

GREEN SINTESIS OKSIDA GRAFENA TEREDUKSI DARI ARANG TEMPURUNG KELAPA DAN KAYU DENGAN MENGGUNAKAN REDUKTOR RAMAH LINGKUNGAN ASAM L-ASKORBAT

N. A. Putri¹, U. Hikmah^{2*}, A. Prasetyo^{1*}

¹Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Jl. Gajayana 50, Malang, Indonesia, 65144

²Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Jl. Gajayana 50, Malang, Indonesia, 65144.

*Email: utiyahikmah@fis.uin-malang.ac.id

*anton@kim.uin-malang.ac.id

ABSTRAK

Material oksida grafena tereduksi (rGO) dilaporkan mempunyai beberapa sifat menarik dan salah satu metode sintesisnya adalah metode kimia yang dapat menggunakan prekursor bahan alam yaitu arang. Dalam penelitian ini, dilakukan sintesis rGO dari bahan arang tempurung kelapa dan arang kayu sengon dengan menggunakan metode Hummer termodifikasi dengan menggunakan osidator kuat KMnO₄, campuran H₂SO₄/H₃PO₄ (9:1) dan asam L-askorbat sebagai reduktor. Hasil sintesis dikarakterisasi dengan menggunakan spektroskopi Raman dan infra merah, sedangkan sifat fisis yang diukur adalah konduktivitas listriknya. Spektra Raman prekursor arang tempurung kelapa, arang kayu dan produk rGO menunjukkan puncak khas dari pita D (modus vibrasi yang berkaitan dengan defek pada struktur grafitik) pada bilangan gelombang ~1340 cm⁻¹ dan G (modus vibrasi berkaitan dengan struktur normal grafit) pada bilangan gelombang ~1590 cm⁻¹. Spektra Raman produk rGO mempunyai kesesuaian dengan pola spektra Raman yang telah dilaporkan oleh peneliti lain yang menindikasikan bahwa rGO sudah terbentuk. Nilai rasio intensitas vibrasi Raman pita D dan pita G (I_D/I_G) produk rGO dari (a) arang tempurung kelapa sebesar 2,471 dan (b) arang kayu sebesar 2,001. Rasio I_D/I_G yang diperoleh menunjukkan bahwa struktur produk rGO mempunyai defek yang besar yang disebabkan karena kandungan pengotor (senyawa karbon berstruktur grafitik) masih banyak. Spektrum IR arang tempurung kelapa, arang kayu, produk rGO menunjukkan puncak IR pada bilangan gelombang ~1060 (modus vibrasi C-O), ~1502 (modus vibrasi C=C), ~1702 (modus vibrasi C=O), dan ~3244 (modus vibrasi O-H) cm⁻¹. Modus vibrasi IR yang teridentifikasi merupakan gugus fungsi dari produk rGO. Hasil pengukuran konduktivitas listrik menunjukkan bahwa nilai konduktivitas listrik dari rGO arang tempurung kelapa, dan rGO arang kayu masing-masing adalah 2,148x10⁻⁷ dan 1,806x10⁻⁵ S/cm. Nilai konduktivitas yang diperoleh masih rendah yang dimungkinkan karena sampel yang diperoleh masih banyak mengandung pengotor.

Kata kunci: asam L-askorbat, arang kayu, arang tempurung kelapa, rGO.

ABSTRACT

Reduced graphene oxide (rGO) material is reported to have several interesting properties and one of the synthesis methods is a chemical method that can use natural material precursors, i.e. charcoal. In this study, the synthesis of rGO from coconut shell charcoal and sengon (*Albizia chinensis*) wood charcoal via the modified Hummer method using the strong oxidizing agent KMnO₄, a mixture of H₂SO₄/H₃PO₄ (9:1) and L-ascorbic acid as a reducing agent. The results of the synthesis were characterized using Raman and infrared spectroscopy, while one of the physical properties measured was the electrical conductivity. The Raman spectra of coconut shell charcoal, wood charcoal, and rGO products showed the D band (The vibration mode corresponds to defects in the graphic structure) at wavenumber ~1340 cm⁻¹ and the G band (The vibrational mode corresponds to the normal structure of graphite) at wavenumber ~1590 cm⁻¹, and the type of Raman spectra of rGO products was in agreement with the Raman spectrum pattern that previously reported by other researchers. The ratio of the Raman vibration intensity of the D band and G band (I_D/I_G) of rGO products from (a) coconut shell charcoal was 2.471, and (b) wood charcoal was 2.001. The ratio I_D/I_G rGO product obtained showed that the structure of the rGO product had a large defect due to impurities (carbon material with graphitic structure) compounds). The IR spectrum of coconut shell charcoal, wood charcoal, and rGO products showed IR peaks at wavenumbers ~1060 (C-O vibrations), ~1502

(C=C vibrations), ~1702 (C=O vibrations), and ~3244 (O-H vibrations) cm^{-1} . The identified IR vibration mode was the functional group of the *r*GO product. The results of the electrical conductivity measurement showed that the electrical conductivity of coconut shell charcoal *r*GO and wood charcoal *r*GO was 2.148×10^{-7} S/cm, and 1.806×10^{-5} S/cm, respectively. The conductivity value obtained was still low which was possible because the sample product still contained many impurities.

Keywords: acid *L*-ascorbate, coconut shell charcoal, *r*GO, wood charcoal

PENDAHULUAN

Grafena adalah alotrop dua dimensi (2D) dari karbon yang tersusun atas kisi heksagonal, dan antar atom terikat secara kimia dengan hibridisasi sp^2 (Rattan *et al.*, 2020 dan Jiat *et al.*, 2019). Struktur 2D memberikan grafena mempunyai sifat yang menarik sehingga berpeluang diaplikasikan ke berbagai bidang seperti pengendalian pencemaran, adsorben, bidang elektronik, penyimpan energi, biomedis, sensor, dan nanokomposit (Lee *et al.*, 2019). Potensi material grafena yang dapat diaplikasikan di berbagai bidang menyebabkan banyak peneliti untuk mensintesis, memodifikasi, dan mempelajari sifat-sifatnya. Grafena yang dioksidasi disebut sebagai oksida grafena (GO) dan dapat diperoleh dari proses oksidasi grafit yang strukturnya tersusun atas karbon heksagonal yang mirip dengan grafena. Struktur senyawa ini tersusun atas epoksida, hidroksil, karboksilat dan gugus karbonil lainnya. Reduksi GO menghasilkan oksida grafena tereduksi (*r*GO) melalui berbagai metode seperti kimia, termal, atau lainnya yang bertujuan untuk mengurangi kandungan oksigennya (Sharma *et al.*, 2017). Proses reduksi pada GO akan mempengaruhi struktur heksagonalnya yaitu dengan keberadaan defek dan hal ini diharapkan dapat meningkatkan konduktivitas listriknya sehingga material ini berpeluang besar digunakan sebagai sensor molekular (Aliyev *et al.*, 2019; Guex *et al.*, 2017; dan Sharma *et al.*, 2017).

Tempurung kelapa dan limbah kayu merupakan salah satu biomassa yang melimpah di bumi dan pemanfaatannya masih sangat terbuka untuk diteliti. Salah satu pemanfaatannya adalah diolah menjadi arang yang tersusun atas atom atom karbon sehingga berpeluang digunakan sebagai bahan baku sintesis grafena. Hal ini telah mendorong banyak peneliti untuk mengkaji pemanfaatannya sebagai prekursor sintesis *r*GO (Mmaduka *et al.*; 2019; Hikmah, *et al.*, 2019

dan Yanti *et al.*, 2019), sehingga dalam penelitian ini akan memanfaatkan arang dari tempurung kelapa dan kayu sebagai bahan baku sintesis *r*GO.

Metode sintesis *r*GO yang paling populer adalah oksidasi grafit secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat untuk mengoksidasi grafit menjadi GO dan selanjutnya dapat diubah menjadi *r*GO melalui proses reduksi. Pada tahap oksidasi grafit sering kali digunakan asam pekat seperti asam sulfat, asam nitrat, dan asam fosfat, kalium permanganat, dan kalium perklorat. Hummers, dan Offeman (1958) menemukan metode kimia untuk mensintesis GO yang terdiri atas dua tahap yaitu (a) tahap oksidasi, dan (b) tahap reduksi. Pada tahap oksidasi digunakan oksidator kuat yaitu KMnO_4 , NaNO_3 dan H_2SO_4 pekat, dan pada tahap ini akan dihasilkan gas beracun NO_2 , N_2O_4 . (Marcano *et al.*, 2010). Sedangkan pada tahap reduksi digunakan reduktor seperti hidrazin hidrat yang merupakan senyawa beracun dan tidak ramah lingkungan (Rattan *et al.*, 2020). Ini menunjukkan bahwa sintesis *r*GO dengan metode kimia melibatkan senyawa-senyawa yang beracun, sehingga diperlukan usaha-usaha untuk membuat metode sintesis yang lebih ramah lingkungan.

Pada penelitian ini, *r*GO disintesis dengan menggunakan metode Hummer yang dimodifikasi oleh Marcano *et al.*, (2010) dengan menggunakan KMnO_4 dan campuran $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_3\text{PO}_4$ (9:1). Metode ini mempunyai keunggulan dengan tidak melepaskan gas beracun sehingga lebih ramah lingkungan. Usaha lain untuk membuat sintesis *r*GO menjadi lebih ramah lingkungan adalah dengan menggunakan reduktor yang tidak beracun. Salah satu reduktor yang ramah lingkungan adalah asam *L*-askorbat yang dilaporkan dapat memproduksi *r*GO dengan kualitas yang baik (Fernandez-Merino *et al.*, 2010). Asam *L*-askorbat memiliki kapasitas sebagai reduktor karena berfungsi ganda dalam reduksi GO

hidrofilik menjadi *rGO* hidrofobik dan konversi ion sisa Mn (VII) menjadi ion Mn (II) terlarut (Zainuddin *et al.*, 2017). Penelitian ini bertujuan untuk melakukan sintesis *rGO* yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan arang tempurung kelapa dan arang kayu sebagai prekursor dan juga menggunakan metode Hummer termodifikasi yaitu (a) kalium permanganat digunakan sebagai zat pengoksidasi kuat dan (b) asam *L*-askorbat sebagai zat pereduksi. Sampel yang diperoleh dikarakterisasi dengan menggunakan spektroskopi Raman, spektroskopi infra merah (IR) dan nilai konduktivitas listriknya diuji dengan alat pengukur induktansi (L), kapasitansi (C), dan resistansi (R) (LCR meter).

MATERI DAN METODE

Bahan

Dalam penelitian ini menggunakan arang tempurung kelapa lokal (Kecamatan Tapen, Bondowoso), arang kayu sengon (Kecamatan Tapen, Bondowoso), sedangkan prekursor yang digunakan adalah H₂SO₄ (Merck, 98%), H₃PO₄ (Merck, 85%), KMnO₄ (Sigma-Aldrich, 99%), air deionisasi, HCl (Merck, 5%), H₂O₂ (Merck, 30%), etilen glikol (Merck), polyvinylidene fluoride (Merck), alkohol, N-methyl-2-pyrrolidone (Merck, NMP), dan asam *L*-askorbat.

Peralatan

Dalam penelitian ini menggunakan: seperangkat alat gelas, *hotplate magnetic stirrer*, *microwave*, spektroskopi (spektrometer Raman Horiba iHR230), spektroskopi Fourier transform infra-red (FTIR) (spektrometer IR Spirit-T Shimadzu) dan LCR-Meter (Hioki 3532-50 LCR HiTester).

Cara Kerja

Sintesis senyawa *rGO* dilakukan melalui dua tahapan yaitu (1) sintesis GO, dan (2) sintesis *rGO* yang dijelaskan di bawah ini

Sintesis GO

Arang tempurung kelapa (3 g) ditambahkan pada campuran 67,5 ml asam sulfat (H₂SO₄) dan 7,5 ml asam fosfat (H₃PO₄). Larutan diaduk selama 30 menit dan ditambahkan kalium permanganat (KMnO₄) sebanyak 9 g secara perlahan dan diaduk pada suhu 20°C dan diaduk pada suhu 35°C selama 1 jam kemudian ditambahkan 50 ml air DI, dan

diaduk selama 1 jam dan kemudian diencerkan dengan penambahan 100 ml air deionisasi/air yang sudah dihilangkan kandungan mineralnya (DI), dilanjutkan dengan pengadukan selama 1 jam (larutan berwarna coklat tua). Kemudian ditambahkan 5 ml asam peroksida (H₂O₂) untuk menghentikan proses oksidasi. Pada tahap ini, larutan berubah warna dari coklat menjadi ungu. Campuran larutan dicuci dengan air DI sampai larutan netral. Sampel dimasukkan ke dalam oven pada suhu 60°C selama 12 jam untuk membentuk serbuk GO. Langkah yang sama dilakukan untuk prekursor dari arang kayu.

Sintesis *rGO*

GO (2 g) dilarutkan dalam larutan etilen glikol (268 ml) kemudian dilanjutkan dengan proses sonikasi selama 2 jam menggunakan reaktor sonikasi. Kemudian proses reduksi menggunakan 16 g (0,09 mol) padatan asam *L*-askorbat sebagai agen pereduksi dengan bantuan radiasi gelombang mikro (Panasonic 800W pada *low mode*) selama 20 menit. Hasil reduksi disaring dan dicuci dengan air DI dan alkohol. Kemudian dilakukan pengeringan pada suhu 60°C selama 12 jam. Langkah yang sama digunakan untuk sintesis *rGO* dengan bahan baku dari arang kayu.

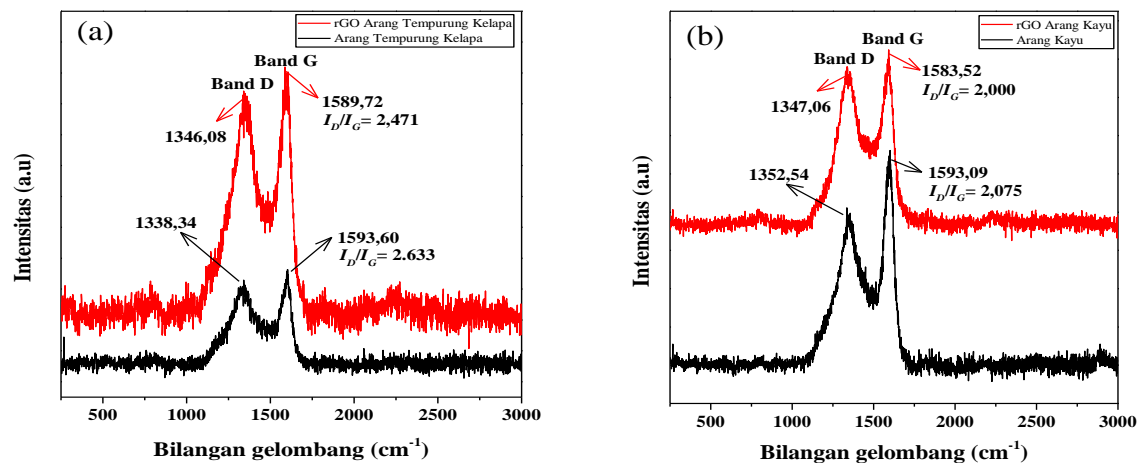
HASIL DAN PEMBAHASAN

Spektra Raman arang tempurung kelapa, arang kayu dan produk *rGO* ditampilkan pada Gambar 1 dan dapat dilihat keberadaan dua puncak pada posisi ~1340 dan ~1590 cm⁻¹. Kedua puncak tersebut merupakan pita *D* (~1340 cm⁻¹) dan *G* (~1590 cm⁻¹). Pita *D* berasal dari vibrasi pada defek pada struktur grafitik sedangkan pita *G* berasal dari vibrasi pada struktur normal grafit. Kedua puncak ini merupakan modus vibrasi Raman khas dari material berbasis karbon (Ohno *et al.*, 2012). Spektra Raman sampel target *rGO* yang diperoleh memiliki kemiripan dengan laporan Hidayah *et al.*, (2017) dan Selvakumar *et al.*, (2017). Hal ini mengindikasikan bahwa sampel target *rGO* berhasil diperoleh. Di lain pihak, Soltani dan Lee (2017) melaporkan bahwa *rGO* produk yang diperoleh mempunyai pita *D* pada bilangan gelombang 1362 cm⁻¹ (dengan intensitas lebih tinggi) dan pita *G* pada bilangan gelombang 1587 cm⁻¹ (dengan intensitas lebih rendah). Perbedaan nilai intensitas menunjukkan bahwa kandungan komposisi

material produk dengan struktur grafitik adalah berbeda .

Nilai intensitas pita *D* dan *G* yang diperoleh dihitung rasio intensitas pita *D* (I_D) dan pita *G* (I_G) yang digunakan untuk analisis defek pada struktur senyawa *rGO* (Sujiono *et al.*, 2020 dan Guex *et al.*, 2017). Rasio intensitas I_D/I_G yang diperoleh dirangkum pada Tabel 1 dan diperoleh hasil bahwa nilai rasio intensitas I_D/I_G yang diperoleh tinggi. Hal ini menandakan bahwa struktur pada semua sampel didominasi oleh defek pada struktur karbon yang ditandai dengan keberadaan pita *D* pada bilangan gelombang 1338,34 cm^{-1} (Guex *et al.*, 2017 dan Bharat *et al.*, 2017). Dari Tabel 1 juga diperoleh hasil bahwa nilai rasio I_D/I_G *rGO* lebih rendah dibandingkan dengan bahan asalnya, yang mengindikasikan adanya perubahan struktur yang berhubungan dengan menurunnya jumlah defek selama sintesis. Sujiono *et al.* (2020) menyatakan bahwa jika

nilai rasio intensitas I_D/I_G kurang dari 2 maka material berbasis karbon mempunyai struktur yang bagus dikarenakan nilai nilai rasio intensitas I_D/I_G material produk lebih dari 2. Hal ini menunjukkan bahwa *rGO* yang diperoleh mempunyai kualitas yang kurang bagus. Hasil perhitungan rasio intensitas I_D/I_G *rGO* arang tempurung kelapa adalah 2,471 dan *rGO* arang kayu sebesar 2,001 yang mengindikasikan bahwa senyawa target *rGO* masih banyak mengandung senyawa pengotor dan dimungkinkan adalah senyawa karbon berstruktur grafitik. Ini juga didukung jika bahwa spektrum Raman arang tempurung kelapa dan kayu memiliki kemiripan dengan spektrum Raman senyawa target *rGO*. Hal ini menunjukkan bahwa proses reduksi kurang maksimal, sehingga dapat dinyatakan bahwa kemampuan asam *L*-askorbat sebagai reduktor pada sintesis *rGO* pada penelitian ini masih belum kuat.



Gambar 1. Spektra Raman (a) Arang Tempurung Kelapa dan Produk *rGO* nya, dan (b) Arang Kayu, dan Produk *rGO* nya

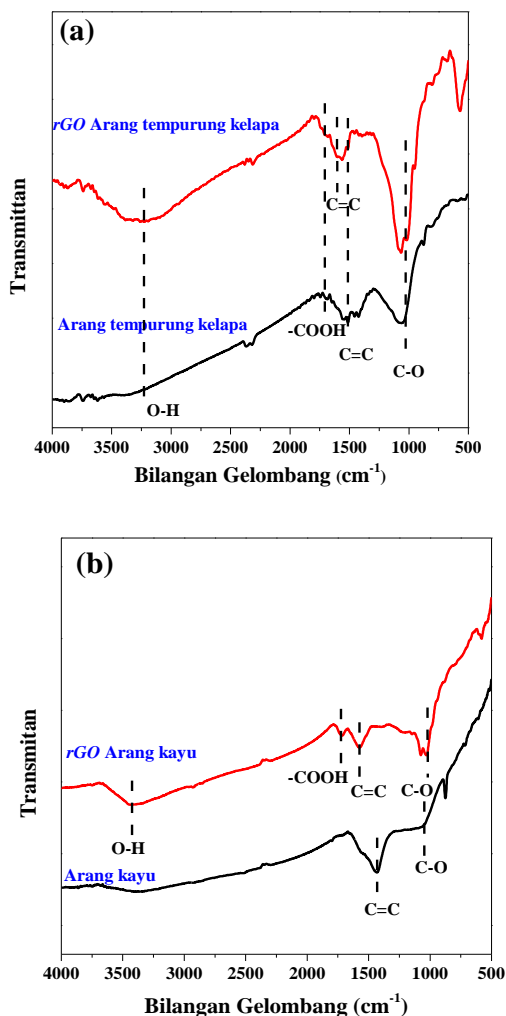
Tabel 1. Rasio I_D/I_G

Sampel	Rasio I_D/I_G
Arang tempurung kelapa	2,630
Arang kayu	2,075
<i>rGO</i> arang tempurung kelapa	2,471
<i>rGO</i> arang kayu	2,000

Spektra IR yang diperoleh semua sampel uji ditampilkan pada Gambar 2. Pada spektrum

IR arang tempurung kelapa dan arang kayu ditemukan modus vibrasi IR pada bilangan gelombang 3436 cm^{-1} yang merupakan *stretching* O-H yang dimungkinkan dari serapan air pada *pellet* KBr. Intensitas puncak vibrasi O-H menguat pada spektrum IR sampel *rGO* yang diduga dari *pellet* KBr dan dari sisa proses sintesis (Bharat *et al.*, 2017). Keberadaan gugus OH pada *rGO* sampel juga teridentifikasi pada modus vibrasi IR lemah pada bilangan gelombang 1365 cm^{-1} . Modus

vibrasi IR pada bilangan gelombang 1702 cm⁻¹ (vibrasi C=O) ditemukan pada spektrum IR sampel rGO dengan intensitas rendah. Hal ini disebabkan karena sampel rGO mengalami proses pengurangan oksigen sebagai akibat dari pembentukan rGO melalui mekanisme pengurangan oksigen pada GO (Morimoto *et al.*, 2016)



Gambar 2. Spektra IR (a) Arang Tempurung Kelapa dan Produk rGO nya (b) Arang Kayu dan Produk rGO nya

Untuk mengetahui sifat listrik dari sampel, dilakukan uji konduktivitas listrik menggunakan LCR meter yang hasilnya dirangkum pada Tabel 2 dan Dari dua bahan baku tersebut diketahui bahwa konduktivitas arang kayu lebih tinggi yang dimungkinkan karena pengaruh kandungan lain (senyawa) pada masing-masing bahan baku. Sampel rGO dari arang kayu memiliki konduktivitas yang lebih tinggi dibandingkan rGO dari arang tempurung kelapa, yaitu sebesar 1,806x10⁻⁵

S/cm. Perbedaan nilai yang diperoleh juga dimungkinkan karena perbedaan kandungan pada masing-masing senyawa produk rGO. Dari nilai konduktivitas produk rGO menunjukkan bahwa sampel bersifat sebagai semikonduktor seperti klasifikasi yang dinyatakan oleh Callister (2007) bahwa nilai konduktivitas listrik semikonduktor pada rentang 10⁶-10⁴ Ω/m atau antara 10⁻⁸-10³ S/cm. Konduktivitas sampel rGO baik dari arang tempurung kelapa dan arang kayu lebih rendah dari konduktivitas arang sebelum disintesis, hal ini dikarenakan saat proses sintesis terjadi defek atau cacat yang disebabkan oleh asam kuat yang digunakan. Rendahnya nilai konduktivitas ini juga bisa dikaitkan dengan data spektra IR pada Gambar 2, di mana intensitas gugus fungsi oksigen (hidroksil) mengalami peningkatan intensitas yang mengindikasikan adanya perubahan konsentrasi gugus fungsi oksigen (hidroksi). Mohan *et al.* (2018) menyatakan bahwa perubahan konsentrasi pada oksigen, hidroksil, karboksilik dan epoksida berpengaruh pada luas permukaan material sehingga berpengaruh pada sifat konduktivitasnya. Akan tetapi dalam penelitian ini tidak dilakukan pengukuran luas permukaan sehingga tidak diketahui secara pasti pengaruh perubahan gugus fungsi pada konduktivitasnya. Di samping itu keberadaan pengotor yaitu senyawa karbon berstruktur grafitik juga diduga mempengaruhi nilai konduktivitas dari material produk. Hasil penelitian keseluruhan menunjukkan bahwa metode sintesis yang digunakan berpeluang digunakan akan tetapi masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan hasil yang lebih bagus.

Tabel 2. Nilai Konduktivitas Listrik Arang Tempurung Kelapa, Arang Kayu, dan Produk rGO nya

Sampel	Konduktivitas (S/cm)
Arang tempurung kelapa	6,945x10 ⁻⁶
rGO arang tempurung kelapa	2,148x10 ⁻⁷
Arang kayu	2,779x10 ⁻⁴
rGO arang kayu	1,806x10 ⁻⁵

SIMPULAN

Material rGO telah berhasil terbentuk menggunakan metode Hummer termodifikasi akan tetapi masih ditemukan pengotor yang

dimungkinkan adalah senyawa karbon berstruktur grafitik. Spektra Raman sampel menunjukkan rGO arang tempurung kelapa dan arang kayu memiliki defek pada strukturnya yang ditunjukkan pada tingginya nilai rasio intensitas I_D/I_G . Spektra IR pada sampel rGO arang tempurung kelapa dan arang kayu menunjukkan bahwa telah terbentuk gugus C-O, C=O, O-H, dan C=C. Nilai konduktivitas listrik rGO arang kayu lebih tinggi dibandingkan rGO arang tempurung kelapa tapi nilai konduktivitas produk rGO masih rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Aliyev, E., Filiz, V., Khan, M. M., Lee, Y. J., Abetz, C., Abetz, V. 2019. Structural Characterization of Graphene Oxide: Surface Functional Groups and Fractionated Oxidative Debris. *Nanomaterials*. 9 (8): 1-15.
- Bharat, G., Latha, S.B., Alshareah, E. H., Prakashd, P., Ponpandian, N. 2017. Enhanced Hydroxyapatite Nanorods Formation on Graphene Oxide Nanocomposite as a Potential Candidate for Protein Adsorption, pH Controlled Release and an Effective Drug Delivery Platform for Cancer Therapy. *Anal. Methods*. 9: 240.
- Callister, W. D. 2007. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 7th Ed. New York: John Wiley & Sons.
- Fernandez-Merino, M. J., Guadian, L., Paredes, J. I., Villar-Rodil, S., Solis-Fernandez, P., Martinez-Alonzo, A., Tascon, J.M.D. 2010. Vitamin C is an Ideal Substitute for Hydrazine in the Reduction of Graphene Oxide Suspensions. *J. Phys. Chem. C*. 114: 6426–6432.
- Guex, L. G., Sacchi, B., Peuvot, K. F., Andersson, R. L., Pourrahimi, A. M., Strom, V., Farris, S., Olsson, R. T. 2017. Experimental Review: Chemical Reduction of Graphene Oxide (GO) to Reduced Graphene Oxide (rGO) by Aqueous Chemistry. *Nanoscale*. 9: 9562-9571.
- Hidayah, N. M. S., Liu, W. W., Lai, C. W., Noriman, N. Z., Khe, C. S., Hashim, U., Lee, H. C. 2017. Comparison on Graphite, Graphene Oxide and Reduced Graphene Oxide: Synthesis and characterization. *AIP Conference Proceedings*. 1892: 150005.
- Hikmah, U., Stavila, E., Suhendar, D., Aimon, A. H., Iskandar, F. 2019. The Effect of Microwave Duty Cycle on The Electrical Conductivity of Reduced Graphene Oxide (rGO). *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1204, 012076.
- Jiat, L. X., Zhang, H. B. Y., Chiew, L. K., Yee, L. L., Suyin, G., Gopakumar, S. T., Rigby, S. 2019. Review on Graphene and It's Derivatives: Synthesis Methods and Potential Industrial Implementation. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 98: 163-180.
- Marcano, C. D., Kosynkin, D. V., Berlin, J. M., Sinitskii, A., Sun, Z., Slesarev, A., Alemany, L.B., Lu, W., Tour, J.M. 2010. Improved Synthesis of Graphene Oxide. *ACS Nano*. 4, 8: 4806–4814.
- Mohan, V. B., Jakisch, L., Jayaraman, K., Bhattacharyya, D. 2018. Role of Chemical Functional Groups on Thermal and Electrical Properties of Various Graphene Oxide Derivatives: a Comparative X-Ray Photoelectron Spectroscopy Analysis. *Mater. Res. Express*. 5, 035604.
- Morimoto, N., Kubo, T., Nishina, Y. 2016. Tailoring the Oxygen Content of Graphite and Reduced Graphene Oxide for Specific Applications. *Sci. Rep.* 6: 21715.
- Ohno, K., Babich, A., Mitsui, J., Maeda, T., Senk D., Gudenau, H.W., Shimiza, K. 2012. Effects of Charcoal Carbon Crystallinity and Ash Content on Carbon Dissolution in Molten Iron and Carburization Reaction in Iron-Charcoal Composite. *ISIJ Int.* 52 8: 1482–1488.
- Rattan, S., Kumar, S., Goswamy, J.K. 2020. Graphene Oxide Reduction Using Green Chemistry. *Mater. Today: Proc.* 26, 3: 3327–3331.
- Sharma, N., Sharma, V., Jain, Y., Kumari, M., Gupta, R., Sharma, S. K., Sachdev, K. 2017. Synthesis and Characterization of Graphene Oxide (GO) and Reduced Graphene Oxide (rGO) for Gas Sensing Application. *Macromol. Symp.* 376: 1700006.

- Soltani, T., Lee, B.Y. 2017. A Benign Ultrasonic Route to Reduced Graphene Oxide from Pristine Graphite. *J. Colloid Interface Sci.* 486: 337–43.
- Sujiono, E. H., Zurnansyah, Zabrian, D., Dahlan, M. Y., Amin, Samnur, B. D., Agus, J. 2020. Graphene Oxide Based Coconut Shell Waste: Synthesis by Modified Hummers Method and Characterization. *Heliyon.* 6, 8: E04568.
- Yanti, D. R., Hikmah, U., Prasetyo, A., Hastuti, E. 2019. The Effect of Microwave Irradiation on Reduced Graphene Oxide from Coconut Chells. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.* 456: 012008.
- Zainuddin, M. F, Raikhan, N. H. N., Othman, N. H., Abdullah, W. F. H. 2017. Synthesis of Reduced Graphene Oxide (rGO) using Different Treatments of Graphene Oxide (GO). *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.* 358: 012046.