

Sintesis *Reduced Graphene Oxide* dari Limbah Biomassa Serabut Kelapa Sawit dengan Metode *Microwave*

Dona Avrilia Kristanti¹, Muhammad Hilmi Marzuqi², Ima Putriana³, Suprihatin^{4*}, Nur Aini Fauziyah^{5,*}

^{1,2,4}Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

^{3,5}Program Studi Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

⁵Innovation Center of Appropriate Food Technology for Lowland and Coastal Area, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

⁵HealthTech Excellence Research Group, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Jalan Raya Rungkut Madya No. 1, Kec. Gunung Anyar, Surabaya 60294

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 20 Desember 2023

Direvisi: 19 Februari 2024

Diterima: 23 April 2024

Kata kunci:

Biomassa

Microwave

Reduced Graphene Oxide

Serabut Kelapa Sawit

Keywords:

Biomass

Microwave

Reduced Graphene Oxide

Palm Fiber

Penulis Korespondensi:

Nur Aini Fauziyah, Suprihatin

Email: nur.aini.fisika@upnjatim.ac.id

suprihatin.tk@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian pembuatan *Reduced Graphene Oxide* (rGO) dengan memanfaatkan limbah serabut kelapa sawit dari Aceh dengan metode *microwave*. Serabut kelapa sawit termasuk biomassa lignoselulosa berupa serat yang memiliki komponen utama selulosa 59,6%, lignin 28,5%, protein kasar 3,6%, lemak 1,9%, abu 5,6% dan impurities 8%. Kandungan limbah serabut kelapa sawit tersebut dapat dimanfaatkan untuk sintesis *Reduced Graphene Oxide*. Serabut kelapa sawit dipreparasi terlebih dahulu menjadi karbon aktif. Karbon aktif dilakukan pemanasan *microwave* untuk membentuk *Reduced Graphene Oxide*. *Reduced Graphene Oxide* yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM untuk mengetahui fasa amorf dan morfologi. Pada uji XRD diperoleh hasil bahwa *Reduced Graphene Oxide* memiliki fasa amorf yang lebih dominan. Persentase nilai amorf terbesar didapatkan pada sampel dengan variasi massa 1 gram dengan lama waktu pemanasan 20 menit yaitu sebesar 90,82%. Kemudian, pada uji SEM diperoleh hasil bahwa GO dan rGO memiliki perbedaan morfologi pada permukaan sampel, dimana rGO memiliki bentuk lembaran yang lebih tipis daripada GO. Pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa masih terdapat *Graphene Oxide* (GO) yang tidak tereduksi sempurna menjadi *Reduced Graphene Oxide* (rGO).

Research has been conducted on the preparation of Reduced Graphene Oxide (rGO) by utilizing palm fiber waste from Aceh using microwave method. Palm fiber include lignocellulosic biomass in the form that has the main components of cellulose 59,6%, lignin 28,5%, crude protein 3,6%, fat 1,9%, ash 5,6%, and impurities 8%. The component of palm fiber waste can be utilized in the synthesise of rGO. Palm fiber were pretreated into active carbon. Activated carbon is heated by microwave to produce Reduced Graphene Oxide. The result of Reduced Graphene Oxidewas characterized using XRD and SEM to determine the amorphous phase and morphology. XRD analysis showed that Reduced Graphene Oxidehas more dominant amorphous phase. The largest percentage of amorphous value was obtained in the sample with a mass variation of 1 gram with a heating time of 20 minutes, which amounted on 90,82%. Then, SEM analysis showed that GO and rGO have differences morphological on the surface of the sample, where rGO has a layer formation that is thinner than GO. In this research, it can be concluded that there is still Graphene Oxide (GO) which is not completely reduced to Reduced Graphene Oxide (rGO)

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki ketersediaan terkait limbah biomassa pertanian, perkebunan, dan kehutanan yang melimpah. Limbah biomassa memiliki komponen utama lignin, selulosa, dan hemiselulosa (Hermiati dkk., 2010). Pemanfaatan selulosa dapat digunakan dalam produksi energi terbarukan berupa *biohidrogen* serta *bioetanol* (Saputra dkk., 2022). Serabut kelapa sawit termasuk biomassa lignoselulosa berupa serat yang memiliki komponen utama selulosa 59,6%, lignin 28,5%, protein kasar 3,6%, lemak 1,9%, abu 5,6% dan impurities 8% (Dahlia dkk., 2022).

Graphene adalah lapisan tunggal atom karbon datar yang dikemas rapat dalam kisi sarang lebah dua dimensi (2D) dan merupakan bahan penyusun dasar bahan grafit dari semua dimensi lainnya (Geim & Novoselov, 2007). *Graphene* mempunyai tiga turunan, yaitu grafit, GO, dan rGO. *Reduced Graphene Oxide* (rGO) merupakan salah satu nanomaterial dengan diameter ukuran partikel nano yang memiliki sifat mekanik, optoelektronik, atau konduktivitas yang menyerupai seperti *graphene*. rGO memiliki struktur heterogen terdiri dari bidang dasar seperti *graphene*, dimana memiliki *defect* (cacat) karena masuknya oksida ke dalam struktur rGO (Safitri & Kusumawati, 2020). Beberapa sumber karbon dari limbah biomassa yang dapat dimanfaatkan menjadi rGO, yaitu arang tempurung kelapa, arang kayu (Putri, 2021), tongkol jagung (Suwarno, 2022). Kandungan karbon dari serabut kelapa sawit cukup banyak, yaitu sebesar 49,6%. Namun, untuk pemanfaatan serabut kelapa sawit sebagai sumber karbon masih kurang dalam penelitian (Herawan dkk., 2013).

Sintesis dapat dilakukan dengan berbagai metode, yaitu *Chemical Vapor Decomposition* (CVD), *micromechanical exfoliation*, reduksi elektrokimia, penumbuhan epitaksial, dekomposisi termal, dan sintesis kimiawi dengan cara oksidasi (Cao & Zhang, 2015). Pratama dkk. (2021) telah mensintesis titanium oksida atau *Reduced Graphene Oxide* dari baterai bekas menggunakan metode Hummer dan Khalid termodifikasi. Pada penelitian tersebut diperoleh hasil karakterisasi SEM berupa perbedaan ketebalan permukaan material, dimana permukaan GO tampak lebih tebal dibandingkan rGO. Hal tersebut disebabkan oleh perbedaan proses reaksi yang terjadi antara kedua material (Pratama dkk., 2021). Saleh et al. (2022) telah mensintesis *Reduced Graphene Oxide* dan seng oksida dari arang tempurung kemiri menggunakan metode Hummer termodifikasi menghasilkan karakterisasi XRD pada 2θ berada pada puncak $23,9^{\circ}$ - 24° dengan kisi 3,72 (Saleh et al., 2022). Namun, diperlukan sebuah metode yang lebih mudah dalam mensintesis *Reduced Graphene Oxide*. Menurut Aimon et al. (2019), menyatakan bahwa sintesis *Reduced Graphene Oxide* dari supernatan menggunakan metode *microwave* memperoleh hasil bahwa iradiasi gelombang mikro dapat mengurangi gugus fungsi oksigen pada GO. Menurut Aryani dan Mu'awanah (2023), menyatakan bahwa sintesis *Reduced Graphene Oxide* dari grafit tereksfoliasi menggunakan metode *microwave* dan ultrasonifikasi memperoleh hasil bahwa memiliki puncak yang spesifik untuk rGO pada panjang gelombang 264 nm. Menurut Yanti dkk. (2020), menyatakan bahwa sintesis *Reduced Graphene Oxide* dari arang tempurung kelapa, memperoleh hasil karakterisasi XRD pada 2θ yang berada pada puncak 24° .

Penelitian terkait sintesis *Reduced Graphene Oxide* menggunakan bahan baku serabut kelapa sawit dengan pemanasan *microwave* masih cukup terbatas, sehingga perlu dilakukan penelitian ini untuk menambah referensi. Selain itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi *Reduced Graphene Oxide* menggunakan bahan baku serabut kelapa sawit, serta mengetahui pengaruh konsentrasi karbon aktif dan lama waktu pemanasan *microwave* dalam pembentukan *Reduced Graphene Oxide*. Prinsip kerja *microwave* adalah dengan cara menggetarkan gelombang mikro pada molekul air, lemak, maupun gula. Molekul tersebut akan menyerap energi elektromagnetik. Pergerakan molekul akan menghasilkan panas seiring dengan timbulnya gesekan antara molekul satu dengan yang lain. Oleh karena itu, pemanasan *microwave* dinilai sebagai metode sintesis yang mudah untuk dilakukan dan ramah lingkungan. GO dan rGO dilakukan analisis menggunakan metode *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *X-Ray Diffraction*. Karakterisasi SEM digunakan untuk mengetahui morfologi dari sampel, sedangkan karakterisasi XRD untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada sampel.

II. METODE

2.1 Bahan

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini meliputi serabut kelapa sawit yang telah dibentuk menjadi karbon aktif, H_2SO_4 *Sigma Aldrich* 95% sebagai aktivasi karbon aktif, H_2O sebagai pelarut karbon aktif.

2.2 Prosedur

2.2.1 Preparasi Bahan Baku

Serabut kelapa sawit dilakukan pencucian dengan *aquadest* untuk menghilangkan kotoran. Kemudian, sampel dipanaskan menggunakan oven untuk menghilangkan kadar air. Setelah itu sampel dilakukan penghalusan menggunakan blender, dan pengayakan hingga berukuran 100 mesh.

2.2.2 Preparasi Karbon Aktif

Sampel sebanyak 40 gram dilakukan aktivasi kimia dengan asam sulfat 95% (H_2SO_4 *Sigma Aldrich* 95%), selanjutnya, dilakukan penyaringan endapan berupa gel dan dinetralisasi dengan *aquadest* hingga pH 7. Kemudian, gel yang telah dinetralisasi dilakukan karbonisasi dengan furnace untuk menghasilkan karbon aktif. Sampel dilakukan pengayakan hingga berukuran 200 mesh.

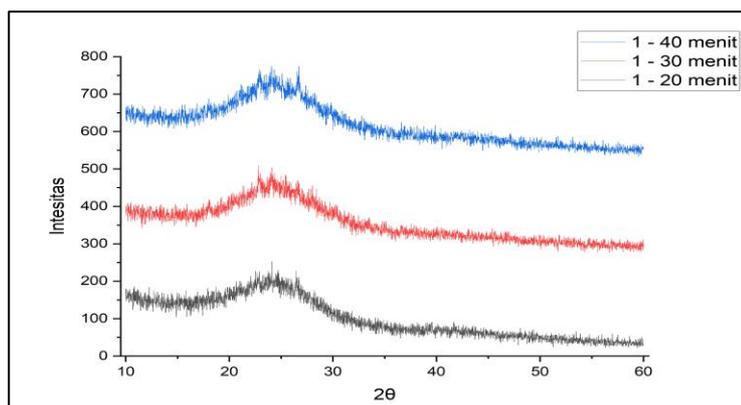
2.2.3 Preparasi *Reduced Graphene Oxide*

Karbon aktif yang dihasilkan dilarutkan ke dalam *aquades* 200 ml dengan variasi massa sampel (gram) berturut-turut sebesar 0,8; 1; dan 1,2. Kemudian, dipanaskan dengan *microwave* dengan variasi waktu pemanasan (menit) 20; 30; dan 40. Setelah dilakukan pemanasan, sampel dikeluarkan dari *microwave* dan didinginkan beberapa menit, sampel yang dihasilkan akan berupa koloid. *Reduced Graphene Oxide* yang dihasilkan selanjutnya dipanaskan menggunakan *hot plate* hingga menjadi kerak kering. Setelah itu, sampel dilakukan pengujian XRD untuk mengetahui fasa sampel dan pengujian SEM untuk mengetahui morfologi dari sampel.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD)

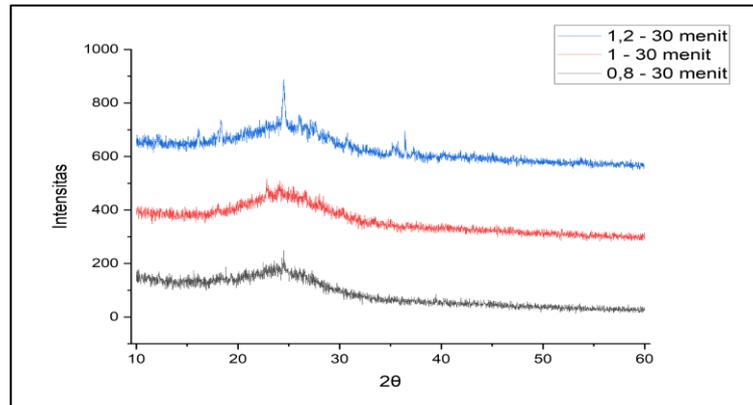
Pengujian XRD dilakukan pada *Reduced Graphene Oxide* (rGO) bertujuan untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada sampel diperoleh hasil sebagai berikut.



Gambar 1 Pola XRD dari rGO dengan Variasi Waktu Pemanasan Microwave

Gambar 1 menunjukkan pola XRD dari sampel rGO dengan variasi waktu pemanasan microwave. Berdasarkan pola XRD dengan variasi waktu pemanasan microwave pada variasi waktu 30 menit didapatkan puncak $22,84^\circ$, sedangkan pada waktu pemanasan 20 menit; dan 40 menit terlihat adanya puncak tajam secara berturut-turut pada $24,09^\circ$; $26,73^\circ$ yang mengkonfirmasi keberhasilan terbentuknya rGO telah sesuai dengan hasil penelitian dari Rahayu dkk. (2017) yang menandakan puncak-puncak utama sampel rGO. Berdasarkan, penelitian sebelumnya menyatakan rGO memiliki puncak pada sudut 2θ pada rentang $24-28^\circ$ dan GO pada rentang $11-12^\circ$ (Moosa & Abed, 2021) (Rahayu dkk., 2017). Oleh karena itu, sampel rGO yang dihasilkan tidak murni. Namun, pada penelitian Febriani dkk. (2023), menyatakan bahwa masih terdapat GO pada rGO dikarenakan waktu pemanasan yang

kurang lama, dimana jarak pada bidang kristal semakin besar. Apabila waktu pemanasan microwave semakin meningkat, maka jarak pada bidang kristal akan semakin kecil, menurunnya jarak bidang kristal dapat dikatakan semakin berstruktur kristalin (Febriani dkk., 2023). Kemudian, semakin lama waktu pemanasan ketebalan susunan rGO akan semakin menurun, dan akan mengubah susunan GO menjadi rGO. Berdasarkan penelitian Nayanajith et al. (2022), menyatakan bahwa puncak XRD mengalami penurunan intensitas dengan pelebaran puncak seiring dengan meningkatnya waktu pemanasan *microwave*. Hal ini disebabkan oleh penghilangan fungsi oksigen dan kristalinitas yang terjadi karena pengelupasan lapisan GO.



Gambar 2 Pola XRD dari rGO dengan Variasi Massa Karbon Aktif pada Waktu Pemanasan yang Sama

Gambar 2 menunjukkan pola XRD dari sampel rGO dengan variasi massa karbon aktif. Berdasarkan pola XRD yang didapatkan dengan variasi massa karbon aktif secara berturut-turut sebesar 0,8; 1; dan 1,2 gram terlihat adanya puncak tajam pada $24,54^\circ$; $24,18^\circ$; dan $24,54^\circ$ yang mengkonfirmasi keberhasilan terbentuknya rGO, serta puncak pada $10,53^\circ$. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian dari Setiadji dkk. (2018), yang menyatakan bahwa puncak-puncak utama rGO terletak pada $25,95^\circ$ dan GO terletak pada $10,63^\circ$ (Setiadji dkk., 2018). Selain itu, pada Gambar 2. juga menunjukkan adanya puncak di sekitar $10,55^\circ$ - $18,06^\circ$. Berdasarkan penelitian sebelumnya, Park et al. (2011) dan Geim & Novoselov (2007), menyebutkan bahwa rGO memiliki puncak pada sudut 2θ pada rentang 24 - 28° dan GO pada rentang 10 - 12° (Park et al., 2011). Oleh karena itu, sampel rGO yang dihasilkan tidak sepenuhnya murni rGO. Namun, pada penelitian terdapat fasa karbon GO yang disebabkan oleh pemanasan *microwave* yang tidak merata. Pengaruh massa karbon aktif terhadap tingkat terbentuknya rGO berdasarkan pola XRD yang dihasilkan adalah memiliki kecenderungan semakin menurun dikarenakan adanya aglomerasi (gumpalan) partikel karbon aktif sehingga mengurangi *surface area* antara karbon aktif dengan gelombang *microwave* dalam menghasilkan rGO. Berdasarkan penelitian Isro (2023), menyatakan bahwa pengaruh massa karbon aktif terhadap karakteristik yang dihasilkan serupa dengan hasil penelitian ini, yaitu semakin banyak massa karbon aktif yang ditambahkan maka semakin banyak aglomerasi yang terjadi (Isro, 2023).

Tabel 1 Persentase Fasa Kristalin dan Amorf *Reduced Graphene Oxide*

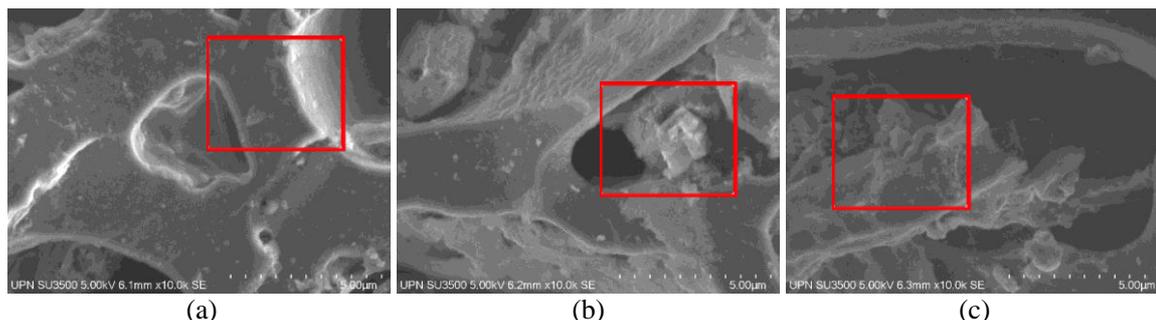
Nama Sampel	Amorf (%)	Kristalin (%)
0,8-S-30	82,89	17,11
1-S-20	90,82	9,18
1-S-30	82,77	17,23
1-S-40	85,35	14,65
1,2-S-30	84,29	15,71

Analisis selanjutnya yang dilakukan pada sampel rGO yang dipreparasi adalah persentase *amorf* dan kristalinitas dari sampel dengan menunjukkan data XRD. Analisis tersebut penting untuk dilakukan karena dapat diketahui dari Tabel 1. menunjukkan bahwa *Reduced Graphene Oxide* memiliki fase amorf yang lebih dominan. Hal tersebut disebabkan oleh material awal yang digunakan merupakan karbon aktif dari serabut kelapa sawit yang berbentuk amorf sehingga *Reduced Graphene Oxide* yang dihasilkan juga akan berbentuk amorf. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Sjahriza & Herlambang

(2021), yang menyatakan bahwa perbedaan derajat kristalinitas pada sampel dipengaruhi oleh ukuran kristal, dimana semakin besar ukuran kristal maka derajat kristalinitas akan semakin tinggi. Derajat kristalinitas adalah perbandingan antara fase kristal dan amorf pada suatu material (Sjahriza & Herlambang, 2021). Berdasarkan penelitian (Febriani dkk., 2023), menyatakan bahwa jarak pada bidang kristal akan semakin kecil apabila waktu pemanasan *microwave* semakin meningkat, dimana menurunnya jarak bidang kristal dapat dikatakan bahwa material tersebut semakin berstruktur kristalin (Febriani dkk., 2023).

3.2 Analisis Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengujian SEM dilakukan pada *Reduced Graphene Oxide* (rGO) bertujuan untuk mengetahui morfologi pada sampel diperoleh hasil sebagai berikut.



Gambar 3 (a) Hasil SEM rGO 1 gram 30 menit (b) Hasil SEM rGO 0,8 gram 30 menit (c) Hasil SEM rGO 1,2 gram 30 menit

Gambar 3 (a)-(c) menunjukkan morfologi permukaan rGO dengan variasi massa dan waktu pemanasan *microwave*. Gambar 3 (a)-(b) terbentuk lembaran dan beberapa gumpalan. Gambar 3 (c) terbentuk bola-bola kecil dengan jumlah sedikit dan lembaran. Lembaran permukaan rGO ini sesuai dengan hasil penelitian Fauzi & Dwandaru (2021). Permukaan rGO menunjukkan lekukan yang lebih kusut menyerupai gumpalan (Gambar 3 a-b). Hal ini menandakan bahwa lembaran rGO lebih tipis daripada GO sehingga permukaannya lebih mudah untuk tergulung dan lebih kusut. Lekukan yang kusut pada permukaan rGO ini terjadi karena rasio permukaan dan volume pada rGO lebih tinggi daripada GO (Janowska et al., 2010). Kekusutan pada permukaan rGO disebabkan oleh berkurangnya gugus fungsional oksigen akibat proses reduksi oleh gelombang mikro. Berdasarkan penelitian Febriani dkk. (2023), menyatakan bahwa pengaruh variasi waktu pemanasan *microwave* dapat menghasilkan lembaran tipis, dimana pengelupasan rGO lebih mudah diidentifikasi dibandingkan dengan metode tanpa pemanasan *microwave*. Berdasarkan penelitian Nayanajith et al. (2022) menyatakan bahwa morfologi rGO menunjukkan struktur seperti lembaran fleksibel *ultrathin* yang sebagian terkelupas, dimana lapisan rGO sebagian terlepas karena kecenderungan untuk melepaskan diri pada reduksi.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini telah membuktikan keberhasilan sintesis rGO menggunakan metode *microwave* berdasarkan data pengujian XRD dan SEM. Pada uji XRD diperoleh hasil bahwa *Reduced Graphene Oxide* memiliki fasa amorf yang lebih dominan. Persentase nilai amorf terbesar didapatkan pada sampel dengan variasi massa 1gram dengan lama waktu pemanasan 20 menit yaitu sebesar 90,82%. Pada analisis SEM terhadap GO dan rGO menunjukkan perbedaan morfologi pada permukaan sampel, dimana *Reduced Graphene Oxide* (rGO) memiliki bentuk lembaran yang lebih tipis daripada *Graphene Oxide* (GO). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa masih terdapat *Graphene Oxide* (GO) yang tidak tereduksi sempurna menjadi *Reduced Graphene Oxide* (rGO)

DAFTAR PUSTAKA

Aimon, A. H., Hidayat, R., Rahmawati, D., Sutarto, R., Permatasari, F. A., & Iskandar, F. (2019). Facile Deposition of Reduced *Graphene Oxide*-Based Transparent Conductive Film with Microwave Assisted Method. *Thin Solid Films*, 692, 137618. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2019.137618>

- Aryani, T., & Mu'awanah, I. A. U. (2023). Kajian Awal Sintesis Reduced *Graphene Oxide* (rGO) Metode Iradiasi Microwave dan Ultrasonikasi. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 6(8), 1055–1060. <https://doi.org/10.56338/jks.v6i8.3623>
- Cao, N., & Zhang, Y. (2015). Study of Reduced *Graphene Oxide* Preparation by Hummers' Method and Related Characterization. *Journal of Nanomaterials*, 1–5. <https://doi.org/10.1155/2015/168125>
- Dahlia, Kurniawan, E., Ginting, Z., Ishak, & Dewi, R. (2022). Pemanfaatan Limbah Serabut Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) sebagai Sumber Energi Alternatif dalam Pembuatan Biopellet. *Chemical Engineering Journal Storage*, 2(2), 11–24. <https://doi.org/10.29103/cejs.v2i2.6013>
- Fauzi, F., & Dwandaru, W. S. B. (2021). Analisis Karakteristik *Graphene Oxide* dan Reduksinya melalui Gelombang Mikro. *Jurnal Fisika*, 11(1), 9–18. <https://doi.org/10.15294/jf.v11i1.28136>
- Febriani, S. T., Jumiati, E., & Husnah, M. (2023). Analisis Struktur Karakterisasi XRD dan SEM pada Reduced *Graphene Oxide* (rGO) Limbah Ban. *Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia*, 20(1), 49–54. <https://doi.org/10.31258/jkfi.20.1.49-54>
- Geim, A. K., & Novoselov, K. S. (2007). The Rise of Graphene. *Nature Materials*, 6(1), 183–191. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-70329-9>
- Herawan, S. G., Hadi, M. S., Ayob, M. R., & Putra, A. (2013). Characterization of Activated Carbons from Oil-Palm Shell by CO₂ Activation with No Holding Carbonization Temperature. *The Scientific World Journal*, 1, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2013/624865>
- Hermiati, E., Mangunwidjaja, D., Candra Sunarti, T., & Suparno, O. (2010). Pemanfaatan Biomassa Lignoselulosa Ampas Tebu untuk Produksi Bioetanol. *Jurnal Litbang Pertanian*, 29(4), 121–130.
- Isro, A. (2023). Optimasi DSPE Berbasis Graphene Oxide (GO) dari Limbah Kulit Singkong dalam Penentuan Residu Antibiotik Ciprofloxacin. Universitas Lampung.
- Janowska, I., Chizari, K., Ersen, O., Zafeiratos, S., Soubane, D., da Costa, V., Speisser, V., Boeglin, C., Houllé, M., Bégin, D., Plee, D., Ledoux, M. J., & Pham-Huu, C. (2010). Microwave Synthesis of Large Few-Layer Graphene Sheets in Aqueous Solution of Ammonia. *Nano Research*, 3(2), 126–137. <https://doi.org/10.1007/s12274-010-1017-1>
- Moosa, A. A., & Abed, M. S. (2021). Graphene preparation and graphite exfoliation. *Turkish Journal of Chemistry*, 45(3), 493–519. <https://doi.org/10.3906/kim-2101-19>
- Nayanajith, L. D. C., De Silva, R. C. L., Rosa, S. R. D., & Kottegoda, I. R. M. (2022). Optimization of Oxidation Time of Kahatagaha Vein Graphite and Reduction Time of Microwave Assisted Hydrothermal Reduction of Kahatagaha *Graphene Oxide*. *Sri Lankan Journal of Physics*, 23(2), 77–92. <https://doi.org/10.4038/sljp.v23i2.8125>
- Park, S., An, J., Potts, J. R., Velamakanni, A., Murali, S., & Ruoff, R. S. (2011). Hydrazine-Reduction of Graphite- and *Graphene Oxide*. *Carbon*, 49(9), 3019–3023. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2011.02.071>
- Pratama, A., Destiarti, L., & Adhitiyawardman, A. (2021). Sintesis Titanium Oksida/Reduced *Graphene Oxide* (TiO₂/rGO) untuk Fotokatalisis Bahan Pewarna Metilen Biru. *Positron*, 11(1), 31–37. <https://doi.org/10.26418/positron.v11i1.45355>
- Putri, N. A. (2021). *Sintesis Reduced Graphene Oxide (rGO) dengan Metode Hummer Termodifikasi*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Rahayu, P., Putri, N. P., & Rohmawati, L. (2017). Karakteristik Reduced *Graphene Oxide* (rGO) Berbahan Dasar Limbah Batang Padi. *Jurnal Sains & Matematika*, 6(1), 26–31.
- Safitri, R. F., & Kusumawati, D. H. (2020). Review: Aplikasi Bahan Komposit Berbasis Reduced *Graphene Oxide* (rGO). *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 9(2), 93–104. <https://doi.org/10.26740/ifi.v9n2.p93-104>
- Saleh, A., Amhadin, F. A., & Novianty, I. (2022). Synthesis of Reduced *Graphene Oxide* and Zinc Oxide Composite From Candlenut Shell Charcoal (*Aleurites moluccana*). *Journal of Islamic Science and Technology*, 8(1), 1–11. <https://doi.org/10.22373/ekw.v8i1.9405>
- Saputra, B. Y. E., Fahmi, M. F., & Widjaja, T. (2022). Fraksinasi Lignoselulosa dari TKKS dengan Metode Steam Explosion Pretreatment Disertai Penambahan Asam Formiat. *Jurnal Teknik ITS*, 11(2), 67–72. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v11i2.89395>

- Setiadji, S., Nuryadin, B. W., Ramadhan, H., Sundari, C. D. D., Sudiarti, T., Supriadin, A., & Ivansyah, A. L. (2018). Preparation of reduced *Graphene Oxide* (rGO) assisted by microwave irradiation and hydrothermal for reduction methods. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 434(1), 1–9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/434/1/012079>
- Sjahriza, A., & Herlambang, S. (2021). Sintesis Oksida Grafena dari Arang Tempurung Kelapa Untuk Aplikasi Antibakteri dan Antioksidan. *Jurnal Ilmu Kimia Dan Terapan*, 8(2), 51–58. <https://doi.org/10.15575/ak.v8i2.13473>
- Suwarno, A. S. W. (2022). Sintesis dan Karakterisasi Reduced Graphene Oxide (rGO) dari Limbah Tongkol Jagung Menggunakan Metode Hummers Modifikasi. Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
- Yanti, D. R., Hikmah, U., Prasetyo, A., & Hastuti, E. (2020). The Effect of Microwave Irradiation on Reduced *Graphene Oxide* from Coconut Shells. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 456(1), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/456/1/012008>