfonate (LAS) surfactant, namely 0.76 ml, 0.96 ml, and 1.16 ml. The results of the XRD characterization showed that all GO samples had almost the same crystal size of around 26,66 nm. Of the three samples, the higher the surfactant volume, the stronger and sharper the XRD diffraction peaks produced. The increase in surfactant volume causes a decrease in the absorbance value of GO samples. Carbon and oxygen bonds have appeared in the three volume variations of surfactants so that it can be concluded that the synthesis of GO material was successful.

Copyright © 2023 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Daging ayam merupakan sumber protein hewani yang banyak dikonsumsi masyarakat Indonesia. Meningkatnya konsumsi daging ayam berdampak pada limbah bulu ayam yang dihasilkan yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Limbah bulu ayam dapat menimbulkan berbagai jenis penyakit dan menyebabkan pencemaran tanah karena sulit didegradasi. Daur ulang diperlukan untuk meminimalisir tumpukan limbah bulu ayam (Sari, 2015).

Bulu ayam mengandung sekitar 91% protein (keratin) yang terdiri dari 47,4% unsur karbon (Cheong dkk., 2018). Karbon merupakan salah satu material yang memiliki beragam morfologi seperti karbon koloidal, *nanotube*, *fullerene*, grafit, *graphene*, *colloid sphere*, *nanofiber*, *porous carbon*, *nanowire*, dan karbon aktif (Hu dkk., 2010). Karbon banyak diteliti karena memiliki beberapa keunggulan diantaranya murah, kapasitas volumetrik tinggi, kapasitas reversibel tinggi, mudah dikompositkan, berlimpah, dan stabil (Agustin, 2021). Karbon bulu ayam dapat dimanfaatkan menjadi bahan yang lebih bernilai, salah satunya diolah menjadi *graphene oxide* (GO). GO merupakan senyawa turunan dari *graphene* yang memiliki karakteristik dan struktur yang mirip dengan grafit. GO memiliki sifat menguntungkan seperti biaya fabrikasi yang rendah dan selektivitas yang baik (Maheshwari dkk., 2022). GO juga memiliki luas permukaan spesifik yang besar, sifat ionik dan konduktivitas yang sangat baik (Bai dkk., 2022). Bahan GO dapat diterapkan ke berbagai perangkat penyimpanan energi, seperti superkapasitor (Korkmaz dan Kariper., 2020), baterai (Bai dkk., 2022) dan penyimpanan energi termal (Cao dkk., 2020);(Chi dkk., 2021).

Salah satu metode yang paling umum digunakan untuk menghasilkan material GO adalah *liquid phase exfoliation* (LPE) (Read dkk., 2022). Media eksfoliasi grafit fase cair, adalah air dan pelarut surfaktan (organik, cairan ionik, aromatik) (Tian dkk., 2019). Surfaktan digunakan untuk mendispersikan *graphene* dalam fase cair dan membantu mengurangi agregasi (pengumpulan) *graphene* dalam larutan. Keuntungan dari metode LPE adalah biaya produksi yang rendah, kesederhanaan, kemudahan proses, dan memiliki potensi produksi berskala besar (Amiri dkk., 2018).

(Bete dkk., 2019) menggunakan bahan GO dari arang tongkol jagung yang disintesis menggunakan metode LPE. Berdasarkan hasil analisis spektrum absorbansi, proses sintesis dengan bantuan ultrasonikasi menunjukkan bahwa nilai absorbansi meningkat secara linier dengan bertambahnya massa karbon tongkol jagung (1 gram; 1,5 gram; 2 gram). Nilai absorbansi masing-masing adalah 1,478; 1,571; 1,588 dan menunjukkan terbentuknya material GO. Selanjutnya Gayatri mensintesis GO dari limbah tulang ayam broiler menggunakan metode LPE dengan memvariasikan suhu karbonisasi (400 °C dan 600 °C) dan volume surfaktan (0,76 ml, 0,96 ml, dan 1,16 ml) (Gayatri dan Tjahjono, 2022). Berdasarkan hasil karakterisasi *energy dispersive X-ray* (EDX), karbonisasi pada suhu 400 °C menghasilkan grafit alami yang paling murni. Dari hasil spektra UV-Vis diketahui material GO terbaik diperoleh dari suhu karbonisasi 400 °C dan volume surfaktan 1,16 ml. Hastuti dkk., membuat bahan reduksi GO dari bulu ayam menggunakan metode *chemical exfoliation* (CE) (Hastuti dkk., 2022). Proses eksfoliasi dilakukan dengan berbagai konsentrasi HCl (0, 0,5, 1, 1,5, dan 2 M). Hasil XRD menunjukkan bahwa sampel memiliki fase karbon tipe reduksi GO, dan ukuran kristal menurun pada konsentrasi HCl yang lebih tinggi. Spektra FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi C -O, C = C, dan C - OH yang mengindikasikan material GO atau rGO.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat material GO dari limbah bulu ayam dengan metode LPE serta menganalisis struktur dan sifat fisis material yang dihasilkan. Ada dua tahapan penelitian yang dilakukan. Tahap pertama adalah proses karbonisasi limbah bulu ayam dengan variasi suhu karbonisasi yaitu 300 °C, 400 °C, dan 500 °C. Tahap selanjutnya adalah sintesis grafit yang diperoleh dari proses karbonisasi dengan metode LPE menjadi material GO. Pada tahap kedua ini dilakukan variasi volume surfaktan *linear alkilbenzena sulfonat* (LAS) yaitu 0,76 ml, 0,96 ml, dan 1,16 ml. Material GO kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD, spektrofotometer UV-Vis, dan *fourier transform infra red* (FTIR).

II. METODE

2.1 Karbonisasi Bulu Ayam

Bulu ayam dicuci terlebih dahulu menggunakan deterjen kemudian dibilas dengan air hingga tidak terlihat kotoran yang menempel serta warna bulu ayam menjadi lebih terang. Bulu ayam kemudian dijemur. Selanjutnya bulu ayam dikarbonisasi menggunakan *furnace* dengan variasi suhu 300 °C, 400

°C, dan 500 °C selama 1,5 jam. Setelah terbentuk grafit, sampel kemudian dihaluskan hingga halus dan disaring menggunakan ayakan 200 mesh agar ukuran sampel seragam. Selanjutnya dilakukan pengujian XRD. Dari hasil pengujian XRD diperoleh sampel dengan hasil grafit terbaik pada suhu karbonisasi 400 °C. Sampel kemudian sebagai bahan utama sintesis GO.

2.2 Sintesis *Graphene Oxide*

Sintesis GO dimulai dengan mencampurkan 2 g karbon bulu ayam ke dalam 250 ml akuades (H_2O), dan surfaktan LAS dengan variasi volume 0,76 ml, 0,96 ml, dan 1,16 ml. Pembuatan larutan blanko untuk uji karakterisasi XRD, spektrofotometer UV-Vis, dan FTIR diawali dengan menambahkan surfaktan dan karbon bulu ayam ke dalam 250 ml aquades, kemudian diaduk selama 3 jam. Sampel kemudian diendapkan selama 3 hari. Tujuan pengendapan ini adalah untuk memisahkan bagian cair dari bagian padat.

2.3 Teknik Analisis Data

Analisis data diperoleh berdasarkan data hasil pengujian masing-masing sampel dan diolah menggunakan software OriginPro 2022 dan Microsoft Excel. Data hasil XRD digunakan untuk menghitung ukuran kristal pada sampel GO sesuai Persamaan 1.

$$D = \frac{k}{B \cos \theta} \quad (1)$$

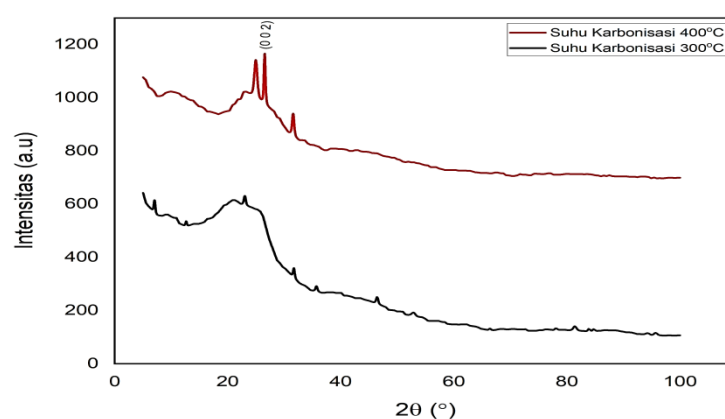
dimana D merupakan ukuran kristal nanopartikel (nm), k merupakan konstanta dimensi kristal (0,9), B merupakan lebar puncak setengah maksimum (*full width at half maximum*, FWHM), dan θ merupakan sudut difraksi sinar-X.

Pengambilan data pengukuran intensitas absorbansi dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis, hasil karakterisasi berupa grafik hubungan antara panjang gelombang serapan dan puncak absorbansi dari setiap larutan sampel yang diuji. Ketiga sampel diuji pada spektrum 200 nm sampai 400 nm yang merupakan panjang gelombang karakteristik GO (Bete dkk, 2019). Karakterisasi FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung dalam sampel GO.

III. HASIL DAN DISKUSI,

3.1 Analisis XRD Grafit Bulu Ayam

Hasil karakterisasi XRD proses karbonisasi limbah bulu ayam pada suhu 300 °C dan 400 °C dapat dilihat pada Gambar 1. Karbonisasi bulu ayam pada suhu 300 °C belum sepenuhnya membentuk kristal grafit karena puncak kristal muncul dengan ukuran yang sangat kecil seperti terlihat pada Gambar 1. Hal ini menunjukkan bahwa sampel yang terbentuk masih tergolong amorf, dimana struktur atom yang terbentuk tidak beraturan (Hayati dan Astuti, 2015).



Gambar 1. Kurva XRD grafit bulu ayam

Pada sampel dengan suhu karbonisasi 400 °C, muncul puncak kristal yang lebih tinggi yang menandakan sampel tergolong kristal atau sudah membentuk grafit (Science dan Street, 2016). Puncak difraksi berada pada sudut 2θ yaitu $26,51^\circ$ dengan bidang kristal (002) sesuai dengan ICDD No. 00-008-0415.

Pada sampel bulu ayam dengan suhu karbonisasi 500 °C tidak dilakukan karakterisasi lebih lanjut karena sampel telah berubah menjadi abu (Hayati dan Astuti, 2015). Perubahan grafit menjadi abu disebabkan oleh suhu karbonisasi yang terlalu tinggi. Hasil karbonisasi bulu ayam pada suhu 500 °C ditunjukkan pada Gambar 2.

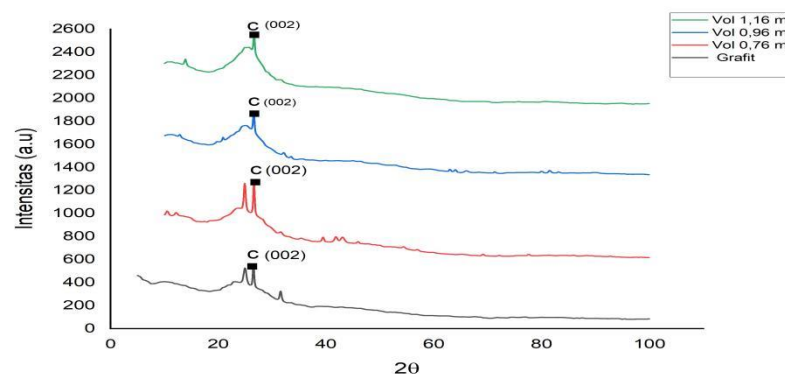


Gambar 2. Abu bulu ayam pada suhu 500 °C

Dari ketiga variasi suhu karbonisasi limbah bulu ayam, sampel dengan suhu karbonisasi 400 °C menunjukkan suhu optimum untuk menghasilkan grafit bulu ayam broiler. Selanjutnya sampel grafit ini digunakan sebagai bahan dasar sintesis GO dengan memvariasikan volume surfaktan.

3.2 Analisis XRD GO

Hasil karakterisasi XRD sampel GO dengan variasi volume surfaktan 0,76 ml, 0,96 ml, dan 1,16 ml dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan pola XRD grafit murni muncul puncak difraksi pada bidang (002). Pada grafit murni pada suhu karbonisasi 400 °C dilakukan sintesis GO dengan variasi volume surfaktan. Peningkatan volume surfaktan akan mengakibatkan puncak-puncak difraksi yang dihasilkan grafit murni akan tereduksi sehingga terbentuk satu puncak yang tajam seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Hal ini disebabkan karena surfaktan berfungsi untuk mendispersikan *graphene* dalam fase cair dan membantu mengurangi agregasi larutan. Walaupun jumlah puncak yang muncul pada berbagai variasi volume surfaktan berbeda, puncak yang dominan tetap pada bidang (002).

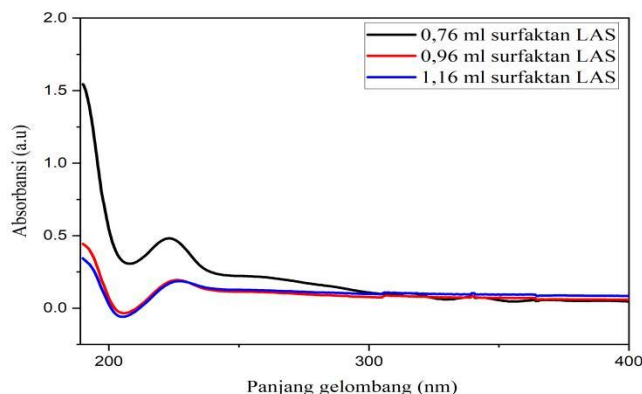


Gambar 3. Kurva XRD material GO dengan variasi volume surfaktan

Berdasarkan puncak-puncak difraksi yang muncul pada kurva XRD diketahui bahwa grafit bulu ayam yang telah disintesis mengindikasikan material GO (Science dan Street, 2016). Semakin tinggi volume surfaktan yang ditambahkan (1,16 ml) maka material GO yang dihasilkan akan semakin murni dan baik. Hal ini diketahui dari puncak difraksi tunggal yang diperoleh pada variasi volume surfaktan terbesar yaitu 1,16 ml (Bradder dkk., 2011). Hasil uji difraksi dari bulu ayam, didapatkan lebar kisi grafit yaitu $3,35 \text{ \AA}$ dan lebar kisi GO yaitu $3,39 \text{ \AA}$ yang dihitung dengan Persamaan 1. Grafit bulu ayam memiliki nilai FWHM sebesar 0,307 dan ukuran kristal yaitu 26, 66 nm untuk semua variasi volume surfaktan. Hal ini disebabkan karena surfaktan berfungsi mendispersikan *graphene* dalam fase cair dan membantu mengurangi agregasi (pengumpulan) *graphene* dalam larutan

3.3 Analisis Spektrofotometer UV-Vis GO

Karakterisasi spektrofotometer UV-Vis dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sifat optik material GO. Hasil karakterisasi UV-Vis sampel GO dengan variasi volume surfaktan ditunjukkan pada Gambar 4 berupa grafik hubungan nilai absorbansi dengan panjang gelombang.

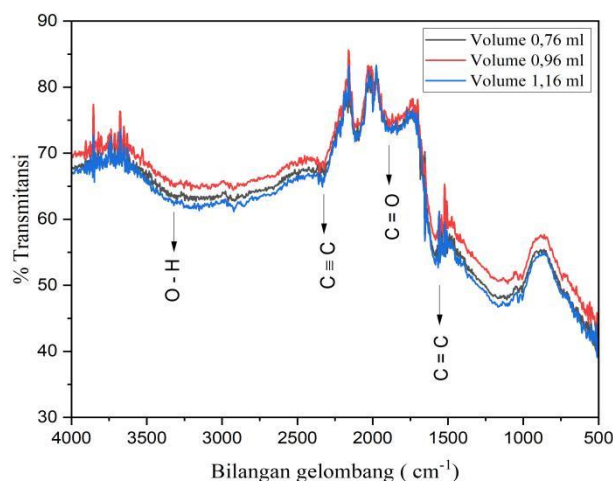


Gambar 4. Hasil karakterisasi UV-Vis material GO dengan variasi volume surfaktan

Dari Gambar 4 diketahui bahwa puncak absorbansi ketiga sampel GO berada pada rentang panjang gelombang 220-270 nm. Jenis material GO dengan puncak absorbansi pada rentang panjang gelombang 220 nm hingga 270 nm tergolong *graphene multilayer* (Bete dkk., 2019). Semakin tinggi penambahan volume surfaktan maka material GO menyerap sinar UV pada panjang gelombang yang semakin panjang, dan nilai absorbansinya akan semakin kecil. Hal ini menunjukkan penambahan volume surfaktan menyebabkan grafit yang terkelupas semakin banyak sehingga lapisan semakin tipis dan jumlah sinar UV yang diserap semakin berkurang (Dwandaru dkk., 2018).

3.4 Analisis FTIR GO

Hasil karakterisasi FTIR ditampilkan dalam bentuk grafik nilai transmitansi (%) terhadap bilangan gelombang (cm^{-1}) seperti terlihat pada Gambar 5. Pada Gambar 5 terlihat bahwa variasi volume surfaktan tidak mempengaruhi jenis gugus fungsi yang dihasilkan tetapi mempengaruhi nilai % transmitansi. Semakin tinggi volume surfaktan ikatan gugus fungsi semakin kuat sehingga material GO semakin banyak menyerap gelombang inframerah dan transmitansi menjadi berkurang (Dachriyanus, 2017).



Gambar 5. Spektrum inframerah material GO dengan variasi surfaktan

Perbedaan perlakuan pada grafit dimungkinkan terjadinya perbedaan vibrasi molekul yang terjadi pada sampel. Hal ini dikarenakan perbedaan kekuatan tiap molekul dalam menyerap cahaya inframerah. Dari vibrasi tersebut terlihat karakteristik masing-masing sampel berdasarkan perbedaan gugus fungsi maupun persen transmisinya (Gayatri dan Tjahjono, 2022). Secara keseluruhan, gugus fungsi yang dihasilkan pada endapan GO dari setiap variasi volume surfaktan hampir sama. Gugus fungsi yang teridentifikasi dari puncak-puncak yang ada pada hasil sintesis GO diinformasikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Interpretasi data spektrum FTIR bahan GO bulu ayam dengan variasi volume surfaktan

Gugus Fungsi	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)		
	Surfaktan		
	0,76 ml	0,96 ml	1,16 ml
O - H	3321,42	3226,91	3190,26
C ≡ C	2353,16	2353,16 2123,63	2333,87 2117,84
C = O	1865,17	1838,16	1876,74 1653,00
C = C	1587,42	1583,56	1583,56

Berdasarkan data pada Tabel 1 terlihat adanya gugus fungsi karbon dan oksigen pada semua sampel dengan variasi volume surfaktan. Adanya ikatan karbon dan oksigen (C ≡ O) menandakan telah terbentuknya material GO (Maulana, 2019) Semakin tinggi volume surfaktan, semakin banyak ikatan karbon dan oksigen yang terbentuk, sehingga kualitas GO yang dihasilkan semakin baik (Gayatri dan Tjahjono, 2022). Tabel 1 juga menunjukkan adanya gugus fungsi OH pada bilangan gelombang 3321,42 cm⁻¹, 3226,91 cm⁻¹, dan 3190,26 cm⁻¹ yang mengindikasikan bahwa GO juga menyerap molekul air (H₂O) (Dwandaru dkk., 2018).

IV. KESIMPULAN

Hasil pengujian XRD menunjukkan suhu karbonisasi bulu ayam yang optimum untuk mendapatkan material grafit adalah 400 °C. Pada ketiga variasi volume surfaktan dari hasil uji XRD menunjukkan semakin tinggi volume surfaktan semakin kuat dan tajam puncak difraksi XRD material GO, serta pada pengujian karakterisasi UV-Vis didapatkan semakin tinggi volume surfaktan maka panjang gelombang yang diserap material GO akan semakin panjang, dan nilai absorbansinya akan semakin kecil. Hasil karakterisasi dengan alat FTIR menunjukkan semakin tinggi volume surfaktan ikatan gugus fungsi semakin kuat sehingga material GO semakin banyak menyerap gelombang inframerah dan transmitansi menjadi berkurang sehingga semakin banyak ikatan molekul (C-C dan C-O) yang terbentuk. Pada ketiga sampel GO terlihat adanya ikatan karbon dengan oksigen, sehingga dapat disimpulkan bahwa sintesis material GO berbasis limbah bulu ayam telah berhasil dilakukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada RKAT Fakultas MIPA Universitas Andalas yang telah mendanai penelitian ini sesuai kontrak, nomor: 05/UN.16.03.D/PP/FMIPA/2022 tahun anggaran 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, M.U. (2021), "Pengaruh Temperatur Oksidasi Terhadap Sifat Fisis Dan Listrik RGO (Reduced Graphene Oxide) Dari Bulu Ayam", *Skripsi*.
- Amiri, A., Naraghi, M., Ahmadi, G., Soleymaniha, M. dan Shanbedi, M. (2018), "A Review on Liquid-Phase Exfoliation for Scalable Production of Pure Graphene, Wrinkled, Crumpled and Functionalized Graphene and Challenges", *FlatChem*, Elsevier, Vol. 8 No. January, pp. 40–71.
- Bai, M., Chen, Z., Zhang, K., Yuan, K., Hong, B. dan Lai, Y. (2022), "Designable Ultra-Stable Electrode Surface Engineering by the Electrophoretic Deposition of Modified Graphene Oxide for Rechargeable Batteries", *Applied Surface Science*, Elsevier B.V., Vol. 605 No. July, p. 154704.

- Bete, Y.I., Bukit, M., Johannes, A.Z. dan Pingak, R.K. (2019), “Kajian Awal Sifat Optik Graphene Oxide Berbahan Dasar Arang Tongkol Jagung Yang Disintesis Dengan Metode Liquid Phase Exfoliation (Lpe)”, *Jurnal Fisika : Fisika Sains Dan Aplikasinya*, Vol. 4 No. 2, pp. 114–120.
- Bradder, P., Ling, S.K., Wang, S. dan Liu, S. (2011), “Dye Adsorption on Layered Graphite Oxide”, *Journal of Chemical and Engineering Data*, Vol. 56 No. 1, pp. 138–141.
- Cao, Y., Fan, D., Lin, S., Mu, L., Ng, F.T.T. dan Pan, Q. (2020), “Phase Change Materials Based on Comb-Like Polynorbornenes and Octadecylamine-Functionalized Graphene Oxide Nanosheets for Thermal Energy Storage”, *Chemical Engineering Journal*, Elsevier, Vol. 389 No. February, p. 124318.
- Cheng, W., Wang, X., Huang, J., Wang, Y., Yin, L., Li, J., Kong, X., *et al.* (2022), “Electrochemical Study of Reduced Graphene Oxide@Zn₂Ti₃O₈ Nanocomposites as a Superior Anode for Li-ion Battery”, *Chemical Engineering Science*, Elsevier Ltd, Vol. 260, p. 117872.
- Chi, B., Yao, Y., Cui, S. dan Jin, X. (2021), “Preparation of Graphene Oxide Coated Tetradecanol/Expanded Graphite Composite Phase Change Material for Thermal Energy storage”, *Materials Letters*, Elsevier B.V., Vol. 282, p. 128666.
- “Dachriyanus, 2004, Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi, LPTIK, Universitas Andalas, Padang.
- Dwandaru, W.S.B., Fathia, A. dan Wisnuwjaya, R.I. (2018), “Study On The Synthesis of GO-AgNP Mixture Assisted by AgNP Based on UV-Vis, SEM-EDX, XRD, and FTIR”, *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1097 No. 1, available at:<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1097/1/012011>.
- Gayatri, A.S. dan Tjahjono, A. (2022), “Pengaruh Temperatur Pembakaran dan Volume Surfaktan Pada Proses Sintesis Graphene Oxide (GO) Dari Limbah Tulang Ayam Broiler”, *Jurnal Teras Fisika*, Vol. 5 No. 1, p. 260.
- Hastuti, E., Fefiyanti, F. dan Muthmainnah, M. (2022), “Pengaruh Konsentrasi HCl Pada Proses Exfoliasi Graphene Oxide/Reduce Graphene Oxide (GO/rGO) Dari Karbon Bulu Ayam”, *Indonesian Journal of Applied Physics*, Vol. 12 No. 2, p. 168.
- Hayati, R. dan Astuti. (2015), “Sintesis Nanopartikel Silika dari Pantai Purus Padang Dengan Metode Kopresipitasi”, *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 4 No. 3, pp. 282–287.
- Hu, B., Wang, K., Wu, L., Yu, S.H., Antonietti, M. dan Titirici, M.M. (2010), “Engineering carbon Materials From The Hydrothermal Carbonization Process of Biomass”, *Advanced Materials*, Vol. 22 No. 7, pp. 813–828.
- Korkmaz, S. dan Kariper, A. (2020), “Graphene and Graphene Oxide Based Aerogels: Synthesis, Characteristics and Supercapacitor Applications”, *Journal of Energy Storage*, Vol. 27 No. October 2019, available at:<https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101038>.
- Maheshwari, U., Varshney, D., Deshpande, D. and Ghodke, S. (2022), “Development and Utilizing Graphene Oxide For The Wastewater Treatment: An Experimental Evaluation”, *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, No. xxxx, available at:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.10.086>.
- Read, O., Shin, Y., Hu, C. xia, Zarattini, M., Boyes, M., Just-Baringo, X., Panigrahi, A., *et al.* (2022), “Insights Into the Exfoliation Mechanism of Pyrene-Assisted Liquid Phase Exfoliation of Graphene from Lateral Size-Thickness Characterisation”, *Carbon*, Elsevier Ltd, Vol. 186, pp. 550–559.
- Sari, E.P. (2015), “Pemanfaatan Limbah Bulu Ayam Sebagai Pakan Ternak Ruminansia”, Vol. 1 No. Suryaningrum 2011, pp. 136–138.
- Science, N. dan Street, K. (n.d.). “Karakterisasi Graphene Arang Ampas Tebu Berbasis XRD Dan TEM Characterization of Graphene From Bagasse Charcoal Using XRD dan TEM Ladhita Triprayoga Sutayasa * dan I Gusti Made Sanjaya”, pp. 23–27.
- Tian, J., Guo, L., Yin, X. dan Wu, W. (2019), “The Liquid-Phase Preparation of Graphene by Shear Exfoliation With Graphite Oxide As a Dispersant”, *Materials Chemistry and Physics*, Elsevier, Vol. 223 No. October 2018, pp. 1–8.