

SINTESIS DAN KARAKTERISASI GRAPHENE OXIDE (GO) DARI BAHAN ALAM TEMPURUNG KELAPA

¹⁾Natalia Agus Putri, ²⁾Zainul Arifin Imam Supardi

¹⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: natalia.19015@mhs.unesa.ac.id

²⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: zainularifin@unesa.ac.id

Abstrak

Pemanfaatan limbah tempurung kelapa di Indonesia masih kurang dan terbatas, bahkan umunya masih dianggap sebagai limbah bahan bakar setiap harinya. Sedangkan limbah tempurung kelapa memiliki daya serap yang tinggi dan luas permukaan yang besar yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber alternatif material *Graphene Oxide* (GO) yang ramah lingkungan serta ketersediaannya dapat diperbarui. *Graphene oxide* merupakan material dengan konduktivitas yang sangat baik, memiliki kisi hexagonal menyerupai sarang lebah dan terdapat lengkungan karena adanya gugus oksigen dalam bentuk karboksil dan karbonil didalamnya. Proses sintesis *graphene oxide* dari tempurung kelapa ini menggunakan metode Hummer atau oksidasi secara kimia. Karakterisasi material dilakukan untuk mendapatkan material *graphene oxide* yang bagus. Hasil SEM menyatakan perbedaan ukuran partikel dan pada tepi partikel terlihat agak tebal yang menunjukkan adanya gugus fungsi oksigen yang diperjelas dengan hasil EDX dimana unsur karbon sebanyak 86,8 wt% dan unsur oksigen sebanyak 12,8 wt%. Perbandingan hasil dari karakterisasi FTIR dari sampel GO hasil sintesis dengan referensi menjelaskan adanya berbagai gugus fungsi yang mengandung oksigen dalam sampel GO. Kemudian pada pengukuran spektroskopi raman diperoleh rasio I_D/I_G sebesar 0,84 yang menyatakan bahwa sampel hasil sintesis merupakan sampel GO. Meskipun pada karakterisasi XRD didapatkan pergeseran pola difraksi material GO yang khas pada pembentukan rGO, hal ini dapat disebabkan dari prekursor yang digunakan dalam sintesis merupakan bahan amorf dan adanya perubahan derajat oksidasi selama proses sintesis.

Kata Kunci: *Graphene Oxide*, Tempurung Kelapa, Metode Hummer

Abstract

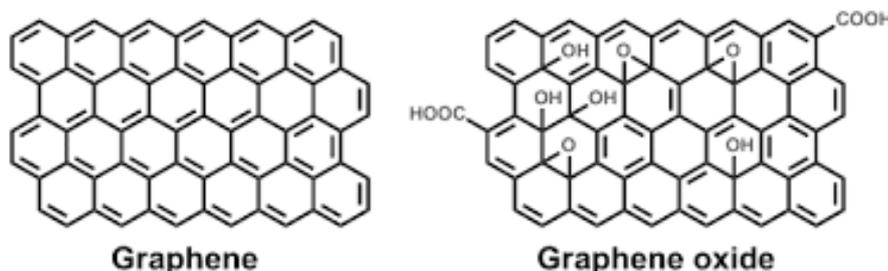
Utilization of coconut shell waste in Indonesia is still lacking and limited, in fact it is generally still considered as fuel waste every day. Meanwhile, coconut shell waste has a high absorption capacity and a large surface area which can be used as an alternative source of *Graphene Oxide* (GO) material which is environmentally friendly and its availability can be renewed. *Graphene oxide* is a material with very good conductivity, has a hexagonal lattice resembling a honeycomb and has a bend due to the presence of oxygen groups in the form of carboxyl and carbonyl in it. The process of synthesizing *graphene oxide* from coconut shells uses the Hummer method or chemical oxidation. Material characterization was carried out to obtain a good *graphene oxide* material. The SEM results revealed differences in particle size and on the edges of the particles it looked rather thick indicating the presence of oxygen functional groups which was clarified by the EDX results where the carbon element was 86.8 wt% and the oxygen element was 12.8 wt%. Comparison of the results of the FTIR characterization of the synthesized GO samples with references explaining the presence of various oxygen-containing functional groups in the GO samples. Then on Raman spectroscopy measurements, the I_D/I_G ratio was obtained at 0.84 which stated that the synthesized sample was a GO sample. Although the XRD characterization obtained a shift in the diffraction pattern of GO material that is typical for the formation of rGO, this can be caused by the precursor used in the synthesis which is an amorphous material and the degree of oxidation changes during the synthesis process.

Keywords: *Graphene Oxide*, Coconut Shell, Hummer Method

I. PENDAHULUAN

Tempurung kelapa di Indonesia umumnya dianggap sebagai limbah yang dapat digunakan sebagai bahan bakar setiap harinya (Nustini & Allwar, 2019) serta pemanfaatannya yang masih kurang (Ramadhani dkk., 2020) dan terbatas (Rampengan & Mawuntu, 2022). Sedangkan bahan ini dapat digunakan untuk memproduksi arang sebagai bahan baku pembuatan karbon. Karbon aktif dari tempurung kelapa memiliki daya serap yang tinggi karena diameter pori-porinya yang kecil, sehingga mempunyai luas permukaan yang besar (Achmad, 2018). Karbon tempurung kelapa merupakan salah satu sumber alternatif yang ramah lingkungan serta dapat diperbarui ketersediaan bahan bakunya (Saputri & Saraswati, 2021).

Pengembangan inovasi pemanfaatan limbah tempurung kelapa saat ini terus dilakukan, salah satunya sebagai material *graphene*. *Graphene* merupakan material yang memiliki struktur kristal dua dimensi (2D) dengan kisi heksagonal menyerupai sarang lebah (Tritama, 2017). Struktur dua dimensi ini menyebabkan material *graphene* dan turunannya yaitu *Graphene Oxide* (GO) dan *reduced Graphene Oxide* (rGO) memiliki luas permukaan dengan spesifik yang tinggi, fleksibilitas, konduktivitas yang sangat baik dispersi stabilitas termal yang baik (Si dkk., 2021). Struktur *graphene* berbentuk planar, sedangkan *graphene oxide* terdapat lengkungan karena terdapat gugus oksigen dalam bentuk karboksil dan karbonil (Zaman, 2021).



Gambar 1. Struktur *Graphene* dan *Graphene Oxide* (Rahmawati, 2017)

Proses sintesis *graphene oxide* dari tempurung kelapa terdapat beberapa metode, salah satunya adalah metode Hummer atau metode oksidasi secara kimia. Metode ini terbukti sangat bagus untuk menghasilkan *graphene oxide* (Hidayat dkk., 2019).

II. METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan preparasi sampel yang meliputi pembersihan dan pengeringan limbah tempurung kelapa tua, tahap karbonisasi, tahap aktivasi, dan tahap sintesis *graphene oxide* (GO).

a. Pembersihan dan Pengeringan Tempurung Kelapa Tua

Limbah tempurung kelapa tua yang sudah dikumpulkan dari Pasar Mangga 2, Surabaya dibersihkan dari serabut kelapa dan kotoran lain yang menempel menggunakan sikat baja. Tempurung kelapa yang sudah bersih, kemudian dikeringkan menggunakan paparan sinar matahari secara langsung selama tujuh hari agar kadar air menurun.

b. Tahap Karbonisasi

Tempurung kelapa yang sudah kering, dimasukkan kedalam *crucibel porcelain* dan dikarbonisasi menggunakan *furnace* dengan suhu (100, 200, 300 dan 400)^oC dan waktu tahan selama 2 jam masing-masing suhu. Hasil karbonisasi kemudian ditumbuk menggunakan mortar alu untuk mendapatkan partikel yang lebih kecil lagi sehingga dapat disaring menggunakan saringan ukuran 200 mesh untuk mendapatkan serbuk karbon yang homogen.



Gambar 2. Hasil Karbonisasi Tempurung Kelapa

c. Tahap Aktivasi

Aktivasi serbuk karbon dilakukan dengan merendam karbon dengan aktivator berupa bahan kimia selama 24 jam. Bahan kimia yang digunakan pada penelitian ini adalah NaOH 0,5 M. Perbandingan karbon dan aktivator yaitu sebanyak 1:3. Larutan yang sudah direndam 24 jam kemudian dikalsinasi menggunakan *furnace* dengan suhu 800°C selama 5 jam untuk mengurai senyawa kompleks yang terdapat dalam arang seperti belerang dan nitrogen. Hasil kalsinasi kemudian di cuci menggunakan HCl 1 M dan air aquadest sampai pH netral. Selanjutnya sampel dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 110°C selama 1 jam.

d. Tahap Sintesis Graphene Oxide (GO)

Sintesis GO dari bahan baku arang tempurung kelapa yang sudah di aktivasi dilakukan menggunakan metode Hummers yang dimulai dengan 1 gram serbuk karbon aktif; 0,5 gram NaNO₃ ; dan 25 mL H₂SO₄ dicampur menggunakan stirrer pada putaran 500 rpm dalam keadaan *ice bath* selama 30 menit. KMnO₄ sebanyak 3 gram ditambahkan secara perlahan dan di stirrer selama 3 jam dengan keadaan masih menggunakan *ice bath* (warna larutan menjadi hijau tua). Stirrer kembali larutan dengan suhu 35°C (tanpa *ice bath*) selama 1 jam. Air aquadest sebanyak 50 mL ditambahkan dan stirrer selama 1 jam (warna larutan menjadi kuning kecoklatan). Menambahkan kembali air aquadest sebanyak 100 mL dan stirrer selama 1 jam (warna larutan menjadi coklat). H₂O₂ sebanyak 5 mL ditambahkan perlahan dan di stirrer selama 30 menit untuk menghilangkan sisa KMnO₄ yang masih terdapat pada larutan. Larutan kemudian diendapkan menggunakan sentrifugasi dan dicuci dengan air aquadest hingga pH netral. Sampel dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 110°C selama 12 jam sehingga terbentuk serbuk GO.

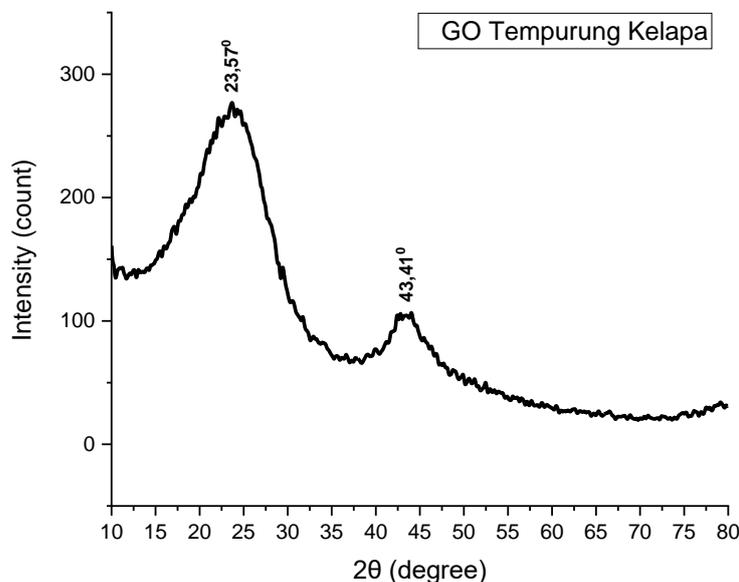
B. Teknik Pengumpulan Data

Serbuk *graphene oxide* (GO) yang sudah dibuat dilakukan beberapa karakterisasi untuk membuktikan bahwa sampel tersebut benar sampel GO. Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengetahui fasa GO, data yang diperoleh diolah kembali menggunakan *software Match* dan *software Origin*. Uji *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dilakukan untuk mengetahui morfologi sampel dan mengetahui unsur yang terbentuk pada material GO, data dari SEM diolah menggunakan *software Image-J* untuk mengetahui panjang dan diameter partikel. *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan untuk mengidentifikasi gugus ikatan kimia yang dimiliki oleh material GO, identifikasi dilakukan dengan mencocokkan dan membandingkan bilangan gelombang, kemudian data yang diperoleh akan diolah kembali menggunakan *software Origin*. Struktur kristal dan sifat unggul atau multilayer dari material GO dapat diketahui dengan melakukan uji *Raman Spectroscopy* (Spektroskopi Raman) yang menunjukkan titik puncak D dan titik puncak G, data yang diperoleh kemudian diolah kembali menggunakan *software Origin*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

XRD (X-Ray Diffraction)

Graphene oxide (GO) yang didapat dikarakterisasi XRD dengan hasil seperti pada **Gambar 3**. Berdasarkan pola difraksi yang dihasilkan menunjukkan puncak yang melebar dengan posisi puncak pertama $2\theta = 23,57^\circ$ dan puncak kedua pada $2\theta = 43,41^\circ$. Pola puncak yang melebar menyatakan bahwa sampel *graphene oxide* memiliki sifat amorf (Agustina, 2018).

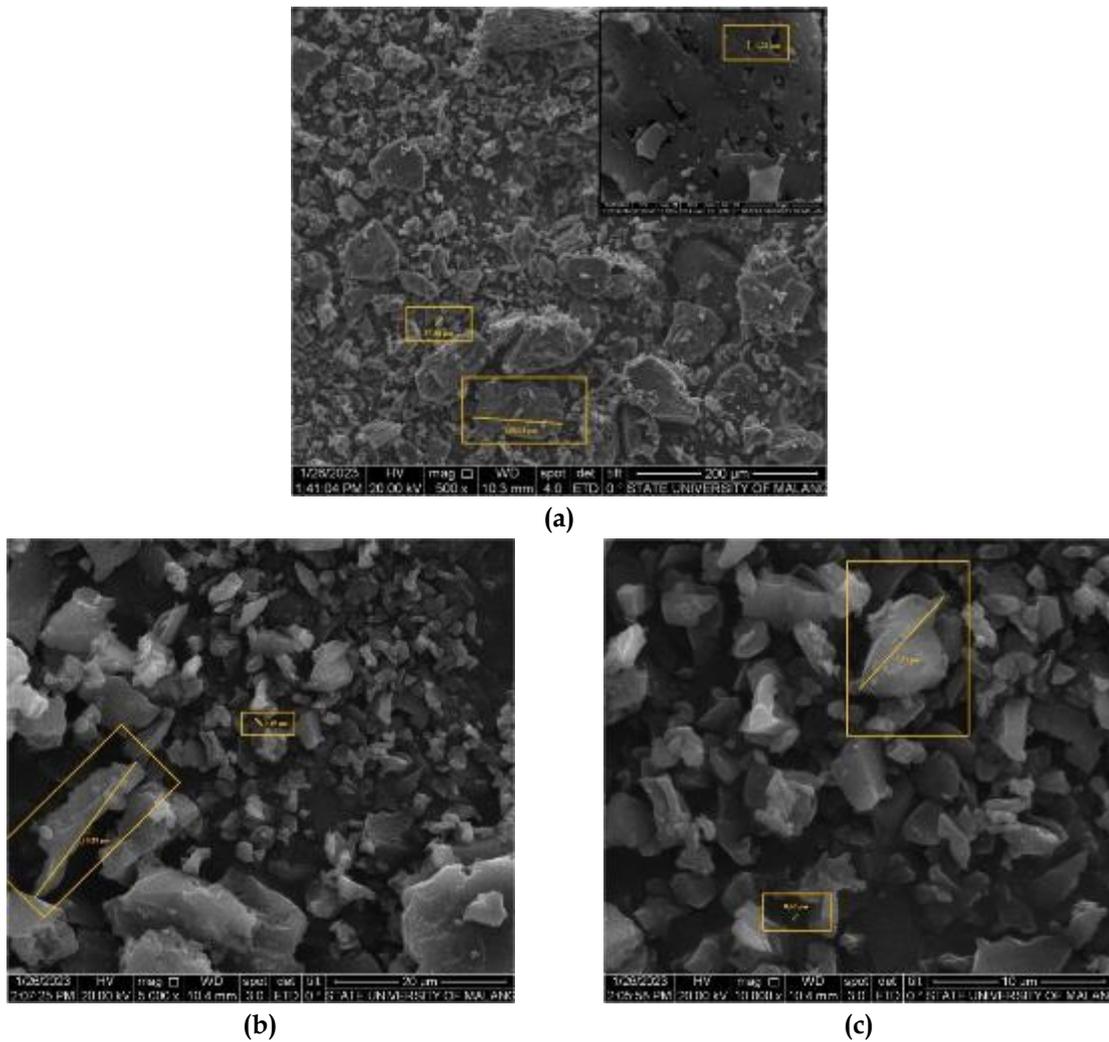


Gambar 3. Difraktogram XRD *Graphene Oxide* Tempurung Kelapa

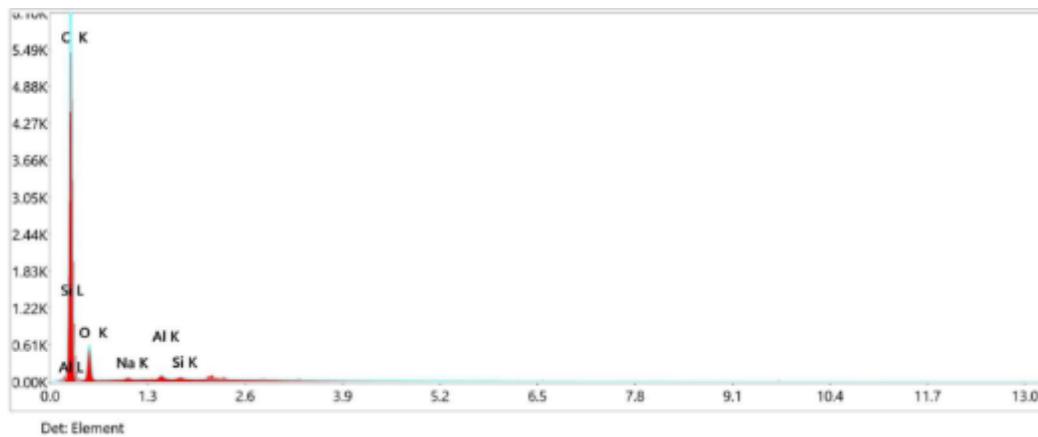
Titik puncak yang terbentuk pada **Gambar 3**, menunjukkan bahwa sampel mengandung fase *Graphene Oxide* (rGO) tereduksi. Hal ini dikatakan terjadinya pergeseran pola difraksi material GO yang khas pada pembentukan rGO disebabkan oleh dua faktor. Pertama, karena prekursor yang digunakan dalam sintesis merupakan bahan amorf, dan kedua karena adanya perubahan derajat oksidasi yang terjadi selama proses sintesis (Sujiono dkk., 2020). Grafit memiliki laju oksidasi yang tinggi, namun beberapa sampel mengalami reduksi selama proses pengeringan dalam oven sehingga gugus senyawa oksigen terlepas dari lapisan ikatan GO (Han Lyn dkk., 2019).

SEM - EDX (Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray)

Hasil morfologi permukaan sampel GO dengan tiga perbesaran dan setiap perbesaran terdapat ukuran dari partikel yang ditunjukkan pada **Gambar 4**. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.(a)**., sampel GO pada skala $200 \mu\text{m}$ memperlihatkan partikel dengan ukuran yang berbeda mulai dari $17,88 \mu\text{m}$ hingga $168,01 \mu\text{m}$ dengan pori-pori $1,21 \mu\text{m}$. Pada **Gambar 4.(b)**., sampel GO pada skala $20 \mu\text{m}$ memiliki ukuran partikel berkisar $0,49 \mu\text{m}$ hingga $10,28 \mu\text{m}$. Sedangkan pada **Gambar 4.(c)**., memperlihatkan sampel GO dengan skala $10 \mu\text{m}$ memiliki ukuran partikel $0,43 \mu\text{m}$ hingga $7,51 \mu\text{m}$. Perbedaan ukuran partikel dapat mempengaruhi sifat mekanik material, dimana semakin kecil ukuran butir, maka modulus Young dan kekuatan patahan akan semakin menurun, sedangkan regangan patahan akan meningkat (Li dkk., 2018). Selain itu, tepi partikel terlihat agak tebal, hal ini menunjukkan adanya gugus fungsi oksigen yang terkandung dalam sampel yang dihasilkan. Pada saat reaksi terjadi semakin lama maka jumlah gugus oksigen akan berkurang (Lee & Mahajan, 2021). Terbukti bahwa permukaan sampel GO sebagian besar terdiri dari karbon dan oksigen dengan melihat hasil EDX pada **Gambar 5**.



Gambar 4. Morfologi SEM Graphene Oxide Tempurung Kelapa



Gambar 5. Hasil EDX Graphene Oxide Tempurung Kelapa

Berdasarkan Gambar 5. dapat diketahui bahwa material sampel GO tempurung kelapa tersebut mengandung karbon, oksigen, sodium, aluminium, dan silikon. Dimana puncak tertinggi pada unsur karbon (86,8 wt%) dan oksigen (12,8 wt%), sedangkan lainnya hanyalah unsur pengotor dengan komposisi rendah seperti pada Tabel 1. Pada sampel GO seharusnya hanya mengandung karbon dan

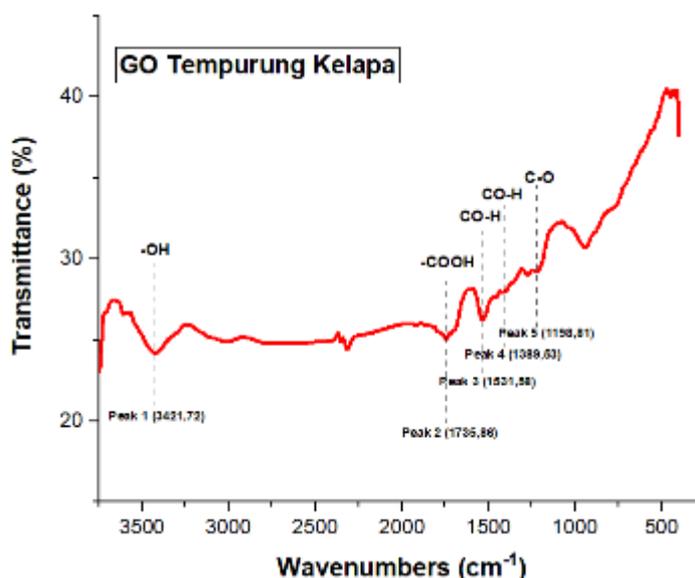
oksigen saja (Putri, 2021), namun pada penelitian ini ditemukan unsur komposisi lain, cacatnya sampel ini dapat disebabkan proses sintesis saat terjadinya oksidasi. Dimana adanya keterbatasan waktu untuk proses oksidasi dan tidak terjadinya oksidasi yang sempurna (Dimiev dkk., 2020). Faktor lain yang mempengaruhi adanya pengotor adalah berasal dari bahan baku tempurung kelapa yang mengandung pengotor sebelum proses oksidasi (Handayani dkk., 2019).

Tabel 1. Komponen EDX Sampel Graphene Oxide Tempurung Kelapa

Element	Weight (%)	Atomic (%)
C K	86,8	89,9
O K	12,8	9,9
Na K	0,2	0,1
Al K	0,2	0,1
Si K	0,1	0

FTIR (Fourier Transform Infrared)

Hasil pengukuran spektroskopi FTIR pada Gambar 6. dalam bentuk puncak setiap molekul dalam sampel yang menyerap energi dari spektrum gelombang elektromagnetik inframerah, hal ini ditunjukkan dengan gambaran hubungan antara presentase transmisi (%) dengan bilangan gelombang (cm^{-1}) (Desiyani, 2021).



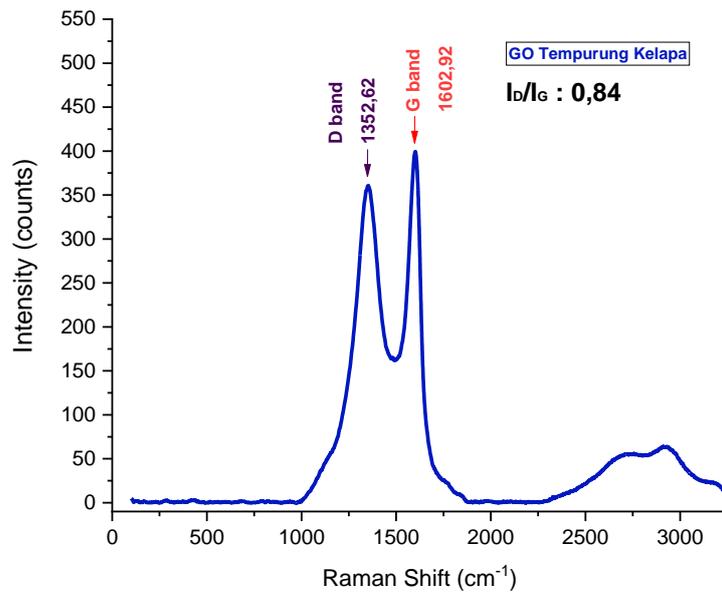
Gambar 6. Hasil FTIR Graphene Oxide Tempurung Kelapa

Posisi puncak GO pada spektrum FTIR yang menunjukkan bahwa gugus fungsi yang berbeda memiliki energi ikatan yang berbeda pula (Alkhouzaam dkk., 2020). Vibrasi *stretch* dari gugus hidroksil (-OH) pada molekul air (-OH) menghasilkan puncak 1 ($3421,72\text{ cm}^{-1}$), vibrasi karboksil (-COOH) menghasilkan puncak 2 ($1735,86\text{ cm}^{-1}$), vibrasi alkohol (C-OH) menghasilkan puncak 3 ($1531,58\text{ cm}^{-1}$) dan puncak 4 ($1389,53\text{ cm}^{-1}$), serta vibrasi epoksi (C-O) pada puncak 5 ($1198,81\text{ cm}^{-1}$). Sehingga pada hasil spektroskopi FTIR dapat menjelaskan adanya berbagai fungsi yang mengandung oksigen seperti hidroksil, karboksil, alkohol, dan epoksi dalam struktur GO dan serupa dengan spektrum FTIR yang dilaporkan oleh Sujiono, dkk. (2020) tentang GO tempurung kelapa. Perbandingan gugus fungsi antara GO tempurung kelapa hasil penelitian, GO tempurung kelapa berdasarkan referensi Sujiono, dkk. (2020) dan GO dari grafit komersil berdasarkan referensi Xu dkk. (2017) dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Gugus Fungsi dan Bilangan Gelombang Material Graphene Oxide

Peak	Bilangan Gelombang GO Tempurung Kelapa (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang GO Tempurung Kelapa (Sujiono, dkk. 2020) (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang GO dari Grafit Komersil (Xu, dkk. 2017) (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi
1	3421,72	-OH (Hidroxy) <i>stretching</i>	3449.92	-OH (Hidroxy) <i>stretching</i>	3427	-OH (Hidroxy) <i>stretching</i>
2	1735,86	-COOH (Carboxyl) <i>stretching</i>	1719.42	-COOH (Carboxyl) <i>stretching</i>	1730	-COOH (Carboxyl) <i>stretching</i>
3	1531,58	C-OH (Alcohol) <i>stretching</i>	1702.62	-COOH (Carboxyl) <i>stretching</i>	1630	C-OH (Alcohol) <i>stretching</i>
4	1389,53	C-OH (Alcohol) <i>stretching</i>	1628.12	-COOH (Carboxyl) <i>stretching</i>	1371	C-OH (Alcohol) <i>stretching</i>
5	1198,81	C-O (Epoxy) <i>stretching</i>	1158.51	C-O (Epoxy) <i>stretching</i>	1054	C-O (Epoxy) <i>stretching</i>

Raman Spectroscopy (Spektroskopi Raman)



Gambar 7. Hasil Spektroskopi Raman Graphene Oxide Tempurung Kelapa

Hasil pengukuran spektroskopi raman pada Gambar 7. dilakukan untuk memperkuat bahwa sampel yang didapat merupakan sampel GO. Terdapat dua puncak yang signifikan yaitu puncak *D-band* (1352,62 cm⁻¹) dan *G-band* (1602,92 cm⁻¹). Tinggi puncak G memiliki intensitas yang hampir sama dengan puncak D dan lebih besar nilainya dibandingkan dengan puncak D, hal ini mengindikasikan bahwa kualitas material cukup tinggi karena puncak D dapat mewakili kecacatan pada material (Anwar dkk., 2022). Hasil *fitting* diperoleh rasio I_D/I_G sebesar 0,84, dimana dari hasil tersebut dapat menentukan kualitas sampel yang dihasilkan (Casallas Caicedo dkk., 2020). Semakin rendah nilai rasio I_D/I_G maka kualitas sampel lebih baik dengan *defect* dan impuritas yang lebih rendah (Asaningsih Affandi, 2023). Selain itu nilai rasio I_D/I_G menyatakan bahwa sampel tersebut merupakan sampel GO, hal ini dikarenakan nilai rasio I_D/I_G mendekati 1 (Honorisal dkk., 2020).

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Graphene Oxide dari bahan alam tempurung kelapa berhasil terbentuk yang dibuktikan dengan beberapa hasil karakterisasi. Permukaan sampel GO yang dapat dilihat dengan karakterisasi SEM terlihat perbedaan ukuran partikel, dimana semakin kecil ukuran butir, maka modulus Young dan kekuatan patahan akan semakin menurun, selain itu partikel terlihat agak tebal, hal ini menunjukkan adanya gugus fungsi oksigen yang terkandung dalam sampel yang dihasilkan. Pada karakterisasi EDX unsur karbon (86,8 wt%) dan oksigen (12,8 wt%), sedangkan lainnya hanyalah unsur pengotor dengan komposisi rendah. Perbandingan hasil dari karakterisasi FTIR dari sampel GO hasil sintesis dengan referensi menjelaskan adanya berbagai gugus fungsi yang mengandung oksigen seperti hidroksil, karboksil, alkohol, dan epoksi dalam struktur GO. Pengukuran spektroskopi raman diperoleh rasio I_D/I_G sebesar 0,84 yang menyatakan bahwa sampel hasil sintesis merupakan sampel GO. Meskipun pada karakterisasi XRD didapatkan pergeseran pola difraksi material GO yang khas pada pembentukan rGO dengan posisi puncak pertama $2\theta = 23,57^\circ$ dan puncak kedua pada $2\theta = 43,41^\circ$, hal ini disebabkan oleh dua faktor. Pertama, karena prekursor yang digunakan dalam sintesis merupakan bahan amorf, dan kedua karena adanya perubahan derajat oksidasi yang terjadi selama proses sintesis.

B. Saran

Penelitian selanjutnya diharapkan lebih untuk berhati-hati, lebih perlahan, dan lebih bertahap saat proses penguangan bahan kimia pembuatan *graphene oxide*, karena hal tersebut mempengaruhi proses oksidasi yang terjadi pada larutan. Peneliti juga menyarankan pada saat proses pencucian sampel sampai pH harus benar-benar netral (6-7). Selain itu diharapkan untuk penelitian selanjutnya *graphene oxide* dapat diaplikasikan sebagai material baterai.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, R. (2018). *Modifikasi Permukaan Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa Sawit (Cocus nucifera L.) dengan H₂SO₄ untuk Digunakan Sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru*. Makassar : Universitas Hasanuddin.
- Agustina, L. & Putri N, P. (2018). *Analisis Fasa dan Ikatan Molekul reduced Graphene Oxide (rGO) Berbahan Dasar Tempurung Kelapa*. Surabaya : Universitas Negeri Surabaya.
- Alkhouzaam, A., Qiblawey, H., Khraisheh, M., Atieh, M., & Al-Ghouti, M. (2020). *Synthesis of Graphene Oxides Particle of High Oxidation Degree Using a Modified Hummers Method*. *Ceramics International*, 46(15), 23997–24007. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.06.177>
- Anwar, A., Chang, T.-P., & Chen, C.-T. (2022). *Graphene Oxide Synthesis Using A Top-Down Approach and Discrete Characterization Techniques: a Holistic Review*. *Carbon Letters*, 32(1), 1–38. <https://doi.org/10.1007/s42823-021-00272-z>
- Asaningsih Affandi, D. (2023). *Characteristics of Graphene Like Material Synthesized from Commercial Activated Carbon of Coconut Shell Using a Modified Hummers Methods*. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 7(1), 58–68. <https://doi.org/10.24198/jiif.v7i1.43488>
- Casallas Caicedo, F. M., Vera López, E., Agarwal, A., Drozd, V., Durygin, A., Franco Hernandez, A., & Wang, C. (2020). *Synthesis of Graphene Oxide from Graphite by Ball Milling*. *Diamond and Related Materials*, 109, 108064. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2020.108064>
- Desiyani, Endah. (2021). *Sintesis dan Karakterisasi Fe₃O₄-TiO₂/Karbon Aktif untuk Adsorbansi Ion Logam Cu(II) dan Cd (II) dalam Larutan*. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia
- Dimiev, A. M., Shukhina, K., & Khannanov, A. (2020). *Mechanism of the Graphene Oxide Formation: The Role of Water, "Reversibility" of the Oxidation, and Mobility of the C-O Bonds*. *Carbon*, 166, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.05.005>

- Han Lyn, F., Chin Peng, T., Ruzniza, M. Z., & Nur Hanani, Z. A. (2019). *Effect of Oxidation Degrees of Graphene Oxide (GO) on the Structure and Physical Properties of Chitosan/GO Composite Films*. *Food Packaging and Shelf Life*, 21, 100373. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100373>
- Handayani, M., Ganta, M., Susilo, D. N. A., Yahya, M. S., Sunnardianto, G. K., Darsono, N., Sulistiyono, E., Setiawan, I., Lestari, F. P., & Erryani, A. (2019). *Synthesis of Graphene Oxide from Used Electrode Graphite With Controlled Oxidation Process*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 541(1), 012032. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/541/1/012032>
- Hidayat, A., Setiadji, S., & Hadisantoso, E. P. (2019). *Sintesis Oksida Grafena Tereduksi (rGO) dari Arang Tempurung Kelapa (Cocos nucifera)*. *al-Kimiya*, 5(2), 68–73. <https://doi.org/10.15575/ak.v5i2.3810>
- 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>
- Lee, S.-Y., & Mahajan, R. L. (2021). *a Facile Method for Coal to Graphene Oxide and its Application to a Biosensor*. *Carbon*, 181, 408–420. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2021.05.007>
- Li, Y., Wang, G., Liu, S., Zhao, S., & Zhang, K. (2018). *The Preparation of Ni/GO Composite Foils and The Enhancement Effects of GO in Mechanical Properties*. *Composites Part B: Engineering*, 135, 43–48. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.09.064>
- Nustini, Y., & Allwar, A. (2019). *Pemanfaatan Limbah Tempurung Kelapa Menjadi Arang Tempurung Kelapa Dan Granular Karbon Aktif Guna Meningkatkan Kesejahteraan Desa Watuduwur, Bruno, Kabupaten Purworejo*.
- Putri, N. A. (2021). *Sintesis reduced Graphene Oxide (rGO) dengan Metode Hummer Termodifikasi*. Malang : Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Rahmawati S. (2017). *Sintesis dan Karakterisasi Material Graphene Oxide Berbahan Dasar Limbah Karbon Baterai ZnC Menggunakan Kombinasi Metode Liquid-phase Exfoliation dan Radiasi Sinar-X dengan Variasi Waktu Radiasi Berdasarkan Uji UC-VIS Spektrofotometer*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ramadhani, L. F., Imaya M. Nurjannah, Ratna Yulistiani, & Erwan A. Saputro. (2020). *Review: Teknologi Aktivasi Fisika pada Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Tempurung Kelapa*. *Jurnal Teknik Kimia*, 26(2), 42–53. <https://doi.org/10.36706/jtk.v26i2.518>
- Rampengan, A. M., & Mawuntu, V. J. (2022). *Fabrikasi Arang Aktif Tempurung Kelapa, Arang Aktif Aleurites Moluccana dan Karakterisasinya*. *Jurnal Fisika : Universitas Negeri Manado*.
- Saputri, D. D., & Saraswati, T. E. (2021). *Sintesis Carbon Nanotubes (CNT) Berbasis Bahan Alam Limbah Tempurung Kelapa dan Aplikasinya dalam Pembuatan Polimer Komposit Polimida-CNT: Review*. *Proceeding of Chemistry Conferences*, 6, 38. <https://doi.org/10.20961/pcc.6.0.55088.38-46>
- Si, A., Kyzas, G. Z., Pal, K., & De Souza Jr., F. G. (2021). *Graphene Functionalized Hybrid Nanomaterials for Industrial-Scale Applications: A Systematic Review*. *Journal of Molecular Structure*, 1239, 130518. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130518>
- Tritama S, Dimas Ery. (2017). *Studi Sifat Kelistrikan Rgo-Cl dari Tempurung Kelapa Tua dengan Eksfoliasi Kimia Menggunakan Larutan H₂SO₄*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sujiono, E. H., Zurnansyah, Zabrian, D., Dahlan, M. Y., Amin, B. D., Samnur, & Agus, J. (2020). *Graphene Oxide Based Coconut Shell Waste: Synthesis By Modified Hummers Method And Characterization*. *Heliyon*, 6(8), e04568. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04568>
- Xu, Y., Li, J., & Huang, W. (2017). *Porous Graphene Oxide Prepared on Nickel Foam by Electrophoretic Deposition and Thermal Reduction as High-Performance Supercapacitor Electrodes*. *Materials*, 10(8), 936. <https://doi.org/10.3390/ma10080936>
- Zaman, K. (2021). *Pengaruh Graphene Oxide (GO) Grafit Pensil sebagai Additive untuk Meningkatkan Strength Semen Pemboran*. Pekanbaru : Universitas Islam Riau.