
Studi Sifat Optik dari Hasil Sintesis Grafena Oksida dengan Metode Ultrasonik

Fadhillah Umar¹, Elsa Sagita¹, Syabila Suzela Fazriah¹, Feli Cianda Adrin Burhendi^{1*}

¹Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka, Jl Tanah Merdeka No.20 Ciracas, Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 13830, Indonesia

*Penulis Penanggungjawab. E-mail: fadhillahumar@uhamka.ac.id (Fadhillah Umar)

No. Hp/WA: +62-896-1999-2021

ABSTRAK

Salah satu limbah yang paling banyak dihasilkan adalah limbah baja debu Electric Arc Furnace (EAF) yang merupakan akibat proses peleburan baja dengan menggunakan teknologi EAF yang didalamnya terkandung besi oksida sebagai kandungan utama yang dapat diolah menjadi grafit. Dalam perkembangannya, grafit yang memiliki kandungan karbon dapat disintesis dengan cara oksidasi yaitu penggabungan unsur oksigen dengan senyawa atau pelepasan elektron dari partikel senyawa tersebut. Grafit disintesis menjadi lembaran oksida grafit tunggal yang dikelupas (*exfoliated*) di dalam air hingga terbentuk oksida grafena. Kemudian, oksida grafena kembali direduksi konsentrasinya hingga habis sampai mendapatkan lapisan grafena yang diyakini dapat menjadi prekursor dalam pembuatan grafena. Metode yang digunakan yaitu modifikasi metode *Hummers* dengan memanfaatkan *ultrasonic probe* dalam proses sintesis. Material yang telah disintesis dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Kata Kunci : Grafena; *Hummers*; Metode *Ultrasonic*, Sifat Optik

ABSTRACT

One of the most generated wastes is EAF dust steel waste which is the result of the steel smelting process using EAF technology which contains iron oxide as the main ingredient which can be processed into graphite. In its development, graphite containing carbon can be synthesized by oxidation, namely the incorporation of oxygen elements with compounds or the release of electrons from the particles of these compounds. Graphite is synthesized into a single sheet of graphite oxide which is exfoliated in water to form graphene oxide. Then, the graphene oxide is again reduced in oxygen concentration until it runs out to obtain a graphene layer which is believed to be a precursor in the manufacture of graphene. The method used is a modification of the Hummers method by utilizing an ultrasonic probe in the synthesis process. The synthesized material was characterized using a UV-Vis spectrophotometer.

Keywords : Graphite; Graphene; Hummers Method; Ultrasonic Method

1. Pendahuluan

Indonesia termasuk salah satu negara yang memiliki fokus di dunia perekonstruksian dilihat dari perkembangan konstruksi di Indonesia yang sangat baik [1]. Indonesia dikenal juga sebagai penghasil limbah baja. Industri besi dan baja merupakan salah satu tempat penghasil limbah terbesar yang ada di Indonesia.

Limbah merupakan bahan sisa dari proses pengerjaan suatu produksi, baik dalam bidang industri maupun yang lainnya. Sejatinya limbah baja termasuk kategori limbah B3 karena bersifat beracun dan berbahaya [2]. Limbah baja yang banyak dihasilkan adalah limbah baja debu EAF atau Electric Arc Furnace akibat dari proses peleburan baja menggunakan

teknologi EAF yang terkandung besi oksida sebagai kandungan utama.

Kandungan ini dapat digunakan sebagai bahan baku penunjang proses produksi *recovery* seng dan semen. Sehingga debu EAF apabila diolah akan menjadi material daur ulang salah satunya menghasilkan grafit yang akan sangat bermanfaat. Hal tersebut terbukti bahwa grafit memiliki sifat sukar larut dalam air dan tidak mudah terbakar yang dipalिकासikan sebagai bahan pembuatan pensil, baterai kering, cat, dan sikat dinamo yang dapat meningkatkan ekonomi [3].

Grafit merupakan suatu mineral yang termasuk golongan empat tabel periodik unsur dengan lebih banyak komposisi karbon (C).

Dalam pengaplikasiannya karbon aktif yang terkandung berperan sebagai absorben dan dalam alat filtrasi sebagai penyerap bau, warna, dan klorin [4]. Perkembangan yang melibatkan produksi grafit pada dasarnya dapat diolah menjadi suatu bahan kajian penelitian. Salah satu bahan kajian penelitian yaitu dengan cara mensintesis grafit menjadi bahan material turunan 2D yakni grafena.

Karbon 2D berpotensi banyak dalam aplikasinya, namun ketersediaannya masih terbatas [5]. Maka dari itu, cara yang tepat dalam melakukan pengembangan dari potensi ketersediaan grafena yaitu dengan mengoksidasi grafit tersebut. Oksidasi merupakan sebuah rangkaian elektron pada senyawa dilepaskan dan meningkatkan bilangan oksidasinya dengan cara mengikat oksigen yang mempengaruhi struktural atom menyebabkan sifat kimia dan fisika pada bahan juga berubah.

Pada bagian kelistrikan grafit bersifat konduktif, sedangkan grafit oksida bersifat semikonduktif. Apabila terhadap air, grafit oksida bersifat suka air (*hydrophilic*) yang sebelumnya pada grafit sukar dengan air (*hydrophobic*). Serta pada kelembaban udara tinggi, fungsi dari grafit oksida adalah menyerap sebagian uap air yang ada di udara. Grafit yang dioksidasi akan menjadi senyawa baru yaitu grafit oksida. Grafit yang telah berubah struktur

ikatannya akibat dari proses oksidasi yang dilakukan pada proses sintesis [6]. Struktur grafit oksida juga memiliki dua bagian aromatik dengan cincin benzene yaitu yang teroksidasi dan bagian yang tidak teroksidasi.

Derajat oksidasi mempengaruhi ukuran dari bagian tersebut sehingga kualitasnya bergantung pada derajat oksida saat berlangsungnya proses sintesis. Pada dasarnya grafit yang telah dioksidasi dapat kembali dioksidasi menjadi senyawa 2D.

Grafit oksida disintesis kembali menjadi lembawa oksida grafit tunggal yang nantinya dikelupas (*exfoliated*) dalam air sehingga terbentuk oksida grafena. Kemudian, oksida grafena tersebut masuk ke dalam tahap reduksi konsentrasi oksigennya sampai habis sehingga mendapatkan lapisan dari grafena. Oksida grafena tersebut yang diyakini dapat menjadi prekursor dalam pembuatan grafena.

Grafena merupakan material mempunyai lapisan tunggal dengan struktur dua dimensi dari unsur karbon yang memiliki hibridisasi sp^2 [7]. Dalam penelitian, grafena diketahui memiliki kekuatan yang paling tinggi dibandingkan baja serta lembaran paling tipis daripada material lain. Beberapa tahun kebelakang, grafena menjadi bahan material terpopuler dalam bidang riset penelitian [8].

Kepopuleran tersebut muncul akibat material grafena memiliki daya konduktivitas serta kekuatan yang tinggi.

Sulit diregangkan unsur karbon di dalam grafena membuat produksinya tidak mudah dilakukan. Salah satu penyebab lainnya karena lembaran tipis grafena yang sulit untuk dipisahkan di dalam air pada saat proses sintesis sehingga metode paten yang mudah untuk memproduksinya secara masal masih belum ditemukan. Proses sintesis yang dapat dilakukan dengan beberapa metode konvensional yang lumrah dan sering digunakan.

Beberapa metode yang banyak diterapkan oleh banyak peneliti yang bertujuan memudahkan dan mencari solusi paling efektif dalam melakukan riset sintesis grafena seperti menggunakan alat ultrasonik atau sonikator secara langsung terhadap material grafit [9] dengan mengelupaskan mikro mekanis yang ada pada grafit [10], dan grafena oksida yang direduksikan [11].

Pada penelitian kali ini menggunakan metode *Hummers* yang menjadi salah satu metode lumrah digunakan dengan mengkombinasi alat bantu *ultrasonic probe*. Adapun tujuan penelitian adalah menganalisis proses pembuatan grafit oksida dari grafit limbah EAF sebagai studi awal pembentukan grafena dan menganalisis pengaruh

perbedaan waktu dari *ultrasonic probe* terhadap pembentukan grafit oksida. Hasil penelitian akan diuji nilai konduktivitasnya melalui ultraviolet spektrometer UV-Vis sebelum mencapai tahap karakterisasi sifat optik.

2. Bahan dan Metode

Penelitian ini menggunakan peralatan seperangkat gelas ukur, oven, *ultrasonic probe*, cawan petri, pipet, mortal dan alu, spatula, neraca analitik, ayakan (200 mesh), termometer, kertas pH, wadah es (*ice bath*), *hot plate magnetic stirrer*, sentrifugasi, dan spektrometer ultraviolet UV-Vis. Sampel yang digunakan pada penelitian adalah serbuk grafit dari limbah debu baja EAF. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian kali ini adalah NaNO_3 , H_2SO_4 98%, H_2O_2 , H_2O (*aquadest*) dan KMnO_4 .

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Hummers* termodifikasi dengan bantuan alat *ultrasonic probe*. Metode ini merupakan metode yang melibatkan proses kimia melalui penambahan KMnO_4 , NaNO_3 , dan H_2SO_4 . Metode *Hummers* dinilai memiliki tingkat keamanan yang lebih tinggi dan baik daripada beberapa metode lain karena pada saat proses oksidasi tidak mengeluarkan gas ClO_2 . Suatu gas yang harus diperhatikan secara berhati-hati dikarenakan berbahaya yang dapat menimbulkan ledakan.

Namun, penggunaan metode ini juga memiliki dampak negatif yaitu pelepasan gas toksik NO_2 dan N_2O_4 yang terjadi selama proses oksidasi berlangsung akibat dari grafit yang teroksidasi secara kuat [5]. Proses sintesis grafit oksida dilakukan dengan menyiapkan 1 gram serbuk grafit EAF, 23 ml H_2SO_4 98%, 0.5 gram NaNO_3 , 3 gram KMnO_4 . Ketiga bahan tersebut dimasukan secara bertahap ke dalam gelas ukur yang diaduk menggunakan *hot plate magnetic stirrer* dalam kondisi *ice bath* dengan menjaga suhu dibawah 20°C selama kurun waktu 2 jam sampai berubah warna menjadi hitam kehijauan.

Kemudian, larutan dipindahkan ke dalam lemari asam dengan suhu normal 35°C dan diaduk kembali menggunakan *ultrasonic probe* dengan variasi waktu berbeda sebagai parameter pembuatan grafit oksida. Variasi waktu yang ditentukan adalah 15 menit dan 30 menit. Metode ultrasonik disebut juga dengan proses sonikasi dikarenakan menggunakan bantuan alat bernama sonikator merupakan metode yang dapat menggunakan gelombang ultrasonik dengan frekuensi diatas $>16\text{kHz}$ [12]. Penggunaan *ultrasonic probe* bertujuan untuk mempersingkat waktu yang seharusnya larutan ini diaduk dengan perlahan dan membutuhkan waktu selama 20 jam sampai menjadi pekat.

Dengan adanya alat bantu ini membuat proses sintesis menjadi lebih efisien karena menggunakan gelombang ultrasonik akustik dengan frekuensi lebih besar dari 16-20 kHz.

Metode ini juga berfungsi dalam hal mengelupaskan lapisan grafit di dalam air [3]. Pengelupasan yang terjadi diawali dengan adanya gaya gesek gelombang ultrasonik dan proses kavitasi yang dialami medium air pada grafit oksida. Adanya perbedaan tekanan pada saat proses ultrasonikasi sehingga menyebabkan proses pengelupasan yang disebut dengan proses kavitasi.

Tidak hanya itu, metode ultrasonik juga mampu menjadi salah satu alternatif yang mengubah material menjadi bentuk nano [13]. Serta dapat digunakan sebagai metode prekursor pembuatan grafena dikarenakan adanya pengelupasan lembaran-lembaran grafit oksida pada proses sintesis sehingga menjadi lebih tipis dan jumlah lembarannya berkurang yang menghasilkan senyawa grafena oksida [14].

Setelah larutan menjadi pekat lebih cepat karena alat bantu *ultrasonic probe*, larutan tersebut dipindahkan ke *hot plate magnetic stirrer* serta menambahkan 50 ml H_2O (*aquadest*) secara bertahap. Saat penambahan tetap menjaga suhu terjaga dibawah 90°C serta lama pengadukan adalah 1 jam. Kemudian menambahkan 150

ml H₂O (*aquadest*) kembali secara bertahap.

Pada tahap ini akan terlihat bahwa larutan akan berubah warna menjadi kecoklatan serta yang sebelumnya larutan ini terlihat kental perlahan mulai mencair karena larut dalam H₂O. Timbulnya warna coklat pada larutan merupakan wujud dari grafit yang telah teroksidasi. Proses selanjutnya yaitu penambahan 5 ml H₂O₂ dan diaduk selama 30 menit yang nantinya membuat larutan berubah warna kembali menjadi kuning muda akibat dari proses oksidasi telah berhenti.

Setelah beberapa saat akan terlihat grafit oksida yaitu endapan yang masih menyatu dengan larutan. Endapan akan terdispersi selama beberapa jam yang nantinya akan dilanjutkan sentrifugasi untuk memisahkan endapan dengan larutan secara maksimal dan menaikkan pH dengan cara mencucinya menggunakan H₂O serta HCl supaya menghilangkan keadaan asam pada larutan.

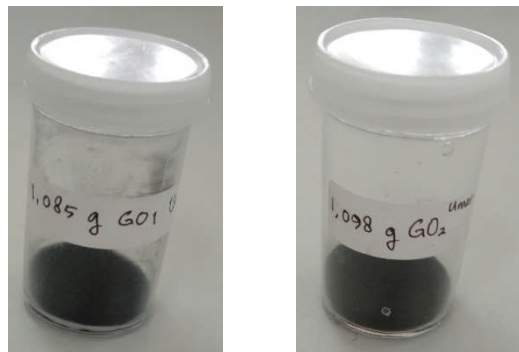
Proses sentrifugasi dilakukan secara berulang sampai larutan yang terdispersi habis serta pH naik menunjukkan angka 5 atau sesuai dengan pH *aquedest*. Dalam larutan tersebut terdapat endapan yang dimana akan dipindahkan ke kaca arloji untuk proses pemanasan melalui oven selama 14 jam pada suhu 80°C. Pemanasan ini bertujuan untuk mengurangi kadar air

dalam endapan yang berfungsi dalam pembentukan *crystal* serbuk. Hasil ini yang akan menjadi grafit oksida.

Selanjutnya proses akhir yaitu mengkarakterisasi dari hasil grafit oksida menggunakan alat spektrometer UV-Vis. Sampel grafit oksida yang diukur dengan perbandingan parameter waktu 15 menit dan 30 menit. Dalam pengukuran dibuat dalam bentuk larutan yang sebelumnya terdispersi. Penggunaan sinar UV untuk mengukur absorbansi sampel pada rentang 200- 800 nm dalam keadaan ambient [7] [15]. Hasil dari UV-Vis menjadi bahan dasar studi awal pembentukan grafena untuk pengembangan lebih lanjut.

3. Hasil dan Pembahasan

Sebelum membahas hasil yang didapatkan, penelitian kali menggunakan perbandingan parameter grafit oksida yang sudah jadi berbentuk serbuk dengan perbedaan waktu penggunaan alat *ultrasonic probe* dengan kita sebut GO₁ dengan waktu 15 menit dan GO₂ dengan waktu 30 menit. Dilihat yang terdapat pada **Gambar 1**, massa yang dihasilkan juga berbeda.



(a)

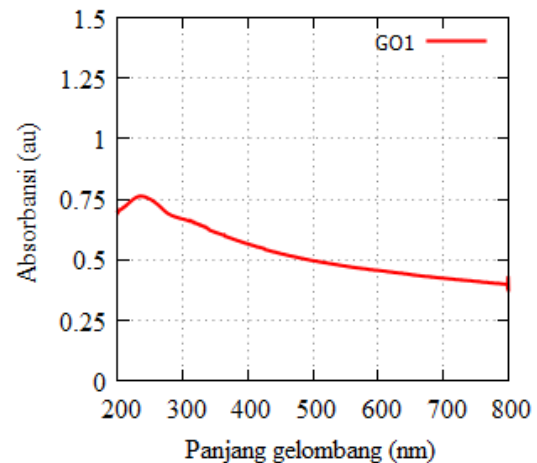
(b)

Gambar 1. Massa sampel (a) Massa GO₁ dan (b) Massa GO₂

Hal tersebut terjadi akibat endapan yang tidak kering dan tekstur yang masih sedikit basah. Penyebab hal tersebut adanya *human error* saat proses pemanasan GO₁, yaitu adanya penambahan waktu yang lebih dari 14 jam hingga sampai 22 jam.

Akibat hal itu proses penguapan menjadi terlalu lama dan endapan terlalu kering dalam oven menyebabkan massa akhir yang dihasilkan lebih sedikit daripada GO₂. GO₁ dan GO₂ yang telah diukur massanya, dikarakterisasi melalui sinar gelombang mikro untuk membuktikan keberhasilan sintesis GO [7].

Selanjutnya proses karakterisasi menggunakan alat UV-Vis yang dilakukan untuk mengukur jumlah ikatan rangkap atau konjugasi [5]. Alat tersebut merupakan alat yang memancarkan sinar *ultraviolet* yang nantinya akan diserap oleh grafit oksida.



Gambar 2. Grafik Serapan UV-Vis GO₁

Hasil karakterisasi yang ditunjukkan pada GO₁ terlihat dua puncak dengan perbedaan tingkat absorbansi serta tingkat absorbansi paling rendah. Masing-masing tingkat absorbansi merupakan transisi elektron pada orbital $\pi-\pi^*$ dan $n-\pi^*$ [15].

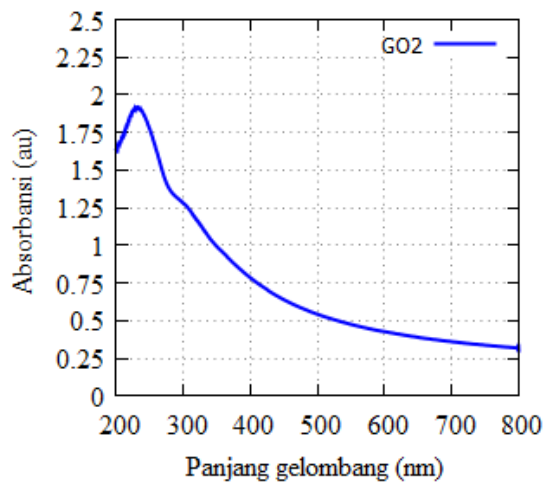
Secara detail, data terkait tingkat penyerapan absorbansi dengan panjang gelombangnya disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Keadaan Serapan Absorbansi Pada GO₁

| No. | Panjang gelombang (nm) | Absorbansi (au) |
|-----|------------------------|-----------------|
| 1. | 234,0 | 0,7630 |
| 2. | 296,0 | 0,6712 |
| 3. | 800,0 | 0,3752 |

Karakterisasi ini juga menjelaskan dari penelitian yang dilakukan Saleem dkk (2018) bahwa menghilangnya sp^3 dalam

GO (grafit oksida) dibarengi dengan pembentukan struktur sp^2 yang memulihkan struktur heksagonal pada grafena akibat adanya proses radiasi gelombang mikro [16].



Gambar 3. Grafik Serapan UV-Vis GO_2

Hasil karakterisasi kedua yang dilakukan dengan sampel GO_2 pada Gambar 3 memiliki perbedaan tingkat maksimal daya serap absorbansinya dibandingkan dengan GO_1 .

Secara detail juga data penyerapan absorbansi pada GO_2 disajikan pada Tabel 2 sebagai berikut.

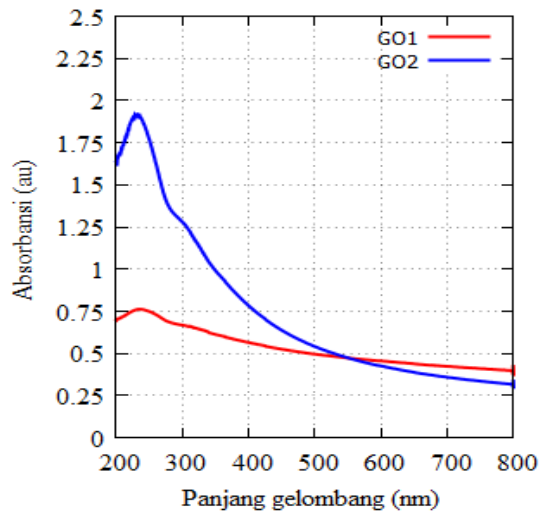
Tabel 2. Keadaan Serapan Absorbansi Pada GO_2

| No. | Panjang gelombang (nm) | Absorbansi (au) |
|-----|------------------------|-----------------|
| 1. | 232,0 | 1,9187 |
| 2. | 295,0 | 1,2995 |
| 3. | 799,0 | 0,2998 |

Perbedaan tersebut terjadi karena adanya perbedaan waktu dalam penggunaan *ultrasonic probe* dari masing-masing sampel yang dimana *ultrasonic probe* juga membantu pengelupasan grafit pada proses sintesis, jadi semakin lama digunakan tingkat absorbansi akan semakin tinggi.

Pada karakterisasi GO_2 ini menunjukkan dua puncak serapan yang terjadi serta terlihat pada grafik memiliki tingkat absorbansi terendah. Seperti terlihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 yang disajikan terlihat GO_1 dan GO_2 memiliki perbedaan dalam tingkat absorbansinya.

Ditampilkan juga pada Gambar 3 perbedaan dari dari kedua grafik yang ditampilkan dalam satu diagram garis terlihat jelas bahwa GO_2 memiliki puncak absorbansi lebih tinggi dibandingkan tingkat absorbansi pada GO_1 .



Gambar 3. Perbedaan Grafik Serapan UV-Vis GO_1 dan GO_2

4. Simpulan

Jadi, perbedaan waktu pada penggunaan *ultrasonic probe* dapat mempengaruhi hasil sintesis yang dihasilkan dari masing-masing sampel. Terlihat juga kedua sampel uji coba diatas yaitu tingkat serapan tertinggi terjadi antara rentang panjang gelombang 200 nm sampai dengan 300 nm yang dimana hal itu membuktikan bahwa sampel tersebut menyerap sinar *ultraviolet* pada uji spektrometer UV-Vis.

Namun ada perbedaan yang menunjukkan tingkat serapan absorbansi tertinggi terjadi pada sampel GO_2 dibandingkan dengan GO_1 . Serta penggunaan metode *Hummers* dinilai cukup efektif dalam melakukan proses sintesis grafit oksida terlebih dengan modifikasi menggunakan *ultrasonic probe* sebagai alat bantu pengelupasan grafit. Lamanya waktu

yang digunakan *ultrasonic probe* membuat tingkat penyerapan absorbansi pada uji spektrometer UV-Vis akan semakin tinggi yang dibuktikan pada Gambar 3 terkait perbedaan grafik GO_1 dan GO_2 .

5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih saya ucapkan kepada Kampus Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka, Lemlitbang UHAMKA, Badan Riset dan Inovasi Nasional terkhususnya Pusat Riset Material Maju sebagai lembaga instansi yang mendukung berjalannya penelitian ini.

6. Referensi

- [1] T. J. Irwanto, A. B. S. Sali, and K. Khotimah, "Pemanfaatan Limbah Konstruksi untuk Timbunan Jalan Desa di Dsn. Nglundo Kecamatan Sukomoro Kabupaten Nganjuk," *J. Pengabd. Tek. dan Sains*, vol. 2, no. 01, pp. 15–20, 2022, doi: 10.30595/jpts.v2i01.13100.
- [2] B. Saksono, "PENGATURAN TENTANG LIMBAH CAIR BAHAN BERACUN DAN BERBAHAYA MENURUT UNDANG-UNDANG NO. 32 TAHUN 2009 TENTANG PERLINDUNGAN DAN PENGELOLAAN LINGKUNGAN HIDUP," *J. Law*, vol. 7, no. 2, 2021,

- doi: 10.1038/132817a0.
- [3] M. B. P. Honorisal, N. Huda, T. Partuti, and A. Sholehah, "Sintesis dan karakterisasi grafena oksida dari tempurung kelapa dengan metode sonikasi dan hidrotermal," *Tek. J. Sains dan Teknol.*, vol. 16, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.36055/tjst.v16i1.7519.
- [4] E. Purwanti, D. Ramdani, R. Rahmadewi, B. Nugraha, V. Efelina, and S. Dampang, "Sosialisasi Manfaat Karbon Aktif Sebagai Media Filtrasi Air Guna Meningkatkan Kesadaran Akan Pentingnya Air Bersih Di Smk Pgri Cikampek," *SELAPARANG J. Pengabd. Masy. Berkemajuan*, vol. 4, no. 2, p. 381, 2021, doi: 10.31764/jpmb.v4i2.4389.
- [5] A. Hidayat, S. Setiadji, and E. P. Hadisantoso, "Sintesis Oksida Grafena Tereduksi (rGO) dari Arang Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera*)," *al-Kimiya*, vol. 5, no. 2, pp. 68–73, 2019, doi: 10.15575/ak.v5i2.3810.
- [6] R. Rahmadewi, V. Efelina, and E. Purwanti, "Sintesis nanopartikel MRGO untuk aplikasi adsorpsi logam berat pada limbah cair," *Jitekh*, vol. 7, no. 2, pp. 29–35, 2019.
- [7] F. Fauzi and W. Sunu, "Jurnal Fisika Analisis Karakteristik Graphene Oxide dan Reduksinya melalui Gelombang Mikro," *Univ. Negeri Semarang*, vol. 11, no. 1, pp. 9–18, 2021.
- [8] S. A. Carminati *et al.*, "Challenges and prospects about the graphene role in the design of photoelectrodes for sunlight-driven water splitting," *RSC Adv.*, vol. 11, no. 24, pp. 14374–14398, 2021, doi: 10.1039/d0ra10176a.
- [9] Ö. Güler, M. Tekeli, M. Taşkın, S. H. Güler, and I. S. Yahia, "The production of graphene by direct liquid phase exfoliation of graphite at moderate sonication power by using low boiling liquid media: The effect of liquid media on yield and optimization," *Ceram. Int.*, vol. 47, no. 1, pp. 521–533, 2021, doi: 10.1016/j.ceramint.2020.08.159.
- [10] R. C. Sinclair, J. L. Suter, and P. V. Coveney, "Micromechanical exfoliation of graphene on the atomistic scale," *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 21, no. 10, pp. 5716–5722, 2019, doi: 10.1039/c8cp07796g.
- [11] L. Zhang *et al.*, "Synthesis of reduced graphene oxide supported nickel-cobalt-layered double hydroxide nanosheets for

- supercapacitors,” *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 588, no. xxxx, pp. 637–645, 2021, doi: 10.1016/j.jcis.2020.11.056.
- [12] M. Andriani, I. D. Gde Mayun Permana, and I. W. Rai Widarta, “PENGARUH SUHU DAN WAKTU EKSTRAKSI DAUN BELIMBING WULUH (*Averrhoa Bilimbi* L.) TERHADAP AKTIVITAS ANTIOKSIDAN DENGAN METODE ULTRASONIC ASSISTED EXTRACTION (UAE) METHOD,” *J. Ilmu dan Teknol. Pangan*, vol. 8, no. 3, pp. 330–340, 2019.
- [13] I. Desianti, Rahmaniah, and S. Zelviani, “Karakterisasi Nanosilika Dari Abu Terbang Menggunakan Metode Ultrasonic,” *Jft*, vol. 5, no. 2, pp. 101–108, 2018.
- [14] H. Nurdiansah, D. Susanti, H. Purwaningsih, D. S. Tsai, and L. Noerochiem, “Pengaruh Waktu Ultrasonikasi terhadap Sifat Kapasitif Material Reduced Graphene Oxide sebagai Elektroda Superkapasitor,” *J. IPTEK*, vol. 23, no. 1, pp. 9–16, 2019, doi: 10.31284/j.ipitek.2019.v23i1.425.
- [15] Y. Rafitasari and I. Santoso, “SINTESIS GRAPHENE OXIDE DAN REDUCED GRAPHENE OXIDE,” *Semin. Nas. Fis.* 2016, vol. V, pp. 95–98, 2016.
- [16] H. Saleem, M. Haneef, and H. Y. Abbasi, “Synthesis route of reduced graphene oxide via thermal reduction of chemically exfoliated graphene oxide,” *Mater. Chem. Phys.*, vol. 204, pp. 1–7, 2018, doi: 10.1016/j.matchemphys.2017.10.020.