



Inovasi pupuk KNO_3 *slow release* berbasis film grafena oksida limbah tempurung kelapa

Ahmad Ali Muckharom¹, Risma Aimatul Qudsiyah¹, Davina Maritza Nastiti¹, Heri Sutanto

¹ Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang 50275, Indonesia.

*Correspondence: herisutanto@live.undip.ac.id

Tanggal Disetujui: 31 Agustus, 2024

ABSTRACT

Background: As a country with an extensive agricultural sector, the use of fertilizers plays a crucial role. Inorganic fertilizers such as KNO_3 are commonly used; however, excessive application leads to the accumulation of inorganic residues in the soil. Therefore, fertilizers that allow for controlled nutrient release are highly needed, one of which is through encapsulation using graphene oxide (GO). **Methods:** This study aims to synthesize GO and examine its characteristics for encapsulating KNO_3 fertilizer. Coconut shell waste was used as the raw material for producing GO, synthesized through the Hummers method with variations in the graphite mass derived from coconut shell. **Findings:** FTIR analysis confirmed the presence of O–H, C–H, and C=C bonds. TEM characterization revealed a thin morphology, indicating oxidation during the formation of graphene oxide. AAS tests showed that the release of KNO_3 from the graphene oxide reached a maximum of 93.8% after 8 hours. This fertilizer is intended to address the issue of low absorption rates of macronutrients by plants. **Conclusion:** This study demonstrates that graphene oxide synthesized from coconut shell waste can effectively encapsulate KNO_3 fertilizer, enabling controlled nutrient release of up to 93.8% after 8 hours. **Novelty:** The novelty of this study lies in the utilization of coconut shell waste as a graphite source for synthesizing graphene oxide for the encapsulation of KNO_3 fertilizer, offering the potential to improve nutrient uptake efficiency in plants.

KEYWORDS: graphene oxide; KNO_3 fertilizer; *slow release*.

ABSTRAK

Latar Belakang: Sebagai negara dengan sektor pertanian yang luas, penggunaan pupuk menjadi faktor penting. Pupuk anorganik seperti KNO_3 menjadi opsi namun penggunaan pupuk yang berlebihan mengakibatkan terjadinya akumulasi residu anorganik. Penggunaan pupuk yang dapat melepas unsur hara yang terkontrol sangat diperlukan, salah satunya dengan enkapsulasi dengan GO. **Metode:** Riset ini bertujuan untuk sintesis GO dan mengetahui karakteristiknya sebagai enkapsulasi pupuk KNO_3 . Limbah tempurung kelapa digunakan sebagai bahan dasar pembuatan GO yang disintesis dengan metode Hummer dengan variasi massa grafit tempurung kelapa. **Temuan:** Hasil FTIR yang diperoleh dalam riset ini terdeteksi ikatan O–H, ikatan C–H, dan ikatan C=C. Pada karakterisasi TEM diperoleh hasil morfologi tipis yang menunjukkan adanya proses oksidasi dalam pembentukan grafena oksida. Pada uji coba AAS, menunjukkan bahwa pelepasan KNO_3 dari grafena oksida maksimal setelah 8 jam dengan presentase 93,8%. Pupuk ini akan digunakan dalam penyelesaian masalah rendahnya tingkat penyerapan tanaman terhadap unsur hara makro yang terdapat di dalam pupuk. **Kesimpulan:** Penelitian ini menunjukkan bahwa grafena oksida hasil sintesis dari limbah tempurung kelapa mampu mengenkapsulasi pupuk KNO_3 dengan efektif, ditandai oleh pelepasan unsur hara secara terkontrol hingga 93,8% setelah 8 jam. **Kebaruan Penelitian:** Kebaruan dari penelitian ini terletak pada pemanfaatan limbah tempurung kelapa sebagai sumber grafit dalam sintesis grafena oksida untuk enkapsulasi pupuk KNO_3 , yang berpotensi meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara oleh tanaman.

KATA KUNCI: grafena oksida; pupuk KNO_3 ; *slow release*.

Cite This Article:

Muckharom, A. A., Qudsiyah, R. A., Nastiti, D. M., & Sutanto, H. (2024). Inovasi pupuk KNO_3 *slow release* berbasis film grafena oksida limbah tempurung kelapa. *Humans and Chemical Regimes*, 1(2), 37–44. <https://doi.org/10.61511/hcr.v1i2.1267>

Copyright: © 2024 by the authors. This article is distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



1. Pendahuluan

Perkembangan sektor pertanian di Indonesia dengan luas lahan mencapai 7,46 juta hektar menjadi salah satu faktor penting dalam pertumbuhan ekonomi (Hikmat et al., 2023). Namun, tidak semua lahan pertanian di Indonesia memiliki tingkat kesuburan yang sama dan cocok untuk segala jenis tanaman. Oleh karena itu, penggunaan pupuk menjadi sangat penting untuk meningkatkan produktivitas pertanian. Hal ini dibuktikan bahwa penggunaan pupuk di Indonesia juga semakin meningkat yaitu mencapai 16 juta ton atau 2,4% tiap tahunnya (Khairani et al., 2022). Umumnya, petani menggunakan jenis pupuk anorganik karena memiliki harga yang relatif murah dan terbatasnya produksi pupuk organik saat ini.

Salah satu jenis pupuk anorganik yaitu pupuk KNO_3 yang memiliki kandungan unsur hara, berupa nitrogen, fosfor, dan kalium (Mahajan et al., 2020). Pupuk KNO_3 sudah banyak digunakan dan terbukti memiliki manfaat yang baik bagi tanaman. Hal ini karena kandungan dalam pupuk KNO_3 menjadi faktor penting untuk memenuhi kebutuhan nutrisi pada tanaman (Marwan Abdulazeez et al., 2018). Namun, pemanfaatan pupuk KNO_3 yang berlebihan dapat mengakibatkan kualitas tanah menurun dan tanah tidak dapat menerima unsur hara karena akumulasi residu anorganik yang sulit didekomposisi secara alami (Dhillon et al., 2021). Oleh karena itu, dibutuhkan pupuk yang dapat melepas unsur haranya sesuai dengan penyerapan unsur hara oleh tanaman.

Slow Release Fertilizer (SRF) merupakan salah satu pupuk yang mampu meningkatkan efisiensi serapan nutrisi dari pupuk (Hamzah et al., 2019). Kelebihan dari penggunaan pupuk SRF yaitu mengurangi pencemaran lingkungan dan menghemat konsumsi pupuk (Azizah et al., 2021). Pelepasan nutrisi dari pupuk SRF dapat diatur sehingga nutrisi pupuk tidak cepat larut dalam air, di mana hal ini dapat dilakukan dengan cara enkapsulasi perlindungan dari bahan semipermeabel atau bahan berpori yang *permeable* (Noor et al., 2022). Enkapsulasi merupakan cara untuk membuat SRF melalui pelapisan butiran pupuk konvensional dengan bahan yang memiliki kemampuan memperlambat laju disolusi. Hal ini membuktikan bahwa tingkat laju disolusi dari pupuk dipengaruhi oleh bahan pelapisnya. Salah satu bahan yang digunakan dalam pembuatan SRF adalah grafena oksida. Riset yang dilakukan oleh Kabiri et al. (2017) menunjukkan bahwa grafena oksida dapat menjadi *carrier* baru bagi nutrient, menghasilkan pelepasan yang lambat dan pengiriman mikronutrien yang berkelanjutan seperti Zn dan Cu.

Grafena oksida merupakan material dua dimensi dari karbon tunggal dengan gugus hidroksil, asetil, dan epoksi yang terdapat di permukaan grafena. Material ini dapat dihasilkan melalui proses sintesis material grafit (Honorisat et al., 2020). Grafena oksida biasa digunakan sebagai adsorben karena memiliki kandungan gugus fungsi oksigen dan luas permukaan yang tinggi (Kabiri et al., 2017). Karbon aktif dibuat dari bahan alam yang memiliki kandungan karbon, seperti batubara, lignin, kayu, dan tempurung kelapa. Tempurung kelapa memiliki sumber karbon yang berasal dari senyawa organik yang dikandungnya, seperti selulosa, lignin, dan hemiselulosa (Darianto et al., 2019). Arang tempurung kelapa dapat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan grafit karena memiliki kandungan karbon yang melimpah. Arang tempurung kelapa memiliki kemampuan untuk menyuburkan tanah sehingga kualitas produktivitas sektor pertanian akan semakin meningkat (Putri et al., 2023).

Beberapa metode yang pernah digunakan dalam sintesis grafena oksida seperti metode Staudenmaier dan metode Brodie menggunakan kalium klorat dan asam menghasilkan senyawa toksik berupa gas ClO_2 (Syakir et al., 2015). Selain bersifat toksik, sintesis dengan metode Brodie menghasilkan grafena oksida yang mudah terdispersi dalam larutan basa dan strukturnya tidak sempurna, sedangkan metode Staudenmaier membutuhkan proses sintesis yang lama dan terdapat resiko timbulnya ledakan (Cardoso et al., 2019). Salah satu metode yang paling efektif adalah metode Hummer karena sifatnya yang *eco-friendly*, tidak mengeluarkan gas berbahaya ClO_2 serta produk yang dihasilkan menghasilkan tingkat derajat oksidasi yang lebih tinggi (Cardoso et al., 2019; Umar et al., 2022). Dari permasalahan di atas maka diperoleh inovasi riset untuk menggunakan grafena oksida dari

limbah tempurung kelapa sebagai pupuk lepas lambat atau *Slow Release Fertilizer* (SRF). Dengan adanya inovasi ini diharapkan tingkat produktivitas pertanian akan semakin baik dan permasalahan lingkungan dapat teratasi.

2. Metode

2.1 Sintesis grafit dari limbah tempurung kelapa

Proses sintesis grafit dari tempurung kelapa dilakukan melalui proses karbonasi. Proses karbonasi dilakukan dengan memasukkan sampel 100 gram tempurung kelapa yang sudah dikeringkan ke dalam tungku pemanas. Kemudian dilakukan pembakaran selama 1 jam pada suhu 1000°C. Setelah proses pemanasan selesai arang tempurung kelapa didinginkan dan ditimbang, lalu arang dihaluskan lalu ditimbang ulang.

2.2 Sintesis grafit oksida

Grafit oksida disintesis dengan menggunakan metode *Hummer* yaitu dengan melarutkan grafit dengan variasi 0,5 gram, 1 gram, dan 1,5 gram dalam H₂SO₄ 98% dan diaduk dalam *ice bath* 0-5°C selama 2 jam. Selanjutnya ditambahkan NaNO₃ dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam. Lalu sampel diaduk selama 24 jam pada suhu ruang dan ditambahkan aquades secara perlahan-lahan kemudian dilanjutkan pengadukan selama 1 jam. Tambahan aquades dan H₂O₂ 30% kemudian *centrifuge* sampai seluruh sampel mengendap. Terakhir, sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 12 jam.

2.4 Sintesis grafena oksida

Grafit Oksida hasil sintesis dimasukkan ke dalam botol vial dan ditambahkan aquades dengan perbandingan 1:1. Kemudian sonikasi selama 90 menit dan dilanjutkan dengan *centrifuge* sampai seluruh sampel mengendap. Terakhir, sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 12 jam.

2.5 Pembuatan lapisan grafena oksida

Grafena oksida dilarutkan dalam aquades sebanyak 20 mL dan disonikasi selama 2 jam. Lalu, grafena oksida disaring dan dikeringkan pada suhu ruang. Pupuk KNO₃ dicampur ke dalam grafena oksida yang ditambahkan sedikit air dan dimasukkan ke dalam oven pada suhu 90°C selama 6 jam. Terakhir, sampel diambil dan didinginkan pada suhu ruang serta diuji coba.

2.6 Uji pelepasan pupuk KNO₃ tersalut grafena

Sampel dimasukkan ke dalam botol yang berisi 100 mL aquades dan disimpan dalam inkubator dengan suhu 25°C. Kemudian sampel sebanyak 2 mL pada rentang waktu tertentu (0,5 dan 1 jam) dan dicampur dengan 2 mL air lalu suntikkan pada botol vial. Terakhir, uji kandungan kalium yang ada pada sampel menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*).

2.7 Karakterisasi dan pengujian

Karakterisasi grafena oksida yang dilakukan dalam riset ini meliputi uji *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada grafena oksida, uji *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengukur derajat kristalinitas dan fase kristalin pada grafena, uji *Transmission Electron Microscope* (TEM) untuk mengetahui proyeksi 2D dari sampel pupuk KNO₃ tersalut grafena oksida, serta dilakukan pengujian *Atomic Absorbtion*

Spectrophotometry (AAS) untuk mengetahui kandungan kalium pada pupuk yang tersalut grafena oksida.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Hasil FTIR

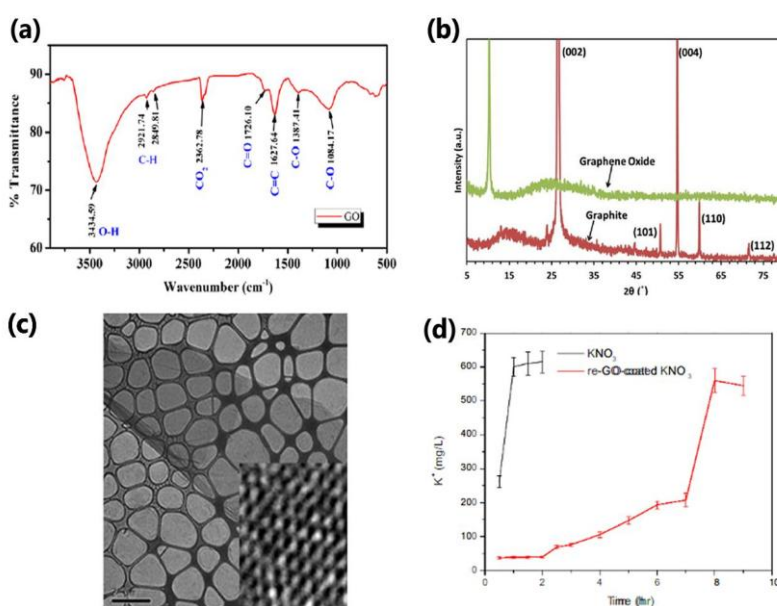
Spektroskopi FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang ada pada sampel. Berbagai konfigurasi oksigen dalam struktur termasuk mode getaran epoksida, sesuai dengan Gambar 3(a) (C-O-C) ($1230\text{--}1320\text{ cm}^{-1}$), C=C hibrida sp^2 ($1500\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$), karboksil (COOH) ($1650\text{--}1750\text{ cm}^{-1}$ termasuk vibrasi C-OH pada 3530 dan 1080 cm^{-1}), Spesies Ketonik (C=O) ($1600\text{--}1650\text{ cm}^{-1}$, $1750\text{--}1850\text{ cm}^{-1}$) dan hidroksil yaitu fenol, C-OH ($3050\text{--}3800\text{ cm}^{-1}$ dan 1070 cm^{-1}) dengan semua getaran C-OH dari COOH dan H_2O .

3.2 Hasil XRD

Tujuan dilakukan karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) yaitu untuk mengetahui fase kristal yang terkandung dalam grafena oksida. Gambar 3(b) merupakan tampilan dari hasil XRD grafena oksida. Gambar di atas menunjukkan pola XRD grafit dan grafena oksida. Puncak-puncak yang diindeks pada (101) pada $50,68^\circ$, (004) pada $54,62^\circ$, (110) pada $59,84^\circ$, dan (112) pada $71,56^\circ$ menunjukkan struktur kristal grafit. Puncak (002) grafit yang dapat dibedakan pada $26,56^\circ$ memiliki jarak antar bidang, d_{002} , sebesar $0,334\text{ nm}$. Hal ini menunjukkan bahwa grafit merupakan material karbon yang sangat stabil dan sangat berorientasi. Sementara itu, pola XRD grafena oksida menunjukkan puncak yang intens dan tajam yang berpusat pada $10,24^\circ$ yang sesuai dengan jarak antar bidang $0,80\text{ nm}$. Peningkatan jarak interplanar grafena oksida disebabkan oleh adanya gugus fungsi oksigen dan beberapa kerusakan struktur.

3.3 Hasil TEM

Tujuan dilakukan uji TEM adalah untuk mengetahui proyeksi 2D dari sampel pupuk KNO_3 tersalut grafena oksida.



Gambar 3 (a) Hasil FTIR; (b) Hasil Karakterisasi XRD (c) Hasil TEM (d) Hasil Uji AAS Pelepasan Pupuk KNO_3 Tersalut Grafena Oksida (Hanson et al., 2015)

Gambar 3(c) menunjukkan hasil TEM dari sampel grafena oksida. Gambar TEM menunjukkan potongan-potongan besar lembaran grafena oksida dengan ukuran minimal 10 nm. Dimana pola cincin bersama dengan pola titik simetri heksagonal terlihat jelas. Pola cincin menunjukkan berbagai orientasi lembaran grafena oksida karena kerutan dan pelipatan lapisan grafena oksida atau tumpeng tindih dengan lapisan grafena oksida yang berbeda, sedangkan pola titik mencerminkan keberadaan domain kristal Tunggal utama yang terdiri dari karbon sp-hibridasi yang tersusun dalam kisi heksagonal. Hasil di atas menegaskan bahwa grafena oksida yang tereduksi dengan baik yang terbentuk pada pupuk KNO_3 dapat berupa lembaran grafena dengan sedikit atau banyak lapisan.

3.4 Pelepasan pupuk KNO_3 tersalur grafena oksida

Pada grafik, Ck^+ menunjukkan konsentrasi ion kalium dalam elutrien. Hal ini menunjukkan bahwa laju pelepasan kalium terjadi pada tahap yang berbeda. Ketika lembaran grafena oksida digunakan sebagai pelapis untuk menunda seluruh proses pelepasan. Pada tahap awal dari 0 hingga 7 jam, laju pelepasan relatif lambat dibandingkan dengan tahap lainnya, selama tahap ini, hanya sekitar 34,5% ion kalium yang dilepaskan di dalam air. Hal ini dapat dikaitkan dengan lambatnya difusi air melalui cangkang dan masuk ke dalam inti KNO_3 yang dilapisi grafena oksida untuk membentuk saluran pelepasan ion kalium yang dienkapsulasi dalam lembaran grafena oksida. Pelepasan ion kalium terjadi pada tahap 7 hingga 8 jam, setelah itu sekitar 93,8% kalium dilepaskan dari pupuk.

4. Kesimpulan

Grafena oksida berhasil disintesis dari limbah tempurung kelapa menggunakan metode Hummer, yang melibatkan penambahan kalium permanganat pada larutan grafit, natrium nitrat, dan asam sulfat. Karakterisasi FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi oksigen dalam struktur, termasuk getaran epoksida (C-O-C), C=C hibrida sp^2 , karboksil (COOH), spesies ketonik (C=O), dan hidroksil, sedangkan analisis XRD mengungkapkan pola puncak intens pada sudut $10,24^\circ$, dengan jarak antar bidang 0,80 nm. Hasil TEM menunjukkan grafena oksida yang tereduksi dengan baik pada pupuk NPK membentuk lembaran grafena dengan berbagai lapisan. Efektivitas pelepasan kalium oleh grafena oksida menunjukkan pelepasan yang relatif lambat pada tahap awal (0-7 jam) dengan hanya 34,5% ion kalium yang dilepaskan, namun meningkat drastis hingga 93,8% pada jam ke-8. Kesimpulannya, grafena oksida dari limbah tempurung kelapa memiliki potensi besar sebagai material dalam pelepasan hara kalium secara terkendali pada pupuk NPK.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada BEM Fakultas Pertanian Universitas Tidar atas penyelenggaraan Lomba Karya Ilmiah Nasional 2024. Dukungan dan dedikasi mereka telah memberikan peluang berharga untuk pengembangan akademik dan kolaborasi, yang sangat berkontribusi terhadap penyelesaian manuskrip ini.

Kontribusi Penulis

Semua penulis berkontribusi penuh atas penulisan artikel ilmiah ini.

Pendanaan

Penelitian ini tidak menerima pendanaan eksternal.

Pernyataan Dewan Peninjau Etis

Tidak berlaku.

Pernyataan *Informed Consent*

Tidak berlaku.

Pernyataan Ketersediaan Data

Tidak berlaku.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

Akses Terbuka

©2024. Artikel ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution 4.0, yang mengizinkan penggunaan, berbagi, adaptasi, distribusi, dan reproduksi dalam media atau format apa pun selama Anda memberikan kredit yang sesuai kepada penulis asli dan sumbernya, berikan tautan ke lisensi Creative Commons, dan tunjukkan jika ada perubahan. Gambar atau materi pihak ketiga lainnya dalam artikel ini termasuk dalam lisensi Creative Commons artikel tersebut, kecuali dinyatakan lain dalam batas kredit materi tersebut. Jika materi tidak termasuk dalam lisensi Creative Commons artikel dan tujuan penggunaan Anda tidak diizinkan oleh peraturan perundang-undangan atau melebihi penggunaan yang diizinkan, Anda harus mendapatkan izin langsung dari pemegang hak cipta. Untuk melihat salinan lisensi ini, kunjungi: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Daftar Pustaka

- Azizah, A. N., Widyasunu, P., & Rokhminarsi, E. (2021). Uji Pupuk Slow Release Urea Dirakit dari Berbagai Bahan Polimer terhadap Pertumbuhan dan Hasil Bawang Merah Tiron pada Tanah Sawah Purwosari. *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, 2, 53–60. <https://doi.org/10.30595/pspfs.v2i.167>
- Cardoso, C. E., Almeida, J. C., Lopes, C. B., Trindade, T., Vale, C., & Pereira, E. (2019). Recovery of rare earth elements by carbon-based nanomaterials—a review. *Nanomaterials*, 9(6), 814. <https://doi.org/10.3390/nano9060814>
- Darianto, D., Siregar, A., Umroh, B., & Kurniadi, D. (2019). Simulasi Kekuatan Mekanis Material Komposit Tempurung Kelapa Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy*, 3(1), 39. <https://doi.org/10.31289/jmemme.v3i1.2443>
- Dhillon, B. S., Kumar, V., Sagwal, P., Kaur, N., Singh Mangat, G., & Singh, S. (2021). Seed priming with potassium nitrate and gibberellic acid enhances the performance of dry direct seeded rice (*Oryza sativa* L.) in north-western india. *Agronomy*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/agronomy11050849>
- Hamzah, M., Eryanti, K., Fitriani, D. A., & Astuti, D. (2019). Pembuatan granul slow release fertilizer menggunakan lateks-kitosan sebagai bahan binder alami yang ramah lingkungan. *Cakra Kimia Indonesia E-Journal Of Applied Chemistry*, 7(1), 12-19. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/cakra/article/view/51311>
- Hikmat, M., Hati, D. P., Pratamaningsih, M. M., & Sukarman, S. (2023). Kajian Lahan Kering Berproduktivitas Tinggi di Nusa Tenggara untuk Pengembangan Pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 16(2), 119. <https://doi.org/10.21082/jsdl.v16n2.2022.119-133>
- Honorisal, M. B. P., Huda, N., Partuti, T., & Sholehah, A. (2020). Sintesis dan karakterisasi grafena oksida dari tempurung kelapa dengan metode sonikasi dan hidrotermal. *Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 16(1), 1. <https://doi.org/10.36055/tjst.v16i1.7519>
- Kabiri, S., Degryse, F., Tran, D. N. H., Da Silva, R. C., McLaughlin, M. J., & Losic, D. (2017). Graphene Oxide: A New Carrier for Slow Release of Plant Micronutrients. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 9(49), 43325–43335. <https://doi.org/10.1021/acsami.7b07890>
- Khairani, S., Novianty, L., Novianty, L., Sembiring, J., Sembiring, J., Mukhlisin, D., & Mukhlisin, D. (2022). Pengaruh Pemberian Pupuk Eco Farming dan Vermikompos pada Pertumbuhan Cabai Merah (*Capsicum annum* L.). *Agrosains: Jurnal Penelitian Agronomi*, 24(1), 58. <https://doi.org/10.20961/agsjpa.v24i1.60004>

- Mahajan, M., Sharma, S., Kumar, P., & Pal, P. K. (2020). Foliar application of KNO₃ modulates the biomass yield, nutrient uptake and accumulation of secondary metabolites of *Stevia rebaudiana* under saline conditions. *Industrial Crops and Products*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112102>
- Marwan Abdulazeez, Q., Saedi Jami, M., & Zahangir Alam, M. (2018). Feasibility of Using Kaolin Suspension as Synthetic Sludge Sample. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences Journal Homepage*, 48, 25–39. www.akademiabaru.com/arfmts.html
- Noor, I., Arfiana, A., Finalis, E. R., Tjahjono, E. W., Suratno, H., Hamzah, H., Mulyono, A., Nuraini, L. D., Jaim, J., Suradi, S., & Saputra, H. (2022). Pengembangan Formula dan Pembuatan *Controlled Release Fertilizer* (CRF) untuk Bawang Merah. *Vegetalika*, 11(3), 196. <https://doi.org/10.22146/veg.65667>
- Putri, N. A., & Supardi, Z. A. I. (2023). Sintesis dan karakterisasi Graphene Oxide (GO) dari bahan alam tempurung kelapa. *Inovasi Fisika Indonesia*, 12(2), 47-55. <https://doi.org/10.26740/ifi.v12n2.p47-55>
- Syakir, N., Nurlina, R., Anam, S., Aprilia, A., & Hidayat, S. (2015). Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena dalam Jumlah Besar (Halaman 26 sd 29). *Jurnal Fisika Indonesia*, 19(56). <https://doi.org/10.22146/jfi.24354>
- Umar, F., Sagita, E., Fazriah, S. S., Cianda, F., & Burhendi, A. (2022). *Studi Sifat Optik dari Hasil Sintesis Grafena Oksida dengan Metode Ultrasonik*. 7(2), 2022–2093. <https://doi.org/10.17509/wafi.v7i2.49740>

Biografi Penulis

Ahmad Ali Muckharom, Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang 50275, Indonesia.

- Email: ahmadalimuckharom@gmail.com
- ORCID: N/A
- Web of Science ResearcherID: N/A
- Scopus Author ID: N/A
- Homepage: N/A

Risma Aimatul Qudsiyah, Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang 50275, Indonesia.

- Email: risma.aimatul@gmail.com
- ORCID: N/A
- Web of Science ResearcherID: N/A
- Scopus Author ID: N/A
- Homepage: N/A

Davina Maritza Nastiti, Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang 50275, Indonesia.

- Email: davinamn@students.undip.ac.id
- ORCID: N/A
- Web of Science ResearcherID: N/A
- Scopus Author ID: N/A
- Homepage: N/A

Heri Sutanto, Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang 50275, Indonesia.

- Email: herisutanto@live.undip.ac.id
- ORCID: 0000-0001-7119-9633
- Web of Science ResearcherID: N/A
- Scopus Author ID: 55786780900
- Homepage: <https://fismed.fsm.undip.ac.id/staff-pengajar/>