



SISTESIS GRAFENA DARI BAHAN TEMPURUNG KELAPA, LONTAR DAN KEMIRI MENGGUNAKAN METODE HUMMER TERMODIFIKASI

Iswadi I Patunrengi¹, Nur Eka², Sri Zelviani³, Aisyah⁴ dan Nurul Fuadi⁵

^{1,2,3,5}*Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Alauddin Makassar*

⁴*Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Alauddin Makassar*

Email: wadi.phys.dept@uin-alauddin.ac.id

ABSTRACT: Research has been conducted that aims to find out the graphene characteristics of coconut shell, hazelnut shell and lontar shell and to find out the effect of material type on graphene conductivity value. Graphene is one or more layers of carbon atoms that make up the hexagonal structure and has emerged as the leader of nanoscale two-dimensional carbon materials. Graphene has unique physical and chemical properties such as quantum effects as well as electron mobility and high conductivity. Due to its unique nature, graphene has sparked enormous interest in all fields such as electronic and energy devices, catalysts, sensors, and capacitors. In the manufacture of graphite carbon using a strong acid battery, phosphoric acid (H_3PO_4) then continued with the synthesis of graphene oxide using the modified hummer method which is then reduced to graphene. Based on research conducted obtained data for graphite carbon has met the Indonesian National Standard (SNI-06-3730-1995). *X-Ray Diffraction (XRD)* characterization produced the diffractogram pattern with the highest peak values in each sample of 44.0562° , 44.0537° and 44.0513° respectively and produced an amorphous shape. Furthermore, the characterization of *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)* is known to have a function group in each sample, namely O-H, C = O, C = C, and C-O. The results of electrical conductivity tests conducted on graphene samples of coconut shell, hazelnut shell and lontar shell obtained values of 0,0040 S/cm, 0,0037 S/cm dan 0,0041 S/cm, respectively.

ABSTRAK: Telah dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik graphene tempurung kelapa, tempurung kemiri dan tempurung lontar serta untuk mengetahui pengaruh jenis material terhadap nilai konduktivitas graphene. Grafena adalah satu atau lebih lapisan atom karbon yang membentuk struktur heksagonal dan telah muncul sebagai pemimpin bahan karbon dua dimensi skala nano. Grafena memiliki sifat fisik dan kimia yang unik seperti efek kuantum serta mobilitas elektron dan konduktivitas yang tinggi. Karena sifatnya yang unik, graphene telah memicu minat yang sangat besar di semua bidang seperti perangkat elektronik dan energi, katalis, sensor, dan kapasitor. Dalam pembuatan grafit karbon menggunakan baterai asam kuat, asam fosfat

*corresponding autho: Email: wadi.phys.dept@uin-alauddin.ac.id

DOI:

(H₃PO₄) kemudian dilanjutkan dengan sintesis grafena oksida menggunakan metode hummer yang dimodifikasi yang kemudian direduksi menjadi grafena. Berdasarkan penelitian yang dilakukan diperoleh data untuk grafit karbon telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI-06-3730-1995). Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD) menghasilkan pola difraktogram dengan nilai puncak tertinggi pada masing-masing sampel masing-masing sebesar 44.05620, 44.05370 dan 44.05130 dan menghasilkan bentuk yang amorf. Selanjutnya karakterisasi Fourier Transform Infra-Red (FTIR) diketahui memiliki gugus fungsi pada setiap sampel yaitu O-H, C = O, C = C, dan C-O. Hasil uji konduktivitas listrik yang dilakukan pada sampel graphene tempurung kelapa, tempurung kemiri dan tempurung lontar diperoleh nilai masing-masing sebesar 0,0040 S/cm, 0,0037 S/cm dan 0,0041 S/cm.

Kata Kunci: Grafena, konduktivitas, hammer termodifikasi.

PENDAHULUAN

Populasi dunia saat ini kurang lebih mencapai tujuh milyar penduduk, diperkirakan akan bertambah hingga mencapai sembilan milyar pada tahun 2050. Jumlah tersebut akan terus meningkat hingga mencapai sembilan milyar pada 2100 (Lee, 2013). Peningkatan jumlah penduduk dan perkembangan ekonomi yang sangat cepat akan mengakibatkan semakin tingginya kebutuhan akan energi. Konsumsi energi dunia 86 % berasal dari bahan bakar fosil. Namun, ada beberapa kelemahan dari bahan bakar fosil yaitu polusi dan penyumbang karbondioksida (Cheng, 2012). Dengan demikian, dibutuhkan suatu sumber energi alternatif yang baru dan terbarukan yang dapat mengurangi ketergantungan akan bahan bakar fosil. Salah satunya yaitu grafena. Grafena merupakan satu atau beberapa lapis atom karbon yang membentuk struktur heksagonal dan telah muncul sebagai pemimpin dari material karbon dua dimensi berskala nano (Geim, 2007). Grafena memiliki sifat fisika dan kimia yang unik seperti efek kuantum serta mobilitas elektron dan konduktivitas yang tinggi. Karena sifatnya yang unik, grafena telah memicu minat yang sangat besar disegala bidang seperti sebagai perangkat elektronik dan energi, katalis, sensor, dan kapasitor (Chang, 2011).

Produksi buah kelapa setiap tahunnya terhitung total 3.2 ton. Hasil minyak dari daging kelapa umumnya digunakan sebagai bahan baku rumah tangga dan industri, sedangkan tempurung kelapa digunakan untuk keperluan rumah tangga namun masih banyak yang menjadi limbah (Pinatik, 2014). Tempurung kelapa mempunyai nilai *fixed carbon* sebesar 74.62%. Tempurung kemiri memiliki tekstur yang cukup keras sehingga sulit untuk menguraikannya. Tempurung kemiri mengandung kadar karbon yang cukup tinggi yaitu 51,08 %. Tanaman lontar memiliki bentuk daun yang bundar, buahnya besar,

bulat dan dilindungi oleh tempurung yang berwarna coklat kehitaman. Sampai saat ini pemanfaatan tanaman lontar hanya terbatas pada buah dan batangnya saja, sedangkan tempurungnya hanya menjadi limbah yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Tempurung buah lontar mengandung karbon yaitu sekitar 44,58% (wb) (Dewati, 2010). Ketiga jenis limbah hasil pertanian tersebut memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi sehingga dapat menjadi bahan baku pembuatan karbon aktif yang dimana dapat diolah lebih lanjut menjadi material grafena.

Berdasarkan uraian diatas hal yang melatarbelakangi dilakukannya penelitian ini yaitu diharapkan dapat menghasilkan grafena yang dapat dimanfaatkan dalam bidang industri dan teknologi serta dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang di kehidupan sehari-hari.

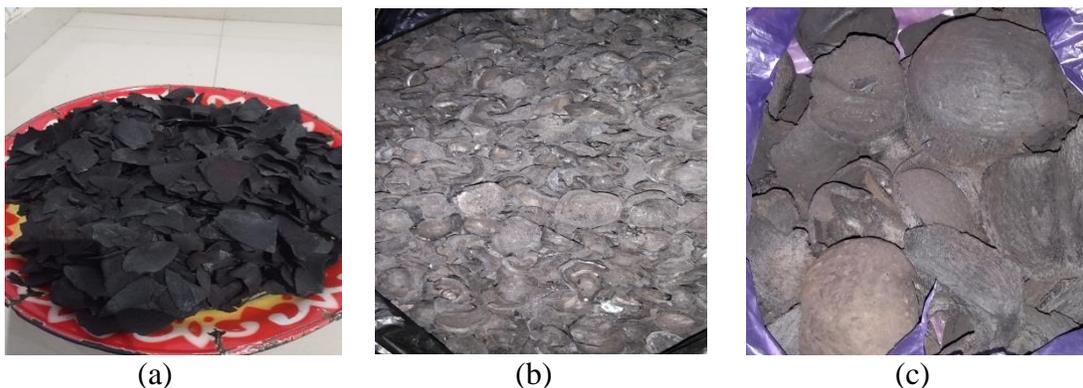
METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Instrumen XRD (*X-Ray Diffraction*), instrumen FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*), alat uji LCR Meter, drum tungku bakar, gelas kimia, gelas ukur, corong, *magnetic stirrer*, ayakan mesh 170, *icebath*, *centrifuge* dan tabung *centrifuge*, oven sharp dan manmert, neraca digital, desikator, tanur, pH meter, mortar dan alu, spatula dan mikrometer sekrup. Bahan yang digunakan diantaranya tempurung kelapa, tempurung kemiri dan tempurung lontar, *asam fosfat* (H_3PO_4), *asam sulfat* (H_2SO_4), *natrium nitrat* ($NaNO_3$), *kalium permanganat* ($KMnO_4$), *hidrogen peroksida* (H_2O_2), *asam klorida* (HCl), PEG (*Polyethylene Glycol*), etanol, aquades, aluminium foil, kertas saring, sarung tangan dan tisu.

Pembuatan Karbon Aktif

Diawali dengan preparasi sampel tempurung kelapa, kemiri dan lontar yang dibersihkan dari serabut dan sisa-sisa daging buah yang menempel kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari ± 24 jam. Selanjutnya dilakukan proses karbonisasi, yaitu proses pembakaran dengan menggunakan drum tungku bakar. Pada tempurung kelapa dilakukan pembakaran selama ± 5 jam, tempurung kemiri selama ± 6 jam dan tempurung lontar ± 3 jam.



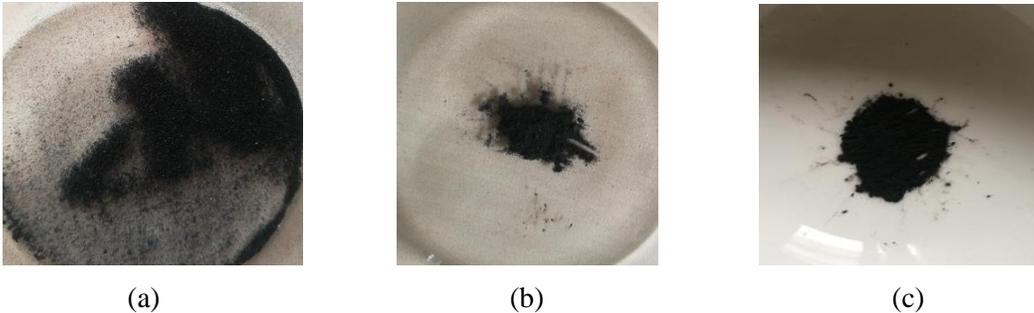
Gambar 1. Hasil karbonisasi, (a) tempurung kelapa, (b) kemiri dan (c) lontar

Setelah berbentuk arang, digerus dengan menggunakan mortar dan alu lalu diayak dengan menggunakan ayakan mesh 170 selama 15 menit. Tahap selanjutnya yaitu arang tempurung kelapa, kemiri dan lontar diaktivasi dengan cara direndam dengan menggunakan 100 mL larutan asam fosfat (H_3PO_4) dengan konsentrasi 3M masing-masing sebanyak 50 gram selama 24 jam. Karbon aktif yang dihasilkan kemudian dicuci dengan menggunakan aquades sampai mencapai pH netral lalu disaring dengan menggunakan kertas saring. Kemudian dikeringkan di dalam oven dengan suhu $110^{\circ}C$ selama ± 2 jam. Selanjutnya dilakukan uji kadar air dan kadar abu pada karbon aktif.

Sintesis Grafena

Proses sintesis grafena oksida dilakukan dengan menggunakan metode hummer termodifikasi. Masing-masing 2 gr grafit tempurung kelapa, kemiri dan lontar dilarutkan dalam 98 ml H_2SO_4 98%, dilakukan proses stirring dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit dengan temperatur konstan $0-5^{\circ}C$ di dalam *icebath*. Penambahan serbuk $KMnO_4$ sebanyak 8 gram dan serbuk $NaNO_3$ sebanyak 4 gram yang dilakukan secara bertahap selama 40 menit. Proses stirring kemudian dilanjutkan selama 2 jam. Setelah melakukan penambahan $KMnO_4$ dan $NaNO_3$ larutan mengalami perubahan warna dari hitam mengkilat menjadi kehijauan. Selanjutnya dilakukan penambahan aquades sebanyak 200 ml untuk mengurangi kepekatan pada larutan. Untuk mengurangi sisa ion MnO_4 dan MnO_2 menjadi Mangan Sulfat terlarut dilakukan penambahan H_2O_2 30% sebanyak 15 ml. Larutan kemudian *dicentrifuge* dengan kecepatan 3000 rpm selama 1 jam. Endapan yang diperoleh dari proses *centrifuge* kemudian dicuci dengan menggunakan HCl 35% sebanyak 25 ml yang bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa ion logam. Selanjutnya dicuci kembali dengan aquades untuk menetralkan pH dan dikeringkan didalam muffle furnace selama ± 12 jam dengan temperatur $110^{\circ}C$.

Sebanyak 60 mg masing-masing grafit oksida dari tempurung kelapa, kemiri dan lontar ditambahkan 60 ml aquadest pada gelas kimia yang berbeda-beda. Masing-masing larutan di string hingga homogen. Setelah larutan homogen, dilakukan proses ultrasonikasi selama 120 menit. Kemudian, sebanyak 10 ml HCl 35% ditambahkan ke dalam larutan dengan keadaan non stirring. Grafit oksida direduksi dengan penambahan 1,6 gram Zn. Setelah proses reduksi, selanjutnya dilakukan stirring selama 30 menit dengan penambahan HCl 35% sebanyak 10 ml untuk menghilangkan sisa-sisa Zn pada larutan. Selanjutnya dilakukan pencucian dengan dua tahap yaitu tahap pertama dengan menggunakan HCl 5% untuk menghilangkan sisa ion logam, tahap kedua menggunakan aquades hingga didapatkan pH netral. Endapan kemudian dimasukkan ke dalam muffle furnace untuk proses hidrotermal dengan temperatur 160°C selama 12 jam.



Gambar 2. Grafena (a) tempurung kelapa; (b) tempurung kemiri; (c) tempurung lontar

Karakterisasi Grafena

Sampel grafena dikarakterisasi menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) untuk mengetahui fasa kristal dan kemurnian dari sampel yang terbentuk. Menggunakan Fourier Transform Infra-Red (FTIR) untuk mengetahui jenis ikatan dan gugus fungsi yang terkandung pada sampel.

Uji Konduktivitas Grafena

Serbuk grafena ditambahkan *Polyethylene Glycol* (PEG 4000) kemudian ditambahkan etanol 96% sampai larutan mengental (slurry). Metode doctor blade dilakukan dengan meneteskan slurry diatas lembaran aluminium foil yang telah dibentuk persegi dengan menggunakan selotip kertas berukuran 1 cm x 1 cm lalu dipanaskan diatas hotplate selama 45 menit dengan suhu 250°C . Dengan menggunakan persamaan Lee., dkk (1991) maka nilai konduktivitas listrik bahan dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$G = \frac{1}{R} \quad (1)$$

dan

$$\sigma = G \left(\frac{L}{A} \right) \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan secara bertahap dimulai dengan pembuatan karbon grafit dengan proses karbonisasi dan proses aktivasi. Dilanjutkan dengan analisa kadar air dan kadar abu pada sampel grafit untuk mengetahui apakah grafit yang telah dibuat sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI-06-3730-1995). Selanjutnya dilakukan sintesis grafena oksida dengan menggunakan metode hummer termodifikasi. Grafena yang diperoleh kemudian dianalisis dengan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) untuk mengetahui fasa kristal pada grafena, analisis gugus fungsi dengan menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*) dan uji konduktivitas.

Analisa Kadar Air dan Kadar Abu Karbon Aktif

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui kandungan air yang tersisa pada karbon grafit setelah melalui proses pengaktifan dengan zat aktivator (Prawirohatmodjo, 2004). Setelah dilakukan uji kadar air dilanjutkan dengan uji kadar abu. Pengujian kadar abu bertujuan untuk mengetahui jumlah oksida yang terkandung pada karbon aktif. Semakin banyak oksida, maka kadar abu karbon aktif semakin tinggi (Pari, 2001). Hasil penelitian analisa kadar air dan kadar abu pada karbon aktif tempurung kelapa, kemiri dan lontar dapat dilihat pada tabel 1.

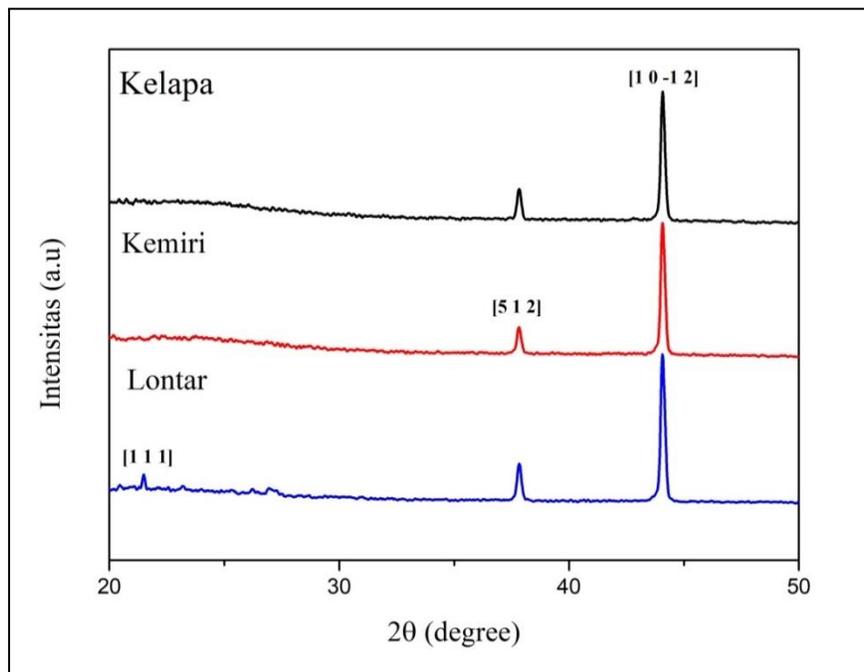
Tabel 1. Hasil analisis uji kadar air dan kadar abu karbon grafit

Variabel Uji	Karbon Aktif Kelapa	Karbon Aktif Kemiri	Karbon Aktif Lontar	SNI 06-3730-1995
Kadar Air	0,0001%	0,0063%	0,0018%	Maksimal 15%
	0,0007%	0,0034%	0,003%	
Kadar Abu	0,999%	0,985%	0,994%	Maksimal 10%
	0,986%	0,995%	0,991%	

Diperoleh data kadar air terendah pada karbon grafit kelapa yaitu 0,0001% dan 0,0007%, karbon grafit lontar memiliki kadar air sebesar 0,0018% dan 0,003% sedangkan pada karbon grafit kemiri memiliki kadar air yang cukup tinggi yaitu 0,0063% dan 0,0034%. Hasil pengujian ketiga sampel karbon grafit tersebut telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI-06-3730-1995). Selanjutnya pada pengujian kadar abu diperoleh kadar abu terendah pada karbon grafit lontar yaitu 0,994% dan 0,991%, karbon grafit kemiri memiliki kadar abu sebesar 0,985% dan 0,995% sedangkan pada karbon grafit tempurung kelapa memiliki kadar abu sebesar 0,999% dan 0,986%. Hasil pengujian kadar abu dari ketiga sampel telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI-06-3730-1995) yaitu maksimal 10%.

Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD)

Karakterisasi sampel dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) bertujuan untuk mengetahui struktur, komposisi dan tingkat kristal material suatu padatan dimana difraktogram yang dihasilkan menunjukkan puncak karakterisasi tingkat kristalinitas dari suatu padatan dari sampel, sampel dengan kristalinitas yang baik menunjukkan intensitas ketajaman puncak yang tinggi (Yuningsih dan Anggraeni, 2019). Hasil difraktogram grafena dengan XRD tipe *shimadzu* 7000 dapat dilihat pada gambar 4.2

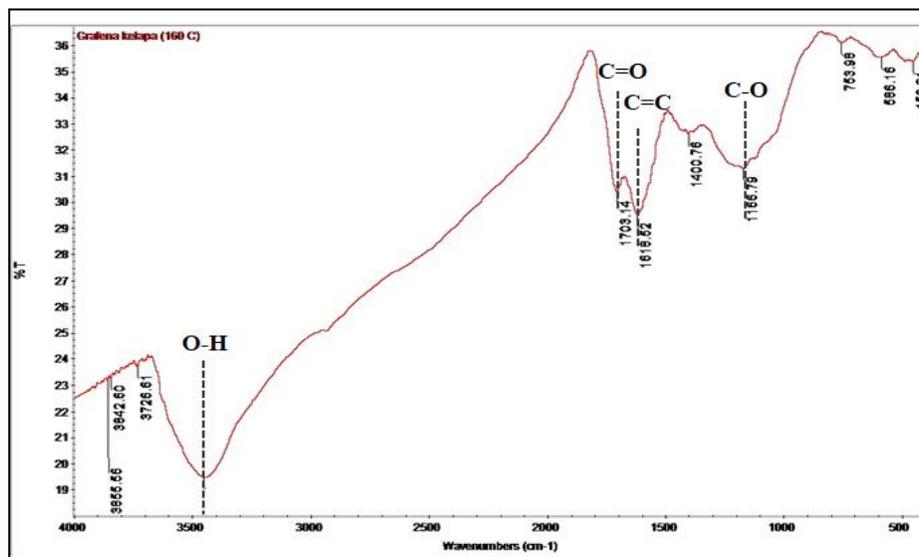


Gambar 3. Pola difraktogram XRD pada sampel grafena tempurung kelapa, kemiri dan lontar

Gambar 3 menunjukkan Pola difraktogram menunjukkan beberapa bidang hkl seperti (220), (011) dan (10-12) di beberapa sudut 2θ tertentu. Seperti yang dilaporkan Zhank Dkk (2014), bahwa grafena memiliki dua puncak pola difraksi (*peak*) pada sudut 2θ sekitar 20° dan 40° . Dari hasil yang diperoleh hanya pada sampel grafena kemiri dan grafena lontar yang memiliki puncak pola difraksi (*peak*) pada sudut 2θ yaitu pada kemiri 20.1630° dan 44.0537° dan pada lontar 21.4773° dan 44.0513° . Sedangkan pada sampel grafena kelapa tidak terbentuk puncak pola difraksi (*peak*) pada sekitar sudut 20° . Hal ini menunjukkan bahwa pada sampel grafena terdapat beberapa kandungan unsur seperti karbon, kalsium, fosfor dan kalium

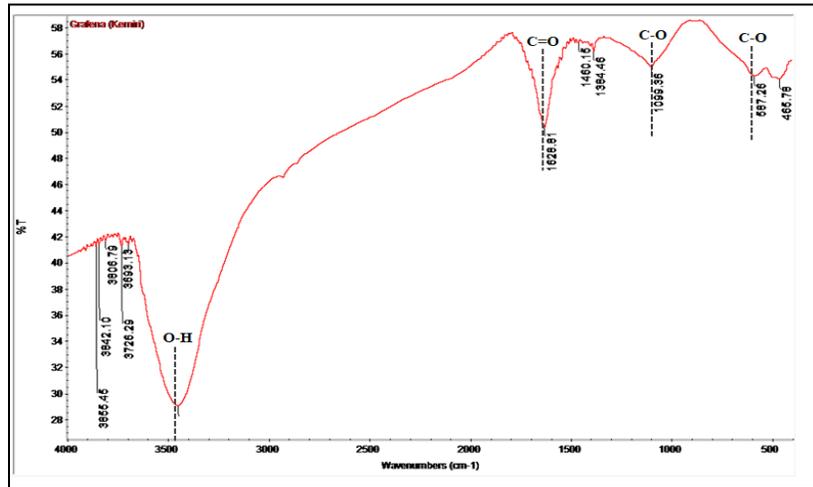
Karakterisasi *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR)

Karakterisasi sampel dengan menggunakan instrumen *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung pada setiap sampel.



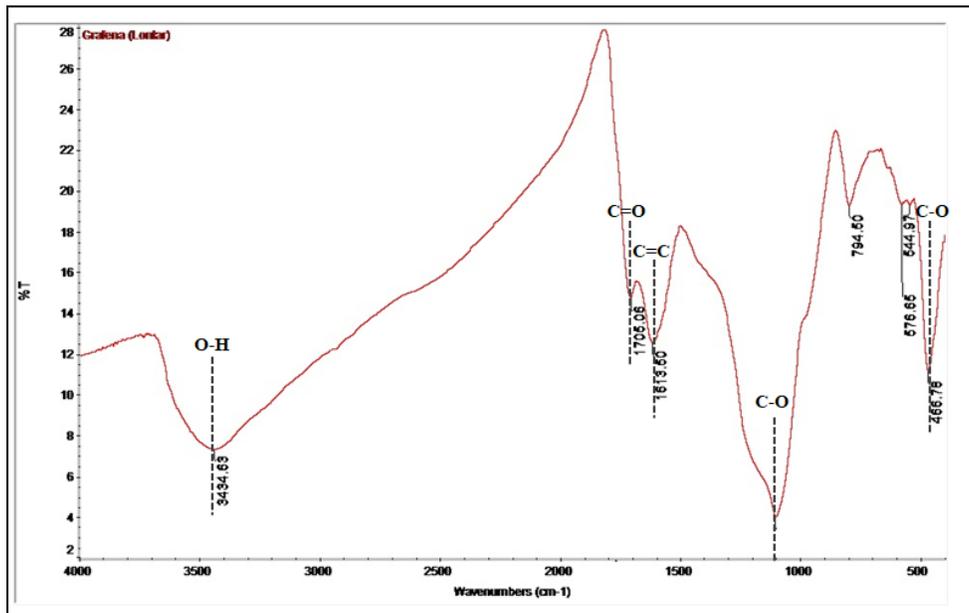
Gambar 4. Hasil karakterisasi FTIR grafena kelapa

Pada sampel kelapa menunjukkan adanya gugus fungsi O-H yang dibuktikan dengan adanya serapan pada panjang gelombang $3492,03 \text{ cm}^{-1}$, gugus fungsi C=O pada panjang gelombang $1703,14 \text{ cm}^{-1}$, gugus fungsi C=C pada panjang gelombang $1618,62 \text{ cm}^{-1}$, dan gugus fungsi C-O pada panjang gelombang $1166,79 \text{ cm}^{-1}$ sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 5. Hasil karakterisasi FTIR grafena kemiri

Gambar 5 menunjukkan bahwa pada sampel kemiri hasil menunjukkan adanya gugus fungsi O-H pada panjang gelombang $3480,91\text{ cm}^{-1}$, gugus fungsi C=O pada panjang gelombang $1628,81\text{ cm}^{-1}$, dan gugus fungsi C-O pada panjang gelombang $1099,36\text{ cm}^{-1}$ dan $687,26\text{ cm}^{-1}$.



Gambar 6. Hasil karakterisasi FTIR grafena lontar

Pada sampel lontar menunjukkan adanya gugus fungsi O-H pada panjang gelombang $3434,63\text{ cm}^{-1}$, gugus fungsi C=O pada panjang gelombang $1706,06\text{ cm}^{-1}$, gugus fungsi C=C pada panjang gelombang $1613,60\text{ cm}^{-1}$ dan gugus fungsi C-O pada panjang gelombang $1655,13\text{ cm}^{-1}$ dan $4566,78\text{ cm}^{-1}$ seperti yang ditunjukkan gambar 6.

Uji Konduktivitas Listrik

Pengujian dengan menggunakan LCR meter bertujuan untuk mengetahui konduktivitas listrik pada suatu bahan. Hasil keluaran yang dihasilkan pada pengukuran dengan menggunakan LCR meter diperoleh nilai resistansi, kapasitansi dan kapasitansi. Hasil pengukuran dengan menggunakan LCR meter ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2. Hasil pengukuran konduktivitas listrik grafena

Sampel	Konduktansi (S)	Konduktivitas Listrik Bahan (S/cm)
Kelapa	0,0704	0,0040
Kemiri	0,0649	0,0037
Lontar	0,0714	0,0041

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sampel grafena tempurung lontar memiliki konduktivitas yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan sampel tempurung kelapa dan tempurung kemiri. Pada sampel lontar diperoleh nilai konduktansi sebesar $0,0714\text{ S}$ dan nilai konduktivitas sebesar $0,0041\text{ S/cm}$. Sedangkan pada sampel kelapa diperoleh nilai konduktansi sebesar $0,0704\text{ S}$ dan nilai konduktivitas sebesar $0,0040\text{ S/cm}$ dan pada sampel kemiri didapatkan nilai konduktansi sebesar $0,0649\text{ S}$ dan nilai konduktivitas sebesar $0,0037\text{ S/cm}$. Ini membuktikan bahwa jenis bahan pembuatan grafena berpengaruh terhadap nilai konduktivitas yang dihasilkan.

Namun demikian nilai konduktivitas yang dihasilkan masih cukup rendah Hal ini kemungkinan disebabkan oleh adanya unsur oksigen serta unsur pengotor lainnya yang masih terkandung dalam grafena sehingga menciptakan defek yang membuat mobilitas pembawa muatan terhambat..

SIMPULAN

Sintesis grafena dengan metode hummer termodifikasi dari tempurung kelapa, kemiri dan lontar menunjukkan bahwa pola difraktogram XRD setiap sampel masing-masing memberikan puncak sebesar $44,0562^{\circ}$, $44,0537^{\circ}$ dan $44,0513^{\circ}$. Hasil pengujian *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) yang diketahui adanya keberadaan gugus fungsi pada setiap sampel yaitu O-H, C=O, C=C, dan C-O. Uji konduktivitas listrik pada sampel grafena

tempurung kelapa, tempurung kemiri dan tempurung lontar diperoleh nilai masing-masing 0,0040 S/cm, 0,0037 S/cm dan 0,0041 S/cm.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyani. "Sintesis Grafena Oksida Berbahan Dasar Graphite Limbah Baterai Zinc-Carbon Dalam Fase Cair Menggunakan Frekuensi Audiosonik Dan Ultrasonik". Skripsi. Universitas Negeri Yogyakarta. (2018).
- Chang K, Chen WX. "L-cysteine-assisted synthesis of layered MoS₂/Grafena composites with excellent electrochemical performances for lithium ion batteries". ACS Nano ;9 (2011): 4720–4728.
- Darmawan, S., G. Pari, dan K. Sofyan. "Optimasi Suhu dan Lama Aktivasi dengan Asam Fosfat dalam Produksi Arang Aktif Tempurung Kemiri." Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan 2, no. 2 (2009): h. 51-56.
- Dewati, Retno. "Kinetika Reaksi Pembuatan Asam Oksalat dari Sabut Siwalan dengan Oksidator H₂O₂". Surabaya: Teknik Kimia FTI-UPNV Jawa Timur. Jurnal Penelitian Ilmu Teknik Vol. 10, No. 1, Juni (2010): 29-37.
- Geim, K. S. Novoselov. "The rise of Grafena". Nat. Mater. 6 (2007): 183.
- Geim, Andre K. "Nobel Lecture: Random walk to Grafena". REVIEWS OF MODERN PHYSICS, Volume 83 (2011).
- Gonzales. C. R., Kharissova, O. V., Martinez-Hernandez, A. L., Castano, V. M., and Velasco-Santos, C. "Grafena Oksida Sheets Covalently Grafted with keratin Obtained from Chicken Feather". Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures. Vol. 8 (1) (2013): 127-138.
- Lee, G., and Beom, S.K. "Biological Reduction of Grafena Oksida Using Plant Leaf Extracts. Biotechnol". Prog, Vol. 30, No.2 (2013).
- Pinatik, H and Tooy, D. "Quality Analysis of Activated Coconut Shell Charcoal Briquette Dust in Water Purification at Various Water Sources," (2014): 80–83.
- Pradesar, Y. Susanti, D. "Pengaruh Waktu Ultrasonikasi dan Waktu Tahan Proses Hidrotermal Terhadap Struktur dan Sifat Listrik Material Graphene". Jurnal Institut Teknologi Sepuluh Nopember, vol.2, no.1, (2017): 1-10.
- Royal Swedish Academy, O. F. Sciences. "Grafena: Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2010." The Royal Swedish Academy of Sciences 50005 (2010): 1– 10.
- Warner, J H. "Grafena: Fundamentals and Emergent Applications". New York: Elsevier (2013). Zhang H, Lv, X., Li, Y., Wang, Y., & Li, J. "P25-Grafena composite as a high performance photocatalyst". ACS Nano. Jan 26;4(1) (2014): 380-386

