

Pengaruh Konsentrasi dan Ukuran Partikel Logam Mg terhadap Karakter Magnesium/Grafena Berlapis Nano (Mg/GBN)

Fajar Hutagalung¹, Rikson Siburian^{2*}, & Ab Malik Marwan Ali³

¹Magister Ilmu Kimia, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara, Medan 20155, Indonesia

²Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara, Medan 20155, Indonesia

³Faculty of Applied Sciences, Universiti Teknologi MARA, 40450 Shah Alam, Selangor, Malaysia

email: rikson@usu.ac.id

Article history

Received: 6th June, 2021

Received in revised form: 30th June, 2021

Accepted: 6th July, 2021

DOI:

10.17977/um0260v5i12021p027

Kata-kata kunci:

Kimia nanomaterial

Kimia analitik

Grafena berlapis nano (GBN)

Mg/GBN

Abstrak

Sejak grafena berhasil disintesis pada tahun 2004, material ini telah banyak digunakan sebagai perangkat penyimpanan energi elektrokimia dan sejumlah aplikasi lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi dan ukuran partikel logam Mg terhadap struktur, morfologi, dan konduktivitas listrik Mg/GBN. Penelitian ini bersifat eksperimen laboratorium dan deskriptif. GBN disintesis melalui metode Hummers termodifikasi dan Mg 10, 20, 30 dan 40 % massa/GBN disintesis melalui metode impregnasi dengan menggunakan garam Mg ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) sebagai prekursor. Karakterisasi yang dilakukan terhadap masing-masing material dengan menggunakan XRD ($2\theta = 26,768^\circ - 26,938^\circ$ untuk C(002) GBN dan $2\theta = 44,669^\circ - 44,686^\circ$ untuk Mg (102)), SEM-EDX dan Konduktometer berhasil membuktikan bahwa permukaan grafena mampu mereduksi ion logam Mg^{2+} menjadi Mg^0 dan mampu mengendalikan distribusi ukuran dan persebaran partikel logam Mg yang terdeposit pada permukaan lembaran grafena. Sementara itu, partikel logam Mg yang berhasil terdeposit mampu menghambat terjadinya aglomerasi dan penumpukan kembali lembaran grafena sehingga mampu meningkatkan mobilitas elektron dan konduktivitas listrik grafena.

Abstract

Since graphene was synthesized in 2004, it has been widely used in electrochemical energy storage devices and a number of other applications. This study aims to determine the effect of concentration and size of Mg metal particles on the structure, morphology, and electrical conductivity of Mg/Graphene nano sheets (GNS). This research is a laboratory experiment and descriptive research. GNS was synthesized by using a modified Hummers' method. Mg 10, 20, 30 and 40 weight % /GNS were synthesized by using impregnation method using Mg salt ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) as the precursor. Characterizations carried out on each material using XRD ($2\theta = 26,768^\circ - 26,938^\circ$ for C(002) GNS and $2\theta = 44,669^\circ - 44,686^\circ$ for Mg (102)), SEM-EDX and Conductometer proved that the graphene surface is able to reduce Mg^{2+} metal ions to Mg^0 and to control the size and distribution of Mg metal particles deposited on the surface of the graphene sheets. Meanwhile, Mg metal particles that have been deposited are able to inhibit the agglomeration and re-stacking of graphene sheets so that it can increase the electron mobility and electrical conductivity of graphene.

PENDAHULUAN

Grafena merupakan material karbon semikonduktor dengan struktur heksagonal dua dimensi yang terdiri dari lapisan tipis karbon sp^2 yang terhubung melalui gaya van der Waals (Khan *et al.*, 2015). Berbagai metode sintesis telah banyak dikembangkan untuk menghasilkan grafena dengan struktur lapisan yang tipis, diantaranya pengelupasan lapisan secara mekanik, pertumbuhan secara epitaksial, *chemical vapor deposition* (CVD), pirolisis, serta pengelupasan lapisan secara kimia (metode Brodie, metode Hoffmann, metode Staudenmaier, dan metode Hummers) (Olabi *et al.*, 2020). Metode Hummers termodifikasi merupakan salah satu metode tahapan sintesis grafena yang cukup populer digunakan karena memberikan keuntungan dalam penggunaannya yaitu dapat meningkatkan tingkat oksidasi (grafit oksida) dibandingkan dengan metode Brodie atau Staudenmaier dan mampu menghasilkan produk dalam jumlah yang lebih banyak (Hanifah *et al.*, 2015). Hingga saat ini, grafena telah banyak diaplikasikan secara meluas pada berbagai bidang, seperti baterai, sensor, superkapasitor, perangkat optoelektronik dan sejumlah aplikasi lainnya (Tiwari *et al.*, 2020). Hal ini dipengaruhi oleh sifat-sifat luar biasa yang dimiliki oleh grafena seperti luas permukaan spesifiknya besar ($2630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) sehingga mampu bertindak sebagai material pendukung untuk partikel logam (Kakei *et al.*, 2019), memiliki ketebalan super tipis dan struktur yang fleksibel, stabil secara kimia dan termal, memiliki tingkat kekerasan yang tinggi ($\sim 130 \text{ GPa}$) (Al Hassan *et al.*, 2019), memiliki nilai konduktivitas listrik dan termal tinggi, serta memiliki mobilitas elektron yang tinggi (Samuels and Carey, 2013).

Namun, grafena memiliki sifat struktur elektronik yang unik di mana pita valensi (π) dan pita konduksi (π^*) bersentuhan pada sudut zona Brillouine heksagonal (titik K) yang membentuk titik *Dirac* sehingga menyebabkan grafena tidak memiliki celah energi (*zero gap*) (Dedkov and Voloshina, 2015). Selain itu, adanya interaksi kuat yang terjadi pada struktur grafena seperti $C-\pi$ antar lembaran karbon oleh gaya van der Waals maupun antara atom C dengan gugus fungsi yang reaktif dapat menyebabkan aglomerasi dan penumpukan kembali lembaran grafena sehingga dapat menurunkan luas permukaan aktif dan potensi ionik grafena (El-

Kady *et al.*, 2012). Konsep penting yang ditawarkan dalam penelitian ini adalah pendepositan logam melalui proses doping atau adsorpsi logam oleh permukaan grafena. Dengan adanya hibridisasi sp^2 yang kuat pada struktur grafena menunjukkan kualitas penahanan (*holding quality*) maksimum sehingga partikel asing sulit untuk menggantikan posisi atom karbon (C) (Kozlov *et al.*, 2011, 2012) menjadi alasan penting metode doping atau adsorpsi partikel logam oleh permukaan grafena merupakan metode yang paling sederhana dan mungkin untuk dilakukan. Adanya interaksi antara partikel logam dengan grafena melalui proses doping (adsorpsi) logam oleh permukaan grafena dapat meningkatkan dan memodifikasi sifat elektronik dan magnetik grafena (Liu *et al.*, 2013), di mana partikel logam mampu bertindak sebagai *nanospacer* dengan menghambat atau mengurangi kemungkinan penumpukan kembali antar lembaran grafena sehingga dapat meningkatkan luas permukaan aktif (Malyala *et al.*, 2019), konduktivitas elektronik dan potensi difusi ionik grafena (Qi *et al.*, 2017), sementara lembaran grafena dapat mengurangi terjadinya aglomerasi serta mampu mengendalikan distribusi ukuran dan persebaran partikel logam yang terdeposit pada permukaan lembarannya (Li *et al.*, 2020).

Logam yang digunakan pada penelitian ini adalah logam magnesium (Mg). Magnesium merupakan logam yang paling ringan dengan densitas terendah ($1,74 \text{ g cm}^{-3}$) (Guo *et al.*, 2020). Logam ini memiliki konduktivitas termal dan listrik yang tinggi, memiliki struktur heksagonal dan tidak mudah terjadi slip saat berinteraksi dengan unsur lain, tidak beracun (Orikasa *et al.*, 2014), sumber dayanya berlimpah ($\pm 2,3 \%$ berat kerak bumi) dan tersebar luas, harganya murah ($\sim \$1000/\text{ton}$), serta memiliki kapasitas penyimpanan muatan (2205 mAh g^{-1}) dan kapasitas volumetrik teoritis (3833 mAh cm^{-3}) yang tinggi (Walter *et al.*, 2020). Berdasarkan beberapa hasil penelitian, logam Mg yang dipadukan dengan grafena mampu menghasilkan material Mg/grafena (Rashad *et al.*, 2015; Simanjuntak *et al.*, 2020) dengan sifat mekanis, konduktivitas listrik dan ketahanan terhadap korosi yang lebih baik dibandingkan dengan logam Mg atau grafena murni.

Berdasarkan investigasi dengan bantuan studi *density functional theory* (DFT) diperoleh hasil bahwa proses adsorpsi Mg oleh permukaan grafena membutuhkan energi sebesar $-0,25 \text{ eV}$ (Olsson *et al.*, 2020), di mana pada paduan Mg/grafena ini terjadi lokalisasi yang disebabkan oleh hibridisasi $s-p$ dan interaksi $\pi-sp$ antara Mg-grafena sehingga

mampu membuka celah energi (*band gap*) pada grafena dengan jarak pemisahan antara Mg-grafena senilai 0,2019 nm (Tachikawa *et al.*, 2009; Serraon *et al.*, 2021).

Penerapan paduan Mg/grafena dalam berbagai aplikasi telah banyak dilaporkan seperti dalam pembuatan baterai (Malyala *et al.*, 2019; Simanjuntak *et al.*, 2020), bidang biomedis (Munir *et al.*, 2020), kapasitor (Wang *et al.*, 2014), dan penyimpanan energi hidrogen (Xia *et al.*, 2016; Zhou *et al.*, 2016). Namun, pengaruh konsentrasi serta ukuran partikel logam magnesium yang terdeposit ke dalam lembaran grafena terhadap struktur, morfologi, dan konduktivitas listrik paduan Mg/grafena belum dapat diklarifikasi. Oleh karena itu, penelitian ini perlu dilakukan sebagai solusi atas permasalahan tersebut dan sebagai upaya untuk mengembangkan penelitian di bidang kimia nanomaterial.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian yang bersifat eksperimen laboratorium dan deskriptif. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik dan Kimia Polimer FMIPA USU. Proses karakterisasi material (XRD dan SEM-EDX) dilakukan di Laboratorium *Centre for Functional Materials and Nanotechnology*, Universiti Teknologi MARA, Shah Alam, Selangor, Malaysia. Analisis konduktivitas listrik dilakukan di Laboratorium UNIMED.

Alat dan Bahan

Beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya peralatan gelas (Pyrex), neraca analitik (Mettler) dengan ketelitian 0.0001 g, *magnetic stirrer*, *hot plate* (Cimarec), indikator pH universal (Sartorius), sentrifugator (Fisher), kertas saring whatman No. 42, oven (Carbolite), wadah es, ultrasonikator (K. Pulsatron), termometer (Fisher), instrumen XRD (panAlytical), SEM-EDX (Phenom), dan konduktometer.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah grafit komersial, aquades^(l), NaNO_{3(s)} (E. Merck), MgCl₂.6H₂O_(s) (E. Merck), H₂SO_{4 (aq)} 96 % (E. Merck), H₂O_{2 (aq)} 30% (E. Merck), etanol absolut _(aq) (E. Merck) dan NH₃ 10 M (E. Merck).

Sintesis Oksida Grafena

Sebanyak 2 g serbuk grafit komersial, 2 g NaNO₃ dan 150 mL H₂SO₄ 96 %, masing-

masing, dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Campuran tersebut distirer selama 2 jam untuk menghasilkan campuran dalam fase larutan. Selanjutnya, 10 g KMnO₄ ditambahkan ke dalam campuran fase larutan tersebut secara perlahan-lahan dan distirer selama 4 jam di dalam *ice bath*. Setelah 4 jam, erlenmeyer berisi campuran tersebut dipindahkan dari *ice bath* dan distirer kembali selama 72 jam. Setelah itu, 200 mL H₂SO₄ 5 % ditambahkan ke dalam larutan tersebut, kemudian distirer kembali selama 2,5 jam. Setelah mencapai waktu 2,5 jam, 10 mL H₂O₂ 30 % ditambahkan ke dalam larutan tersebut dan dilanjutkan dengan stirer selama 10 jam. Selanjutnya, larutan tersebut disentrifugasi dengan menggunakan alat sentrifugator pada kecepatan 6500 *revolutions per minute* (rpm) selama 20 menit untuk memisahkan supernatan dan endapan. Endapan yang diperoleh dicuci dengan larutan piranha dan dicuci kembali dengan aquades secara berulang sampai diperoleh supernatan berwarna bening (pH~5–6) dan selanjutnya disentrifugasi kembali menggunakan alat sentrifugator dengan kecepatan 6500 rpm selama 20 menit. Endapan terakhir hasil sentrifugasi ditambahkan aquades, kemudian dipindahkan dan dikumpulkan ke dalam beaker glass. Selanjutnya, larutan ditambahkan aquades hingga volumenya mencapai 100 mL, diultrasonikasi selama 5 jam, kemudian dibiarkan dingin dan dihasilkan oksida grafena.

Sintesis Grafena Berlapis Nano (GBN)

Ke dalam 100 mL larutan oksida grafena yang dihasilkan, ditambahkan 10 mL NH₃ 10 M dan distirer selama 72 jam. Selanjutnya campuran disaring dengan kertas saring whatman No. 42. Endapan grafena yang diperoleh dikeringkan di dalam oven pada suhu 100°C selama 2 jam.

Penyiapan Mg 10, 20, 30, 40 % massa/GBN

Sebanyak 0,5 g grafena dan 0,4647 g kristal MgCl₂.6H₂O masing-masing ditambahkan 20 mL etanol dan distirer selama 1 jam untuk menghasilkan campuran grafena dan larutan prekursor Mg. Selanjutnya, campuran grafena dan larutan prekursor Mg dicampurkan dan distirer selama 3 jam untuk menghasilkan campuran magnesium-grafena. Campuran magnesium-grafena disaring dengan kertas saring whatmann No. 42 untuk memisahkan filtrat dan endapan. Endapan yang diperoleh dikeringkan pada suhu 80°C selama 2 jam, menghasilkan serbuk padat dan dilabeli sebagai Mg 10 % massa/GBN. Prosedur yang sama dilakukan untuk menyiapkan material Mg 20, 30, dan 40 % massa/GBN dengan massa MgCl₂.6H₂O (Tabel 1).

Tabel 1. Massa $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ untuk penyiapan Mg 10, 20, 30, 40 % massa/GBN

Konsentrasi Logam	Massa kristal $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ (g)	Massa grafena (g)
Mg 10% massa	0,4647	0,5
Mg 20% massa	1,0456	0,5
Mg 30% massa	1,7924	0,5
Mg 40% massa	2,7882	0,5

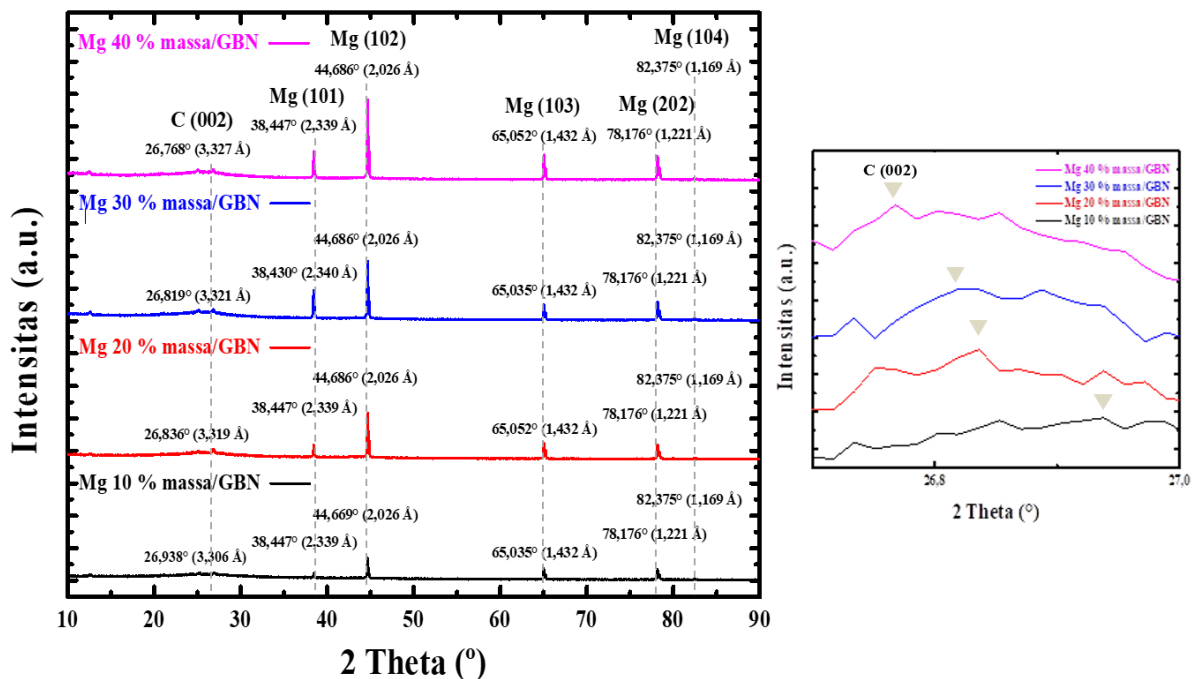
HASIL DAN PEMBAHASAN

Grafena berlapis nano (GBN)

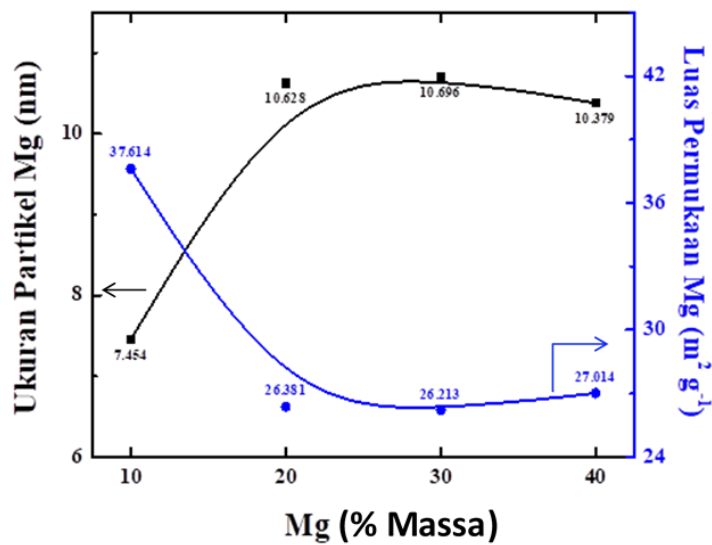
Pada penelitian ini, grafena berlapis nano (GBN) digunakan sebagai material pendukung (*supporting material*) yang disintesis dari bahan baku grafit komersil melalui metode Hummers termodifikasi. Tahapan sintesis GBN diawali dengan proses oksidasi grafit dengan bahan oksidator kuat (H_2SO_4 96 %, $KMnO_4$ dan H_2O_2 30 %) yang akan menghasilkan oksida grafit. Selanjutnya, oksida grafit yang diperoleh, diultrasonikasi untuk membentuk lembaran oksida grafena (GO). Tahap terakhir yakni dengan menambahkan bahan reduktor NH_3 10 M untuk menghilangkan gugus fungsi pada GO dan menghasilkan lembaran tipis grafena (GBN). Keseluruhan hasil dari setiap proses ini sebelumnya telah berhasil dilaporkan oleh Ratih *et al.* (2018) dan Siburian *et al.* (2018).

Analisis XRD

Analisis XRD dilakukan untuk mengetahui bahwa ion Mg^{2+} dari prekursor $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ berhasil tereduksi menjadi logam Mg bervalensi nol dan terdeposit ke dalam struktur GBN. Kurva perubahan intensitas terhadap 2θ (deg) dari Mg/GBN dapat dilihat pada Gambar 1. Pola XRD dari Mg/GBN yang ditampilkan pada Gambar 1 menunjukkan puncak yang lemah dan melebar pada posisi $2\theta = 26,768^\circ$ (3,328 Å), $26,819^\circ$ (3,321 Å), $26,836^\circ$ (3,319 Å) dan $26,938^\circ$ (3,306 Å) yang merupakan posisi puncak khas dari C(002) (JCPDS 75–2078: C(002) $26,55^\circ$ (3,354 Å)) yang menunjukkan adanya kehadiran GBN sebagai material pendukung serta beberapa puncak Mg yang berada pada posisi $38,430^\circ$, $38,447^\circ$, $44,669^\circ$, $44,686^\circ$, $65,035^\circ$, $65,052^\circ$, $78,176^\circ$ dan $82,375^\circ$ (Rashad *et al.*, 2015; Malyala *et al.*, 2019) yang mengindikasikan bahwa ion Mg^{2+} dari prekursor $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ berhasil tereduksi menjadi logam Mg bervalensi nol dan berhasil terdeposit dengan baik pada permukaan GBN (terkonfirmasi oleh hasil analisis EDX, Tabel 2). Hasil XRD ini menunjukkan bahwa material Mg/GBN telah berhasil disintesis dengan baik. Terdapat dua faktor utama yang memengaruhi pembentukan kluster Mg pada permukaan GBN diantaranya i) faktor entalpi yakni adanya interaksi antarmuka antara Mg dan karbon melalui hibridisasi $\pi-sp$ di mana terjadi interaksi antara orbital $p_{x/y}$ (sp) atom Mg dan orbital $p_{x/y}$ (sp) atom C pada grafena (Tayyab *et al.*, 2020) dan ii) faktor entropi yakni GBN memiliki luas



Gambar 1. Pola XRD dari Mg/GBN (Mg 10, 20, 30 dan 40 % massa/GBN)

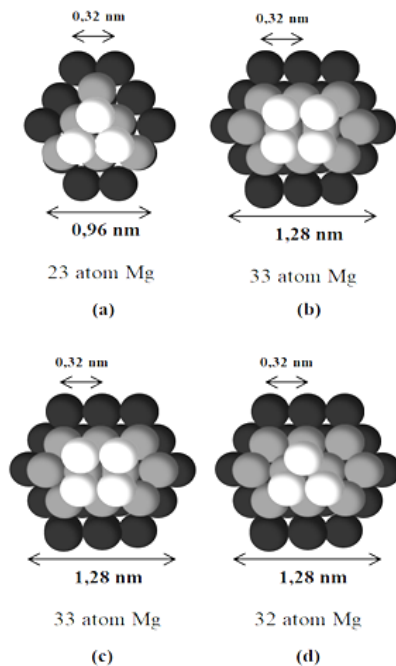


Gambar 2. Perbandingan ukuran rata-rata partikel dan luas permukaan Mg pada sampel Mg/GBN (Pengukuran berdasarkan data XRD)

permukaan yang cukup besar sebagai material pendukung serta kemampuan permukaan GBN yang dapat mereduksi ion logam dan memodifikasi keadaan elektron (*electron states*) dari partikel logam (Ohta *et al.*, 2007; Kakei *et al.*, 2019).

Pola puncak Mg dari sampel Mg/GBN dengan nilai intensitas yang tampak berbeda (Gambar 1) dapat memberikan informasi bahwa jumlah dan ukuran partikel Mg yang terdeposit pada permukaan GBN juga bervariasi. Intensitas puncak Mg pada pola XRD secara bertahap meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi Mg yang terdeposit (terkonfirmasi data EDX, Tabel 2). Partikel Mg yang terdeposit ke permukaan GBN berperan untuk mengurangi kemungkinan aglomerasi antar lembaran grafena (Malyala *et al.*, 2019). Hal ini dibuktikan dengan semakin meningkatnya % massa Mg yang terdeposit mampu meningkatkan nilai *d-spacing* C(002) untuk masing-masing material (*d-spacing* C(002) GBN: 0,3317 nm). Namun, dengan adanya interaksi π - s yang kuat antara lembaran GBN dan Mg menyebabkan nilai *d-spacing* C(002) pada sampel Mg/GBN tidak lebih besar daripada grafit (0,3328 nm). Selanjutnya, berdasarkan data dan pola XRD yang diperoleh, dilakukan perhitungan untuk memperkirakan ukuran partikel dan luas permukaan Mg yang terdeposit pada permukaan GBN dengan menggunakan Persamaan *Scherrer* (Sibirian, 2012). Melalui perhitungan dengan

menggunakan Persamaan *Scherrer* diperoleh nilai ukuran partikel dan luas permukaan Mg yang berhasil terdeposit pada permukaan GBN yang dapat ditampilkan dalam bentuk grafik Perbandingan ukuran rata-rata partikel dan luas permukaan Mg yang terdeposit pada permukaan GBN (Gambar 2). Data dan pola XRD Mg/GBN (Gambar 1) menunjukkan adanya perubahan ukuran partikel Mg sebagai fungsi dari konsentrasi Mg yang berhasil terdeposit ke permukaan GBN. Gambar 2 memberikan informasi bahwa GBN mampu mengendalikan ukuran partikel logam yang terdeposit ke permukaannya (Dedkov *et al.*, 2015) di mana intensitas dan bentuk puncak difraksi Mg berubah seiring dengan peningkatan konsentrasi prekursor Mg yang digunakan. Hal ini mengindikasikan bahwa partikel Mg yang terdeposit memiliki ukuran yang berbeda-beda. Untuk menjelaskan hubungan ukuran Mg yang terdeposit pada permukaan GBN terhadap jumlah partikel Mg terklastrer untuk masing-masing variasi konsentrasi maka dapat digambarkan model jumlah partikel Mg terklastrer yang terdeposit pada permukaan GBN pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa partikel Mg pada permukaan GBN membentuk klastrer. Pada Mg 10 % massa/GBN memiliki ukuran partikel Mg 7,454 nm (data XRD). Jarak antara atom Mg-Mg adalah 0,32 nm, sehingga dapat diindikasikan bahwa klastrer partikel Mg dalam Mg 10 % massa/GBN tersusun atas 23 atom Magnesium (Mg).



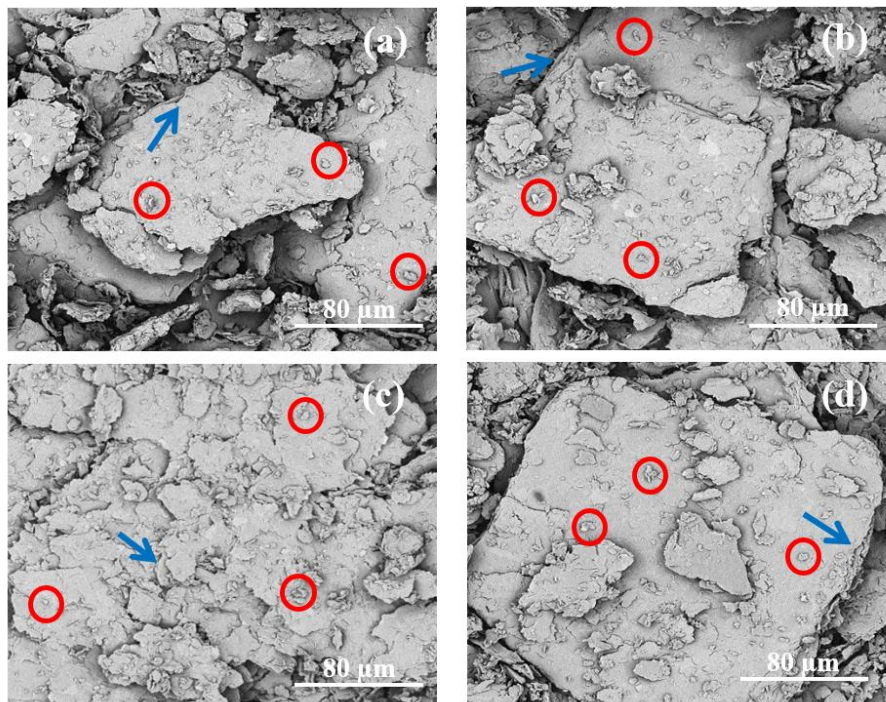
Gambar 3. Model jumlah partikel Mg terklaster yang terdeposit pada permukaan GBN: (a) Mg 10 % massa/GBN; (b) Mg 20 % massa/GBN; (c) Mg 30% massa/GBN; dan (d) Mg 40 % massa/GBN

Pembentukan partikel ini dipengaruhi oleh ukuran logam, kerapatan, dan muatan logam serta pengaruh adanya interaksi π -s antara partikel Mg dengan permukaan GBN (Kakei *et al.*, 2019).

Analisis SEM-EDX

Morfologi permukaan Mg/GBN pada masing-masing % massa Mg dapat diamati pada Gambar 4. Berdasarkan hasil SEM pada perbesaran $1000 \times$ dari Mg/GBN (Gambar 4 (a–d)) dapat diamati bahwa pada masing-masing gambar terdapat spot-spot putih berukuran kecil yang diduga merupakan partikel Mg terklaster yang menempel pada lembaran-lembaran tipis (GBN). Hal ini mengindikasikan bahwa partikel Mg telah berhasil terdeposit dan tersebar secara merata pada permukaan GBN.

Selanjutnya, pada penelitian ini juga dilakukan analisis EDX untuk mengetahui kelimpahan unsur-unsur komponen penyusun Mg/GBN pada masing-masing konsentrasi Mg (% massa). Hasil analisis EDX untuk masing-masing area yang dipilih dari Mg/GBN dapat dilihat pada *Supporting Information*. Spektrum EDX dari Mg/GBN (*Supporting Information*) menunjukkan adanya puncak dengan intensitas cukup besar pada energi 0,277 keV untuk unsur karbon (C) dan puncak pada energi 1,253 keV untuk unsur magnesium (Mg) yang membuktikan bahwa Mg terdeposit dengan baik pada permukaan GBN. Hasil EDX (Tabel 2) juga membuktikan bahwa Mg konsentrasi % massa Mg yang terdeposit semakin meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi larutan prekursor yang digunakan.



Gambar 4. Hasil SEM pada perbesaran $1000 \times$ dari Mg 10 % massa/GBN (a); Mg 20 % massa/GBN (b); Mg 30 % massa/GBN (c); dan Mg 40 % massa/GBN (d) (linkaran merah: partikel Mg; panah biru : lembaran grafena)

Tabel 2. Kelimpahan unsur penyusun Mg/GBN

Simbol Unsur	Nama Unsur	Mg 10 %		Mg 20 %		Mg 30 %		Mg 40 %	
		Atomic Conc.	Weight Conc.	Atomic Conc.	Weight Conc.	Atomic Conc.	Weight Conc.	Atomic Conc.	Weight Conc.
C	Karbon	55,49	48,21	54,15	46,12	57,35	48,61	48,78	38,81
O	Oksigen	34,50	39,93	32,42	36,78	24,81	28,01	34,07	36,11
Mg	Magnesium	0,35	0,62	0,68	1,17	1,05	1,81	2,54	4,09
N	Nitrogen	8,28	8,39	9,92	9,86	12,74	12,60	8,85	8,21
Si	Silikon	0,80	1,63	1,06	2,11	1,37	2,71	0,85	1,59
Al	Aluminium	0,34	0,66	0,58	1,12	0,58	1,11	0,44	0,78
S	Sulfur	0,17	0,40	0,50	1,13	0,23	0,51	0,32	0,69
P	Posfor	0,02	0,05	0,10	0,21	0,11	0,24	0,08	0,16
K	Kalium	0,04	0,11	0,04	0,12	0,04	0,12	0,05	0,12
Cl	Klorin	0,00	0,00	0,55	1,38	1,71	4,29	4,02	9,45

Analisis Konduktivitas Listrik

Analisis konduktivitas listrik dilakukan untuk mengetahui kemampuan material Mg/GBN untuk menghantarkan arus listrik. Hasil analisis konduktivitas listrik dari Mg/GBN ditunjukkan pada Tabel 3. Berdasarkan hasil analisis konduktivitas listrik (Tabel 3) terlihat bahwa paduan Mg/GBN memiliki nilai konduktivitas listrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan grafit dan GBN murni. Hal ini dipengaruhi oleh adanya elektron π terdelokalisasi di sepanjang ikatan C=C pada struktur GBN yang bertindak sebagai pembawa muatan listrik dan adanya interaksi π -s yang terjadi antara Mg-grafena pada material Mg/GBN, di mana partikel Mg merupakan unsur yang mudah melepas elektron (mudah teroksidasi, $E^\circ = -2,372$ V) sehingga mampu memodifikasi sifat elektronik GBN. Nilai konduktivitas listrik yang meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi (% massa) Mg yang terdeposit pada permukaan GBN disebabkan oleh 1) pengaruh jumlah partikel dan sisi permukaan aktif Mg yang berinteraksi terhadap lembaran GBN semakin banyak dan 2) pengaruh jarak antar lembaran GBN yang semakin meningkat sehingga dapat meningkatkan mobilitas elektron pada tiap lembaran GBN (Nuriana, 2017).

Tabel 3. Nilai Konduktivitas Listrik

Sampel	Nilai Konduktivitas Listrik ($\mu\text{S/cm}$)
Grafit	86
GBN	655
Mg 10 % massa/GBN	1345
Mg 20 % massa/GBN	1898
Mg 30 % massa/GBN	1939
Mg 40 % massa/GBN	2130

KESIMPULAN

Sintesis GBN dilakukan melalui metode Hummers termodifikasi dan sintesis Mg/GBN dilakukan melalui metode impregnasi. GBN mampu mereduksi ion Mg^{2+} dari prekursor $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan mampu mengendalikan distribusi ukuran dan persebaran partikel Mg yang terdeposit pada permukaannya. Partikel Mg yang terdeposit bertindak sebagai *nanospacer* dengan menghambat aglomerasi dan penumpukan kembali antar lembaran GBN. Selain itu, penambahan partikel Mg juga mampu memodifikasi sifat elektronik GBN dengan meningkatkan mobilitas elektron pada tiap lembaran GBN sehingga dapat meningkatkan konduktivitas listriknya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ab Malik Marwan Ali, Puan Cik Masni binti Mohd. Soberi, serta kepada seluruh staf Laboratorium *Centre for Functional Materials and Nanotechnology*, IOS, UiTM, Shah Alam, Malaysia yang telah banyak membantu penulis dalam proses karakterisasi material sampel.

DAFTAR RUJUKAN

Al Hassan, M.R., Sen, A., Zaman, T., Mostari, M.S. 2019. Emergence of graphene as a promising anode material for rechargeable batteries: a review. *Materials Today Chemistry*, 11, 225–243.

Dedkov, Y., Voloshina, E. 2015. Graphene growth and properties on metal substrates. *J Phys: Condens. Matter*, 27, 1-28.

El-Kady, M.F., Strong, V., Dubin, S., Kaner, R.B.,

2012. Laser Scribing of High-Performance and Flexible Graphene-Based Electrochemical Capacitors. *Science*, 335, 1326-1330.
- Guo, Q., Zeng, W., Liu, S.L., Li, Y.Q., Xu, J.Y., Wang, J.X., Wang, Y. 2020. Recent developments on anode materials for magnesium-ion batteries: a review. *Rare Metal*, 40, 290-308.
- Hanifah, M. F. R., Aziz, M., Jaafar, J., Ismail, A.F. 2015. Synthesis of Graphene Oxide Nanosheets via Modified Hummers' Method and Its Physicochemical Properties. *Jurnal Teknologi*, 74(1), 195-98.
- Kakei, K., Esrafil, M., Egsani, A. 2019. *Graphene Surfaces*. 1st edition. Interface Science and Technology. Academis Press.
- Khan, M., Tahir, M.N., Adil, S.F., Khan, H.U., Siddiqui, M.R.H., Al-warthan, A.A., Tremel, W. 2015. Graphene Based Metal and Metal Oxide Nanocomposites: Synthesis, Properties and Their Applications. *Journal of Materials Chemistry A*, 3(37), 18753-18808.
- Kozlov, S.M., Viñes, F., Görling, A. 2011. Bandgap Engineering of Graphene by Physisorbed Adsorbates. *Advanced Materials*, 23, 2638-2643.
- , 2012. Bonding Mechanisms of Graphene on Metal Surfaces. *Journal of Physical Chemistry C*, 116(13), 7360-7366.
- Li, Z., Ge, X., Li, C., Dong, S., Tang, R., Wang, C., Zhang, Z., Yin, L. 2020. Rational Microstructure Design on Metal-Organic Framework Composites for Better Electrochemical Performances: Design Principle, Synthetic Strategy, and Promotion Mechanism. *Small Methods*, 4, 1900756.
- Liu, X., Wang, C.Z., Hupalo, M., Lin, H.Q., Ho, K.M., Tringides, M.C., 2013. Metals on Graphene: Interactions, Growth Morphology, and Thermal Stability. *Crystals*, 3(1), 79-111.
- Malyala, L., Thatipamula, S., Jetti, V.R. 2019. Magnesium-Graphene Composite Coated on SS Mesh as Cathode Material for Rechargeable Magnesium ion Battery. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 72, 2503-2510.
- Munir, K., Wen, C., Li, Y. 2020. Graphene Nanoplatelets-Reinforced Magnesium Metal Matrix Nanocomposites with Superior Mechanical and Corrosion Performance for Biomedical Applications. *Journal of Magnesium and Alloys*, 8, 269-290.
- Nuriana, 2017. Analisis Pengaruh Waktu Sputtering Pd dan Ni pada Sintesis Material Elektrokatalis Berbahan Pd-Ni/Graphene terhadap Unjuk Kerja Direct Methanol Fuel Cell (DMFC). *Jurnal ITS*, 6(1), 1-6.
- Ohta, T., Bostwick, A., Seyller, T., Horn, K., Rotenberg, E. 2006. Controlling the Electronic Structure of Bilayer Graphene. *Science*, 313, 951-954.
- Olabi, A.G., Abdelkareem, M.A., Wilberforce, T., Sayed, E.T. 2020. Application of Graphene in Energy Storage Device. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110026.
- Olsson, E., Hussain, T., Karton, A., Cai, Q. 2020. The Adsorption and Migration Behavior of Divalent Metals (Mg, Ca, and Zn) on Pristine and Defective Graphene. *Carbon*, 163, 276-287.
- Orikasa, Y., Masese, T., Koyama, Y., Mori, T., Hattori, M., Yamamoto, K., Uchimoto, Y. 2014. High energy density rechargeable magnesium battery using earth-abundant and non-toxic elements. *Scientific Reports*, 4(1), 5622.
- Qi, W., Shapter, J.G., Wu, Q., Yin, T., Gao, G., Cui, D. 2017. Nanostructured Anode Materials for Lithium-ion Batteries: Principle, Recent Progress and Future Perspectives. *Journal of Materials Chemistry A*, 5, 19521-19540.
- Rashad, M., Pan, F., Tang, A., Asif, M., She, J., Gou, J., Mao, J., Hu, H. 2015. Development of Magnesium-Graphene Nanoplatelets Composite. *Journal of Composite Materials*, 49, 285-293.
- Ratih, D., Siburian, R., Andriyani. 2018. The Performance of Graphite/N-Graphene and Graphene/N-Graphene as Electrode in Primary Cell Batteries. *Rasayan Journal of Chemistry*, 11(4), 1649-1656.
- Samuels, A.J., Carey, J.D. 2013. Molecular Doping and Band-Gap Opening of Bilayer Graphene. *ACS Nano*, 7(3), 2790-2799.
- Serraon, A.C.F., Rosario, J.A.D.D., Chuang, P.Y.A., Chong, M.N., Morikawa, Y.,

- Padama, A.A.B., Ocon J.D. 2021. Alkaline Earth Atom Doping-Induced Changes in the Electronic and Magnetic Properties of Graphene: A Density Functional Theory Study. *RSC Advances*, 11, 6268-6283.
- Siburian, R., Nakamura, J. 2012. Formation Process of Pt Subnano-Clusters on Graphene Nanosheets. *The Journal of Physical Chemistry C*, 116(43), 22947-22953.
- Siburian, R., Sihotang, H., Raja, S.L., Supeno, M., Simanjuntak, C. 2018. New Route to Synthesize of Graphene Nano Sheets. *Orient J Chem*, 34(1).
- Simanjuntak, C., Siburian, R., Marpaung, H., Tamrin. 2020. Properties of Mg/Graphite and Mg/Graphene as Cathode Electrode on Primary Cell Battery. *Heliyon*, 6, e03118.
- Tachikawa, H., Iyama, T., Kawabata, H. 2009. MD simulation of the interaction of magnesium with graphene. *Thin Solid Films*, 518(2), 877-879.
- Tayyab, M., Hussain, A., Asif, Q. A., and Adil, W. 2020. Band-Gap Tuning of Graphene by Mg Doping and Adsorption of Br and Be on Impurity: A DFT Study. *Computational Condensed Matter*, 23, e00469.
- Tiwari, S.K., Sahoo, S., Wang, N., Huczko, A. 2020. Graphene Research and their Outputs: Status and Prospect. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 5, 10-29.
- Walter, M., Kovalenko, M. V., Kravchyk, K. V. 2020. Challenges and Benefits of Post-Lithium-ion Batteries. *New Journal of Chemistry*. 44, 1677-1683.
- Wang, C., Xu, J., Yuen, M.F., Zhang, J., Li, Y., Chen, X., Zhang, W. 2014. Hierarchical Composite Electrodes of Nickel Oxide Nanoflake 3D Graphene for High-Performance Pseudocapacitors. *Advanced Functional Materials*, 24, 6372-6380.
- Xia, G., Tan, Y., Wu, F., Fang, F., Sun, D., Guo, Z., Huang, Z., Yu, X.M. 2016. Graphene-Wrapped Reversible Reaction for Advanced Hydrogen Storage. *Nano Energy*, 26, 488-495.
- Zhou, C., Szipunar, J.A., Cui, X. 2016. Synthesis of Ni/Graphene Nanocomposite for Hydrogen Storage. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 8, 15232-15241.

Supporting Information

Pengaruh Konsentrasi dan Ukuran Partikel Logam Mg terhadap Karakter Magnesium/Grafena Berlapis Nano (Mg/GBN)

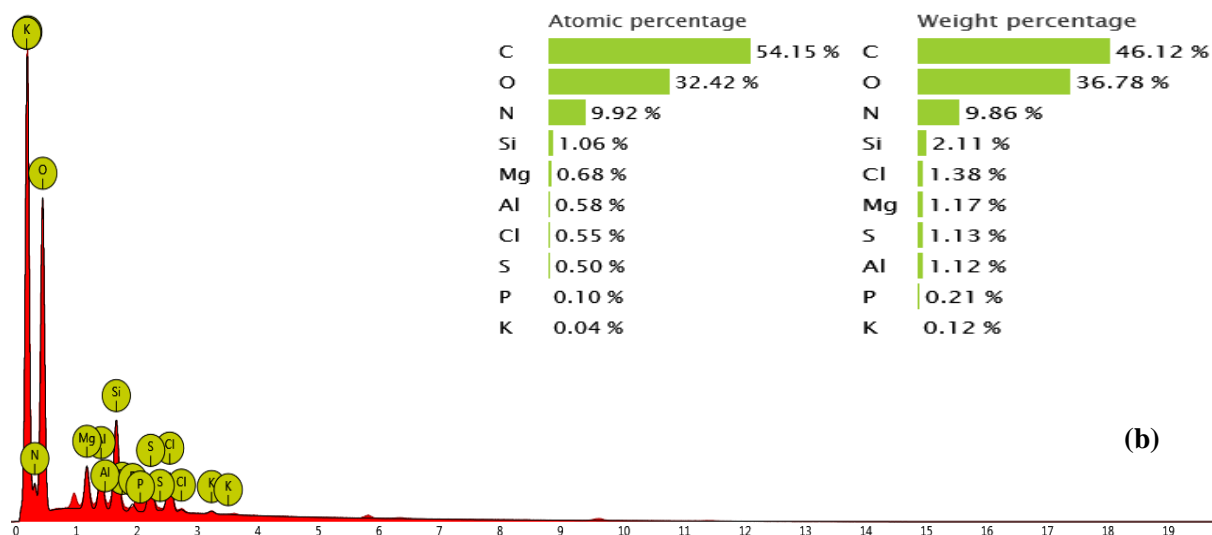
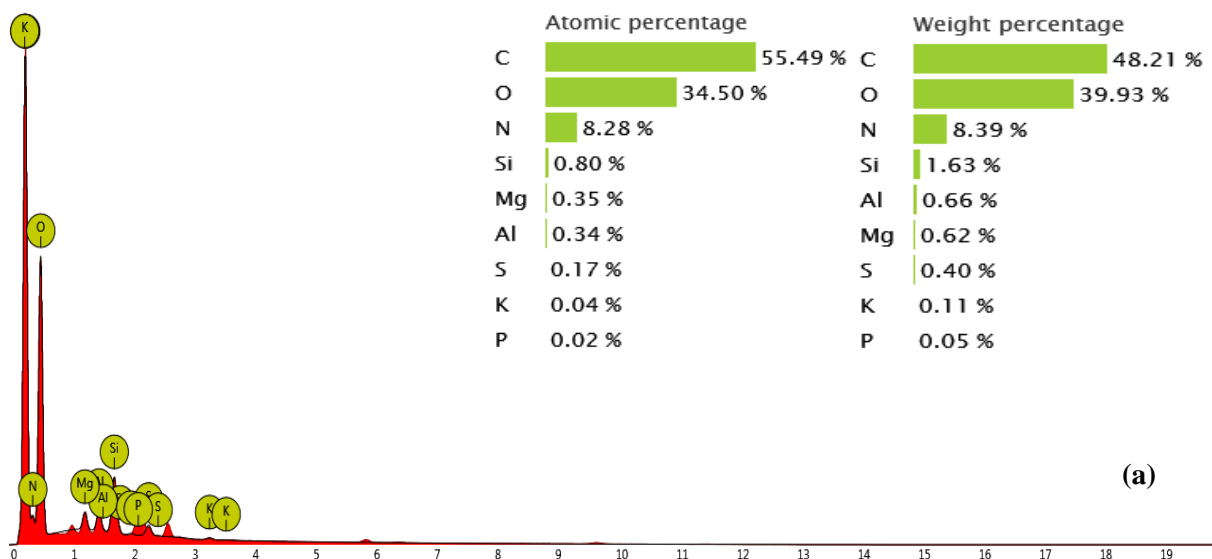
Fajar Hutagalung,¹ Rikson Siburian,^{2*} & Ab Malik Marwan Ali³

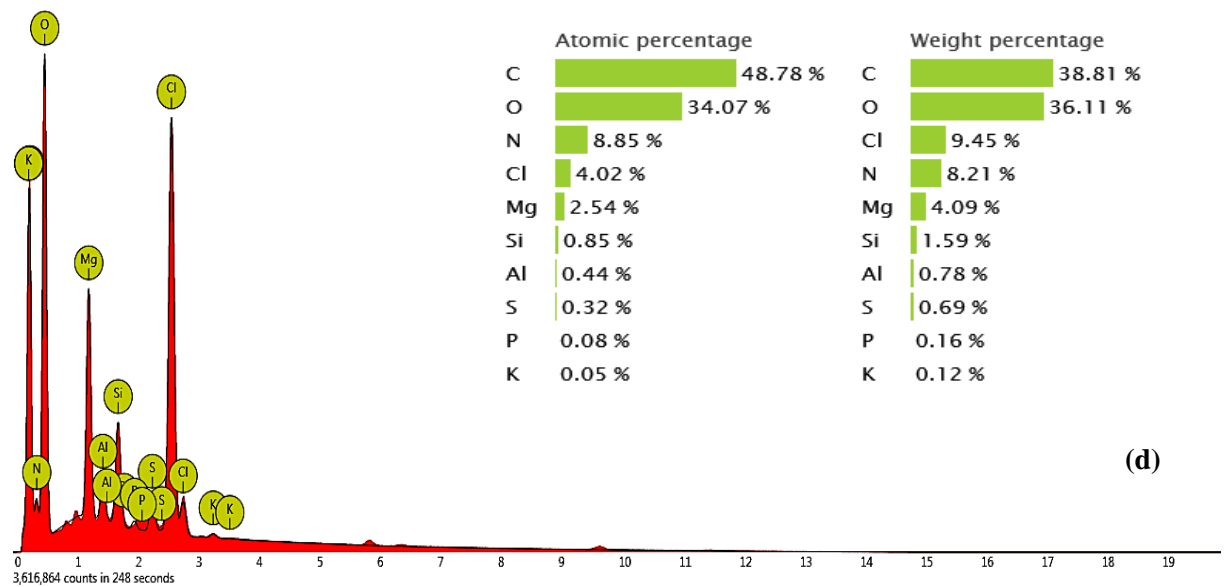
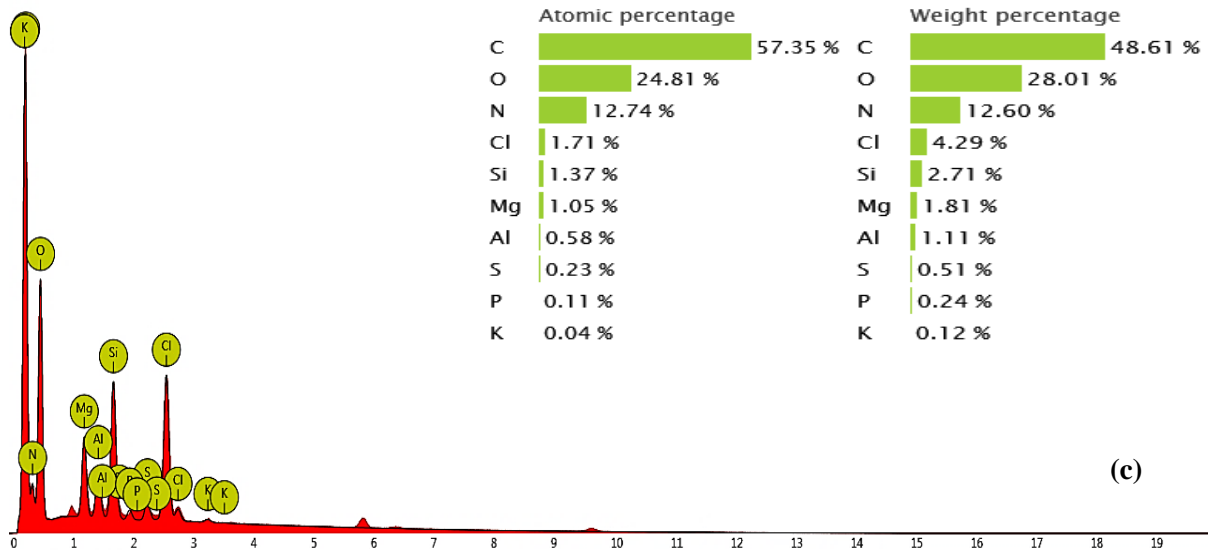
¹Magister Ilmu Kimia, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara, Medan 20155, Indonesia

²Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara, Medan 20155, Indonesia

³Faculty of Applied Sciences, Universiti Teknologi MARA, 40450 Shah Alam, Selangor, Malaysia

email: rikson@usu.ac.id





Gambar S1. Kelimpahan unsur-unsur penyusun dari Mg 10 % massa/GBN (a); Mg 20 % massa/GBN (b); Mg 30 % massa/GBN (c); dan Mg 40 % massa/GBN (d) berdasarkan hasil analisis EDX