

STUDI EKSFOLIASI LAPISAN GRAPHENE PADA KOKAS BERBASIS AGITASI ULTRASONICATION BATH

STUDY OF EXFOLIATION OF GRAPHENE LAYERS ON ULTRASONICATION BATH AGITATION COKE BASED

Shali Oktiana¹, Wipsar Sunu Brams Dwandaru²

Mahasiswa Jurusan Pendidikan Fisika Universitas Negeri Yogyakarta¹ dan Dosen Jurusan Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta²

shalioktiana.2017@student.uny.ac.id, wipsarian@uny.ac.id.

Abstrak- Kokas merupakan produk sampingan batu bara dengan kandungan karbon tinggi dan sedikit pengotor. Dalam studi ini *graphene* dari kokas telah disintesis melalui metode LSE dengan agitasi *ultrasonication bath*, serta dilakukan variasi massa kokas dan waktu sonikasi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap *graphene*. Variasi mass kokas dari 0,1 g; 0,2 g; 0,3 g; 0,4 g; 0,5 g tersebut didispersi aquades 100 ml. Pada variasi massa dibuat dua sampel yaitu sampel disonikasi dan tanpa sonikasi. Dari data spektroskopi UV-Vis diperoleh bahwa variasi massa 0,5 g sonikasi menunjukkan struktur *graphene* melalui pendekatan absorpsi fisis. Massa 0,5 g digunakan untuk variasi waktu sonikasi 15 menit, 30 menit, 1 jam dan 2 jam. Struktur *graphene* dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis, FTIR, dan XRD terlihat penumbuhan lapisan yang mengindikasikan keberadaan *graphene* seiring bertambahnya waktu sonikasi. Hasil terbaik diamati pada sampel 0,5 g kokas sonikasi 2 jam dilihat dari morfologi *graphene* yang terdiri dari 5 layer dengan uji SEM.

Kata kunci: *Graphene*, Kokas, LSE.

Abstract- Coke is a by-product of coal with high carbon content and few impurities. The graphene study from coke was synthesized using the LSE method in an agitation using ultrasonication bath, with variations in coke mass and sonication time to find out the effect on graphene. Variation of coke mass from 0.1 g; 0.2 g; 0.3 g; 0.4 g; 0.5 g mixed with 100 ml of distilled water. Per each mass, were made into two samples: namely sonication and non-sonication samples. From the UV-Vis spectroscopic data, graphene founded with 0.5 gram of coke sonication, shows the graphene structure through a physical absorption approach. 0.5 grams of coke used for the sonication time variations: 15 minutes, 30 minutes, 1 hour, and 2 hours. The graphene structure analyzes by UV-Vis spectrophotometer, FTIR, and XRD. It shows that there is a layer growth that indicated the presence of graphene due to increasing sonication time. The best results observe on a sample of 0.5 grams of coke sonication for 2 hours, graphene's morphology consisting of 5 layers was observed using SEM test.

Keywords: *Graphene*, Coke, LSE.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil batu bara terbesar di dunia. Berdasarkan data dan statistik *International Energy Agency* (IEA) pertahun 2019, tiga tipe utama produksi batu bara di Indonesia meliputi sub-bituminus, bituminus jenis lain, dan kokas. Kokas merupakan produk turunan dari batu bara setelah dimasukkan dalam oven (ruang karbonisasi) serta dipanaskan dengan waktu tertentu pada suhu tinggi (900 °C – 1100 °C). Kokas dapat dibuat dengan batu bara kualitas rendah (*bituminous*). Dari proses pemasakan batu bara tersebut, diharapkan dihasilkan kokas yang memiliki kandungan karbon yang hampir murni dengan cara menghilangkan zat pengotornya (Yustanti, 2012). Dengan demikian, salah satu solusi memanfaatkan potensi kokas adalah dibuat sebagai bahan *graphene*.

Graphene merupakan produk nanoteknologi yang memiliki banyak keunggulan dan giat dikembangkan hingga saat ini. *Graphene* pertama kali ditemukan secara eksperimental tahun 2004 oleh A.K Geim dan K.S Novoselov dari *University of Manchester* (Novoselov, 2010). *Graphene* memiliki satu lapis atom karbon dan tersusun rapat membentuk struktur kisi heksagonal dua dimensi dengan ketebalan satu atom. Ikatan kovalen dan struktur dua dimensinya membuat *graphene* memiliki sifat fisika seperti elektronik, optik dan mekanik yang unggul. Sehingga *graphene* memiliki potensi untuk diaplikasikan pada bidang fabrikasi tinta konduktif, transistor terahertz, sensor *strain*, *ultrafast photodetector*, *flexible touchscreen*, dan lainnya (Refitasari, 2014).

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Thomas dan Balachandran (2020) menghasilkan *graphite oxide* (GO) berbahan dasar kokas dengan metode Hummer's. Akan tetapi penelitiannya belum sampai menghasilkan produk akhir yaitu *graphene*. Karena proses sintesis dengan metode Hummer's yang memakan waktu lama serta adanya penggunaan bahan kimia berbahaya, sehingga peneliti tertarik untuk melakukan sintesis *graphene* dengan cara agitasi *ultrasonication bath* atau disebut juga metode *liquid sonication exfoliation* (LSE). Metode ini merupakan metode sintesis *graphene* dalam fase cair. Menurut Aisyah (2016) LSE

merupakan metode sintesis *graphene* menggunakan gelombang ultrasonik untuk menjadi lapisan *graphene* dengan cara mengupas, mengikis, atau memecah permukaan grafit (dalam penelitian ini bahan yang digunakan adalah kokas). Pengelupasan lapisan kokas disebabkan adanya agitasi atau pengadukan yang terjadi akibat gelombang ultrasonik yang tinggi serta gerakan pada *ultrasonication bath* saat sonikasi. Sehingga sampel pada *ultrasonication bath* akan mengalami getaran mikroskopis sehingga mampu melepas ikatan pada kokas. Metode sonikasi dengan frekuensi ultrasonik memiliki banyak keuntungan diantaranya yaitu kemudahan operasi alat, biaya relatif murah, dan efisien namun tetap menghasilkan lembaran *graphene* dengan kualitas baik (Wang *et al.* 2014).

Pada penelitian ini karakteristik *graphene* disintesis dengan metode LSE *ultrasonication bath*. Selanjutnya bahan *graphene* yang dihasilkan dikarakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis untuk menunjukkan keberadaan *graphene* pada larutan, *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsional yang dimiliki sampel, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk pada sampel, dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan untuk mengetahui struktur morfologi nanomaterial *graphene* yang terbentuk.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2020 sampai dengan Februari 2021. Penelitian dilakukan di beberapa tempat yaitu: Laboratorium Koloid Jurusan Pendidikan Fisika; Laboratorium Kimia Jurusan Pendidikan Kimia; Laboratorium Terpadu FMIPA, UNY; Laboratorium Terpadu FMIPA, UII.

Sintesis Graphene Variasi Massa Kokas

Sintesis *graphene* yang dilakukan dalam penelitian ini disintesis dengan menggunakan metode LSE seperti yang telah di laporkan beberapa penelitian sebelumnya oleh Septiana (2017) dan Wisnuwijaya (2017). Kokas yang telah dihaluskan sehingga menjadi serbuk kokas, kemudian memvariasi massa kokas dari 0,1 g; 0,2 g; 0,3 g; 0,4 g; dan 0,5 g. Langkah selanjutnya adalah dengan mencampurkan aquades 100 ml kedalam setiap variasi massa dengan menggunakan blender selama 1 menit. Larutan variasi massa kokas tersebut kemudian dibuat sampel 2 macam yaitu: sampel larutan kokas non-sonikasi dan larutan kokas sonikasi. Pada larutan kokas sonikasi kemudian dilakukan sonikasi dengan menggunakan *ultrasonication bath* selama 2 jam. Kemudian seluruh larutan non-sonikasi dan larutan sonikasi dilakukan karakterisasi uji spektroskopi UV-Vis. Hal ini untuk memutuskan hasil variasi massa terbaik yang memiliki puncak absorbansi mendekati 270 nm. Sehingga massa terbaik akan digunakan untuk memvariasi waktu sonikasi.

Sintesis Graphene Variasi Waktu Sonikasi

Proses sintesis *graphene* dengan menggunakan variasi waktu sonikasi, diawali dengan mendispersi kokas 0,5 g dengan 100 ml aquades. Pemilihan massa 0,5 g kokas berdasarkan hasil UV-Vis terbaik pada variasi massa kokas. Sampel dibuat 4 variasi waktu sonikasi yaitu: 15 menit, 30 menit, 60 menit dan 120 menit.

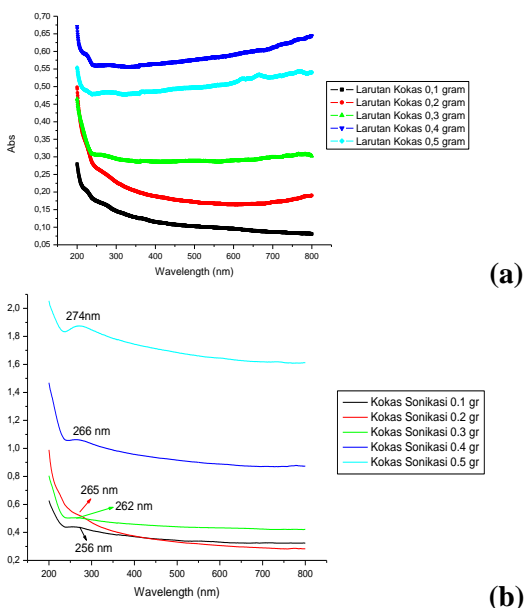
Karakterisasi Spektroskopi UV-Vis, FTIR, XRD, dan SEM.

Sampel *graphene* selanjutnya dikarakterisasi dengan menggunakan spektroskopi UV-Vis yang dilakukan dengan alat UV-Vis spektrometer Shimadzu-2450. Hal ini untuk melihat keberhasilan sintesis dan absorbansi dari sampel *graphene*. Dalam pengujian UV-Vis sampel dalam bentuk fase cair. Seluruh sampel dalam penelitian ini diuji pertama kali dengan menggunakan UV-Vis meliputi, sampel variasi massa non-sonikasi dan sonikasi, serta sampel variasi waktu sonikasi. Karakterisasi

kedua adalah uji FTIR menggunakan alat FTIR *ThermoCahn*. Dalam pengujian FTIR, sampel telah dipanaskan dalam suhu 450W hingga mendapat serbuk hasil sintesis. Hasil spektrum FTIR dianalisis melalui penentuan gugus fungsional yang diindikasikan pada masing-masing spektrum panjang bilangan. Sampel yang diuji dengan FTIR yaitu sampel variasi waktu sonikasi. Pengukuran ketiga dilakukan dengan menggunakan XRD pada alat XRD *Rigaku Miniflexx 600*. Sampel yang digunakan yaitu larutan variasi waktu sonikasi yang telah dipanaskan sehingga mendapat bentuk serbuk, kemudian dipanaskan kembali dengan suhu 450 W dalam waktu 1 jam. Hasil grafik XRD dianalisis dengan puncak grafik yang mengindikasikan masing-masing material berdasarkan data JCPDS. Pengujian terakhir dilakukan dengan SEM. Sampel yang diuji yaitu sampel 0,5 g kokas sonikasi 2 jam dalam bentuk serbuk setelah dipanaskan dalam microwave selama 1 jam pada daya 450 W. Hasil SEM berupa gambar morfologi *graphene* yang nantinya akan dibandingkan dengan data penelitian GO oleh Thomas dan Balachandran (2020).

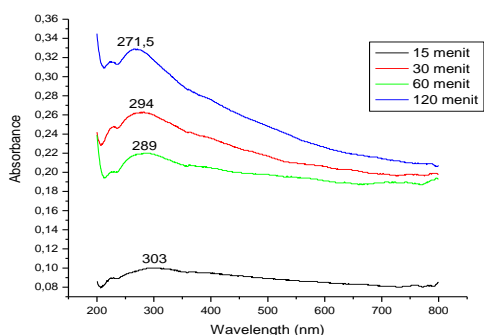
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengukuran spektrum UV-Vis dilakukan untuk melihat indikasi *graphene* pada proses sintesis *graphene* dengan metode LSE. Hasil karakterisasi UV-Vis untuk sampel variasi massa kokas non-sonikasi dan sampel sonikasi dapat dilihat pada Gambar 1. Pada sampel larutan variasi massa kokas tanpa sonikasi tidak terdapat puncak serapan, hal ini disebabkan senyawa yang terdapat pada kokas tidak mampu menyerap pada panjang gelombang visible. Sedangkan pada larutan variasi massa kokas setelah sonikasi 2 jam terdapat puncak absorbansi yang berurutan dari massa terendah yaitu: 256 nm, 265 nm, 262 nm, 266 nm, 274 nm. Serapan terbaik yaitu pada panjang gelombang 274 nm pada sampel 0,5 g kokas sonikasi 2 jam, pada puncak ini memiliki transisi dari tingkat orbital $\pi \rightarrow \pi^*$ dengan ikatan C=C yang mengindikasikan *graphene* (Zhu *et al*, 2010).



Gambar 1. Spektrum UV-Vis yang diambil dari sampel larutan variasi massa kokas non-sonikasi (a) dan larutan variasi massa kokas sonikasi (b).

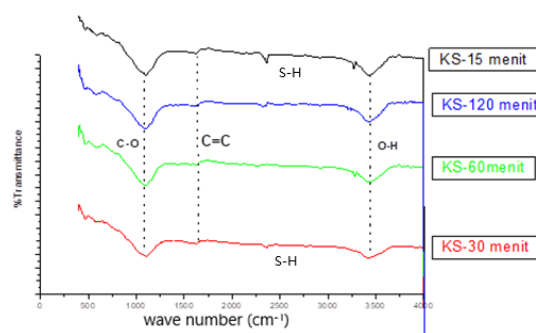
Gambar 1 menunjukkan penumbuhan puncak absorbansi setelah dilakukan sonikasi pada setiap variasi massa kokas. Puncak absorbansi ini menandakan adanya penumbuhan ikatan pada larutan setelah dilakukan sonikasi 2 jam. Selanjutnya massa terbaik yaitu 0,5 gram digunakan sebagai variabel bebas pada larutan variasi waktu sonikasi untuk 15 menit, 30 menit, 60 menit, dan 120 menit. Hasil karakterisasi UV-Vis larutan kokas setelah sonikasi dengan metode LSE dapat diamati dpada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrum UV-Vis yang diambil dari larutan variasi waktu sonikasi.

Pada Gambar 2 terlihat bahwa puncak absorbansi mengalami pergeseran ke kiri seiring bertambahnya waktu sonikasi. Hal ini dikarenakan semakin lama sampel dilakukan

sonikasi, maka akan semakin banyak lapisan kokas yang akan tereksfoliasi menjadi lembaran *graphene*. Semakin banyak lapisan *graphene* yang tereksfoliasi maka semakin banyak pula berkas sinar spektrofotometer UV-Vis yang diserap. Sehingga nilai absorbansinya akan semakin tinggi jika dilakukan sonikasi dengan waktu yang lama. Untuk menunjukkan Dari hasil uji UV-Vis diatas terlihat bahwa hasil terbaik didapatkan pada sampel variasi waktu 2 jam sonikasi dengan puncak di 270 nm. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh Agustina dan Puri (2018) dan Refitasari (2016). Untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung dalam setiap sampel variasi waktu, maka diperkuat dengan data FTIR.

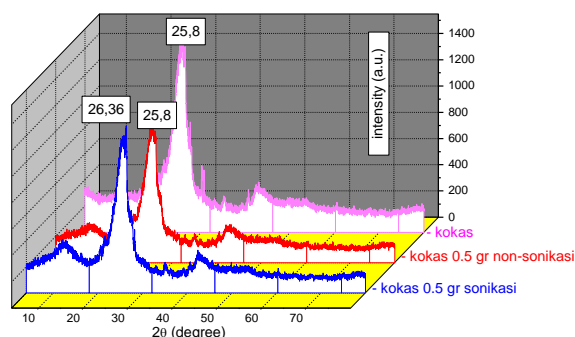


Gambar 3. Spektrum FTIR yang diambil dari sampel variasi waktu sonikasi 15 menit, 30 menit, 60 menit, dan 120 menit.

Hasil pengukuran spektrum FTIR dari sampel variasi waktu sonikasu ditunjukkan pada Gambar 2. Pada bilangan gelombang 1610 cm^{-1} - 1648 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus fungsi *C=C strong*. Pada bilangan gelombang 3200 cm^{-1} - 3550 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus fungsi O-H atau hidroksil. Serta pada bilangan gelombang 1087 cm^{-1} - 1124 cm^{-1} yang menunjukkan keberadaan C-O atau karboksil. Terindikasi adanya serapan pada bilangan gelombang 1630 cm^{-1} untuk vibrasi ikatan rangkap C=C yang menunjukkan struktur sp^2 dari *graphene*. Hasil spektrum dari *graphene* dengan waktu sonikasi 2 jam menunjukkan bahwa proses reduksi belum hilang sepenuhnya. Hal ini dapat terlihat pada vibrasi gugus O-H dan C-O yang masih terlihat puncaknya.

Sehingga produk akhir dari sintesis *graphene* masih mengandung zat pengotor, yaitu gugus karboksil dan hidroksil. Selanjutnya untuk

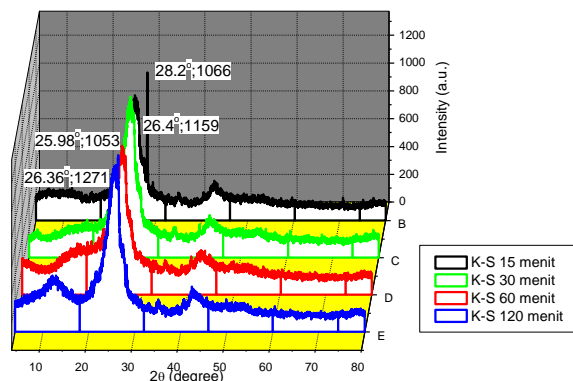
mengetahui struktur dan parameter kisi kristal difraksi yang dihasilkan pada setiap sampel dilakukan uji XRD.



Gambar 4. Puncak XRD pada sampel kokas murni, kokas 0,5 g non-sonikasi, dan 0,5 g kokas sonikasi 2 jam.

Pada Gambar 4 tampak bahwa puncak kokas pada $2\theta = 25,8^\circ$ baik pada kokas murni maupun pada larutan kokas 0,5 g yang telah mengalami pemanasan. Dengan menggunakan persamaan Bragg, maka jarak bidang antar lapisan (d) dari kokas untuk karakteristik puncak (002) ditemukan pada 0,353 nm. Hal ini membuktikan bahwa perlakuan panas tidak mempengaruhi kisi kristal kokas yang terbentuk. Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Thomas dan Balachandran (2020) didapatkan hasil XRD puncak kokas pada $2\theta = 26,0^\circ$ dengan jarak bidang antar lapisan 0,343 nm. Sehingga posisi puncak hasil penelitian memiliki hasil yang dekat dengan literatur yang ada.

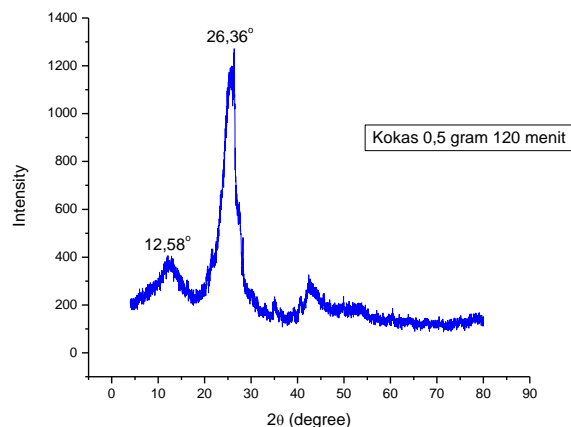
Setelah dilakukan sonikasi selama 2 jam, puncak difraksi tersebut berada pada $2\theta = 26,36^\circ$ untuk kisi difraksi (002) terlihat pada Gambar 4. Jarak bidang antar lapisan *graphene* pada puncak $26,36^\circ$ berada di 0,337 nm. Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Yogesh *et al.*, (2020) menunjukkan puncak *graphene* pada $2\theta = 26,5^\circ$ dengan jarak antar bidang 0,335 nm dan data JCPDS 87-7213, dimana $d_{(002)} = 0,335$ nm. Selanjutnya adalah menyelidiki puncak intensitas pada sampel larutan variasi waktu sonikasi yang disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Puncak XRD pada sampel variasi waktu sonikasi dari 15 menit, 30 menit, 60 menit, dan 120 menit.

Hasil karakterisasi XRD untuk sampel variasi waktu sonikasi 15 menit, 30 menit, 60 menit, dan 120 menit di atas, memiliki puncak intensitas sampel semakin tinggi seiring dengan adanya penambahan variasi waktu sonikasi. Dimana untuk hasil XRD sonikasi 15 menit, 30 menit, 60 menit, dan 120 menit masing-masing memiliki intensitas di 1066, 1159, 1053, dan 1271. Intensitas yang semakin tinggi menunjukkan keteraturan letak atom-atom dalam kristal atau dikatakan tingkat kekristalannya semakin tinggi. Sehingga seiring bertambahnya waktu sonikasi, terjadi pembentukan letak atom dalam kristal. Semakin lama waktu sonikasi maka letak atom akan semakin teratur sehingga akan menyebabkan puncak akan lebih intens, namun masih puncak *graphene* yaitu sekitar $2\theta = 26^\circ$ (002). Sehingga hasil terbaik pada sampel variasi waktu terdapat pada sampel sonikasi 120 menit. Hasil diatas memiliki puncak yang melebar dan kurang intens disebabkan adanya oksigen yang menyusup dalam *graphene* karena kecacatan proses reduksi. Hal ini selaras dengan hasil uji FTIR, dimana *graphene* yang dihasilkan masih mengandung gugus hidroksil dan karboksil.

Pada grafik XRD untuk sampel sonikasi 120 menit terdapat penumbuhan puncak baru di $2\theta = 12,58^\circ$. Berikut ini ditunjukkan grafik XRD sampel 0,5 g kokas sonikasi 120 menit pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik XRD pada sampel 0,5 g kokas sonikasi 120 menit.

Setelah dilakukan sonikasi selama 120 menit, timbul puncak GO yang lemah pada $2\theta \cong 12,48^\circ$. Berdasarkan penelitian sebelumnya, puncak GO tersebut termasuk puncak kering GO dengan mengandung sedikit molekul air di dalamnya. Sehingga dapat dikatakan *graphene* yang dihasilkan masih memiliki sedikit kandungan GO. Hal ini dikarenakan ketidaksempurnaan proses reduksi dari GO menjadi *graphene*. Untuk melihat struktur morfologi kokas 0,5 g sonikasi 120 menit maka dilakukan uji karakterisasi SEM.



Gambar 7. Hasil morfologi *graphene* dari kokas sonikasi.

Pengaruh sonikasi yang dilakukan pada metode LSE menyebabkan lapisan *graphene* yang diikat oleh gaya *Van der Waals* pada kokas menjadi renggang dan terlepas antar lapisan. Sehingga *graphene* akan memiliki struktur

berupa lapisan transparan akibat pengelupasan lapisan tebal kokas selama proses sintesis. Terlihat pada Gambar 7 bahwa *graphene* mengalami pengelupasan sehingga terlihat lebih transparan yang mengindikasikan adanya lembaran tipis dibandingkan dengan GO. Jika dilihat lebih besar lagi, maka akan terlihat bongkahan pada gambar diatas yang ditunjuk tersebut terdiri atas 5 lapisan tipis. *Graphene* yang dihasilkan ini belum 100% dikatakan murni. Hal ini selaras dengan hasil uji FTIR dan XRD dimana *graphene* yang dihasilkan masih mengandung pengotor. Seperti adanya gugus hidroksil dan karboksil, serta masih mengandung sedikit GO pada *graphene* yang dihasilkan. Sehingga baru dapat menghasilkan *graphene* sebanyak 5 layer. Pada gambar diatas dapat diketahui ukuran panjangnya sekitar 5 μm , lebar sekitar 3 μm dengan ketebalan lapisan *graphene* sekitar 13,45 μm .

Graphene dapat diidentifikasi berdasarkan ekstansi lateral atau lembarannya jika kedua dimensi layer *graphene* berukuran lebih dari 100 nm (Wang *et al.*, 2017). Sehingga hasil ukuran lapisan pada sintesis *graphene* berbahan dasar kokas masuk kedalam karakterisasi *graphene*.

SIMPULAN

Telah dihasilkan *grapheme* berbahan dasar kokas dengan metode LSE menggunakan agitasi *ultrasonication bath*. Berdasarkan hasil karakterisasi UV-Vis, karakteristik *graphene* dibuktikan dengan puncak absorpsi pada nomor panjang gelombang 271,5 nm - 274 nm dan karakterisasi FTIR pada band 1642 cm^{-1} . Sedangkan, pada karakterisasi XRD terbentuk *graphene* pada 2θ sebesar 26,36 (002) dengan jarak bidang antar lapisan 0,337 nm, dan gambar morfologi permukaan pada karakterisasi SEM menunjukkan adanya *graphene* yang tersusun atas 5 layer.

Berdasarkan hasil karakterisasi spektrofotometer UV-Vis ditunjukkan bahwa variasi massa kokas tidak berpengaruh terhadap perubahan daya serap energi partikel (absorbansi) *graphene* dengan metode sonikasi. Namun dari variasi massa yang dilakukan didapatkan hasil variasi massa terbaik yaitu pada massa kokas 0,5 gram. Sedangkan variasi waktu sonikasi

berpengaruh terhadap karakterisasi yang dihasilkan, baik dari uji UV-Vis, FTIR, dan XRD. Semakin lama waktu sonikasi maka akan semakin banyak pula *graphene* yang tereksfoliasi dan menghasilkan *graphene* yang semakin baik.

Dengan penelitian ini diharapkan adanya penelitian lebih lanjut mengenai pendaraygunaan kokas dengan dibuat *graphene*. Untuk selanjutnya perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk dapat mengetahui hasil karakterisasi jika dilakukan variasi waktu ekstrim atau metode sintesis *grapheme* lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tugas akhir ini dapat diselesaikan tidak lepas dari bantuan dan kerjasama dengan pihak lain. Berkenaan dengan hal tersebut, penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada: Dr. Supardi selaku penguji I, Dr. Restu Widiatmono selaku penguji II, Wipar Sunu Brams D. Ph.D. selaku pembimbing, dan berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- IEA. (n.d.). *Data and statistics Coal production by type, Indonesia 1990-2019*. Retrieved Maret 23, 2021, from IEA: <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=INDONESIA&fuel=Coal&indicator=CoalProdByType>.
- Yustanti, E. (2012). *Pencampuran Batu Bara Coking dengan Batu Bara Lignite Hasil Karbonisasi Sebagai Bahan Pembuatan Kokas*. Banten: Fakultas Teknik, Universitas Sultan Agung Tirtayasa.
- Novoselov, K.S. (2010). *Graphene: Materials In The Flatland*. Nobel Lecture. School of Physics and Astronomy, The University of Manchester, Oxford Road, Manchester.
- Refitasari, Y., Radean, H., et al. (2016). *Sintesis Graphene Oxide dan Reduced Graphene Oxide*. Research Gate. 95 : 5.
- Thomas, Riya; Balachandran, Manoj. (2020). *Luminescence and Energy Storage*

Characteristics of Coke-Based Graphite Oxide. Elsevier. 257 : 1-5.

- Aisyah, Aminah Nur. (2016). *Pengaruh Variasi Frekuensi dan Intensitas Gelombang Ultrasonik terhadap Sintesis Material Graphene dengan Metode Liquid Sonification Exfoliation*. Skripsi, Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta
- Wang, S., et al. (2014). *The Effect of Surfactants and Their Concentrations on The Liquid-Exfoliation of Graphene*. Cina: Beijing University.
- Septiana R. (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 UV-Vis Spektrofotometer*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Wisnuwijaya, Rhyko I. (2017). *Preparasi dan Sintesis Graphene Oxide Dengan Metode Liquid Sonication Exfoliation dan Random Collision Marbles Shaking dengan Bahan Dasar Graphite Limbah Baterai Zinc-Carbon Berdasarkan Uji Spektrofotometer UV-Vis*. Yogyakarta: Jurusan Pendidikan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Zhu, Longxiu; Zhao, Xin; et al. (2012). *High-Quality Production Of Graphene By Liquid-Phase Exfoliation Of Expanded Graphite*. Elsevier. 137 : 985-987.
- Agustina, L., Putri, N.P., (2018). *Analisa Band-Gap Reduced Graphene Oxide (rGO) Berbahan Dasar Tempurung Kelapa (Cocus nucifera L)*. Surabaya: Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya.
- Yogesh, G., Roopmani, P., et al. (2020). *Synthesis, Characterization and bioimaging application of Laser-Albated*

Graphene Oxide Nanoparticles (nGOs).
Diamond & Related Materials. 104: 4-5.