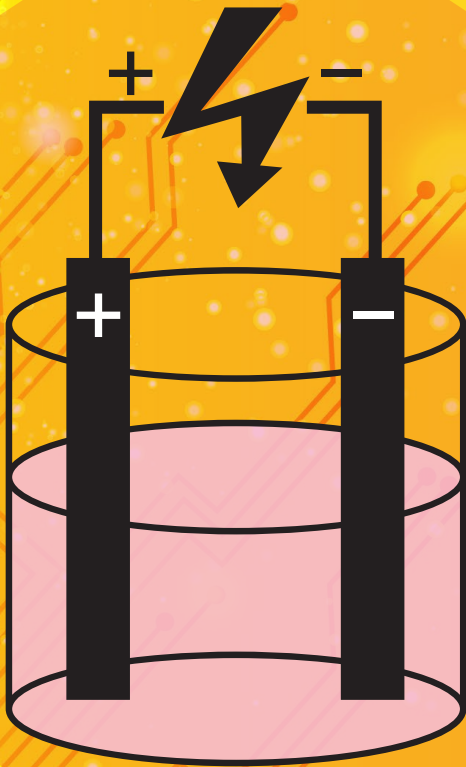


Tim Penulis

Rikson Siburian | Minto Supeno | Kerista Tarigan | Firman Sebayang  
Cristina Simanjuntak | Herlince Sihotang | Sri Pratiwi Aritonang

# Aplikasi Grafena Sebagai **Elektroda** Baterai



*Pilar*

# **Aplikasi Grafena Sebagai Elektroda Baterai**



**Tim Penulis**

Rikson Siburian | Minto Supeno | Kerista Tarigan | Firman Sebayang  
Crystina Simanjuntak | Herlince Sihotang | Sri Pratiwi Arintonang

# **Aplikasi Grafena Sebagai Elektroda Baterai**

*Pilar*

.....

.....

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang; dilarang memperbanyak, menyalin, merekam sebagian atau seluruh bagian buku ini dalam bahasa atau bentuk apapun tanpa izin tertulis dari tim penulis dan penerbit.

*Perpustakaan Nasional: Katalog Dalam Terbitan (KDT)*

APLIKASI GRAFENA SEBAGAI ELEKTRODA BATERAI / Rikson Siburian – Medan: .....  
2019.

Vi,

Bibliografi

ISBN: 978-623-91531-7-5

Edisi pertama: Desember 2019

Editor : Kasuni Sihombing

Setting & Layout Isi : Kasuni Sihombing

Diterbitkan

*Pilar*

surel: pilarpublisher@gmail.com

www.pilarpublisher.com

Dicetak di Denpasar, Indonesia

## KATA SAMBUTAN REKTOR UNIVERSITAS SUMATERA UTARA

Universitas Sumatera Utara (USU) merupakan salah satu universitas negeri milik pemerintah Republik Indonesia, yaitu Perguruan Tinggi Negeri Berbadan Hukum (PTNBH). Salah satu piranti penting yang menentukan kualitas USU adalah staf pengajar (dosen). Seorang dosen terikat pada Tridarma Perguruan Tinggi. Luarannya, salah satu diantaranya dapat teraktualisasi dalam menghasilkan buku. Istimewanya, buku berbasis data-data dari hasil-hasil penelitian yang mutakhir dan kekinian.

Oleh karenanya, Rektor selalu mendorong para dosen untuk terus berkarya khususnya meningkatkan karya-karya ilmiahnya yang berkualitas dan mampu memperkaya keilmuan khususnya sesuai kompetensinya. Program-program kerja Rektor USU dibidang penelitian dengan memberikan Hibah Penelitian (Hibah TALENTA) dan insentif publikasi merupakan salah satu bukti dukungan positif bagi para dosen untuk terus berkarya dan meningkatkan kompetensinya. Sebagai Rektor USU, saya sangat menghargai dan berterimakasih pada para penulis yang telah berkontribusi untuk meningkatkan karya ilmiah berupa buku hasil penelitian di lingkungan USU. Upaya-upaya produktif para penulis harus terus disebar luaskan dan menjadi inisiasi bagi para dosen lainnya di lingkungan USU.

Dengan demikian, Rektor memberikan apresiasi yang tinggi buat para penulis yang telah bekerjakeras dalam menghasilkan buku ini. Akhirnya, semoga buku ini dapat berkontribusi bagi kemajuan IPTEK dan bermanfaat bagi para mahasiswa, peneliti dan dosen yang menggeluti bidang tersebut. Teruslah berkarya dan berkontribusi positif bagi kemajuan Universitas Sumatera Utara.

Medan 31 Oktober 2019,

Rektor

Prof. Dr. Runtung, S.H, M.Hum

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan Syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan yang Maha Esa atas berkat dan perlindunganNya sehingga buku ini dapat terselesaikan. Buku ini dapat terselesaikan berkat bantuan dari berbagai pihak. Oleh karenanya, penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada Bapak Prof. Dr. Kerista Sebayang, MS (Profesor Fisika, Universitas Sumatera Utara) atas masukan-masukannya dalam memeriksa setiap data demi memperkaya dalam pembahasan dari setiap data yang diperoleh serta penguatan-penguatan teori demi penyempurnaan buku ini. Selanjutnya, terima kasih penulis sampaikan kepada Seluruh Anggota Grup Grafena, Universitas Sumatera Utara atas bantuannya dalam menghasilkan dan menganalisis data-data dalam buku ini.

Penulis juga tidak lupa berterima kasih kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi, Republik Indonesia yang telah memberikan bantuan dana penelitian kepada penulis melalui skim Hibah Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT) serta kepada Yth. Bapak Rektor Universitas Sumatera Utara melalui Lembaga Penelitian (Hibah TALENTA-USU).

Akhirnya, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian buku ini. Semoga buku ini bermanfaat bagi para pembaca dan dapat memberikan kontribusi yang besar untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di tanah air kita khususnya dibidang Kimia Analitik dan Sains pada umumnya.

Salam hormat,

Penulis

## KATA PENGANTAR

Elektrokimia sebagai salah satu bagian dari Ilmu Kimia Analitik sangat menarik untuk dipelajari. Reaksi anoda, katoda dan elektrolit pada baterai merupakan aplikasi dari elektrokimia. Transfer elektron-elektron dari dan ke anoda, katoda serta elektrolit pada baterai sangat ditentukan oleh material-material penyusunnya. Oleh karena itu waktu hidup dan kualitas baterai sangat bergantung pada material penyusun elektoda dan elektrolitnya.

Buku ini mengkaji baterai dari sudut pandang Elektrokimia dan karakterisasi sesuai kajian ilmu bidang Kimia Analitik. Prinsip-prinsip dasar Elektrokimia digunakan dalam mengkaji material-material yang potensial untuk digunakan dalam rangka mengatasi persoalan baterai saat ini. Kajian ilmiah menjelaskan bahwa persoalan utama dalam komersialisasi dan pengembangan baterai adalah kualitas material yang digunakan sangat mempengaruhi waktu hidup dan keekonomisannya.

Pada buku ini diuraikan tentang i) gambaran umum baterai; ii) grafit; iii) grafena; iv) aplikasi grafena untuk elektroda baterai (Fe/grafena); dan v) Aplikasi N-grafena untuk elektroda baterai. Kecepatan donasi elektron dan interaksi kimia diantara material-material penyusun baterai sangat dapat diandalkan untuk meningkatkan waktu pakai baterai.

Buku ini bertujuan untuk mengkaji potensi grafena dan N-grafena sebagai elektroda baterai primer, sehingga mampu meningkatkan umur pakai dan keekonomisan baterai. Data-data yang digunakan dalam buku ini bersumber dari hasil-hasil penelitian dalam Grup Riset Grafena, FMIPA-USU dalam kurun waktu 2017-2019. Sintesis grafena yang berhasil dilakukan sejak 2012 menjadi modal awal pengembangan grafena untuk berbagai aplikasi salah satunya baterai. Selanjutnya, 2013, Platina (Pt) terdeposit dalam skala sub-nanokluster ( $< 1$  nm) menjadi riset yang fenomenal dan sangat menarik untuk dikaji dan dikembangkan lebih lanjut. Dengan demikian, produksi



grafena berlapis nano (GBN) dan turunannya (N-GBN) dalam skala besar terus dikejar dan diikuti oleh aplikasinya, misalnya elektroda baterai primer. Besi (Fe)/GNS sangat menarik untuk diteliti, buku ini mendeskripsikan hasil riset tersebut. Selanjutnya buku ini juga memaparkan elektroda dari paduan  $\pi$ -Karbon yaitu N-Grafena, Grafena/N-Grafena, Grafit/Grafena, Grafit/N-Grafena.

Buku ini tentu masih jauh dari sempurna. Seluruh masukan-masukan yang membangun untuk kebaikan buku tersebut di masa akan datang sangat penulis harapkan. Semoga buku ini memperkaya pengetahuan para pembaca yang menekuni ilmu kimia analitik khususnya dibidang elektrokimia.

Salam hormat,

Penulis

## DAFTAR ISI

Kata Sambutan Rektor Universitas Sumatera Utara .....	iii
Ucapan Terima Kasih .....	iv
Kata Pengantar .....	v
Daftar Isi .....	vii
Daftar Gambar .....	ix
Daftar Tabel .....	xi
Bab 1   Pendahuluan .....	1
1.1    Pengantar .....	1
1.2    Garis Besar Buku .....	3
Bab 2   Baterai .....	5
2.1    Komponen Sel Baterai Primer .....	6
Bab 3   Grafrit sebagai material pendukung ( <i>Support Material</i> ) .....	7
Bab 4   Grafena .....	9
4.1    Sintesis Grafena Berlapis Nano (GBN) .....	14
a.    Sintesis Oksida Grafena .....	14
b.    Sintesis Grafena .....	15
c.    Perubahan yang terjadi pada Sintesis Grafena Berlapis Nano (GBN) .....	15
d.    Pengukuran Daya Hantar Listrik (DHL) Elektroda Anoda Baterai Primer Komersial .....	16
e.    Pengukuran Daya Hantar Listrik (DHL) Elektroda Katoda Baterai Primer Komersial .....	16
4.2    Difraksi Sinar-X (XRD) .....	17

4.3	Mikroskop Elektron Payaran (SEM) .....	18
1.	Analisis Grafit .....	18
2.	Analisis Grafena Berlapis Nano (GBN) .....	19
3.	Daya Hantar Listrik (DHL) .....	19
Bab 5	Fe/Grafena .....	23
5.1	Karakterisasi Fe/Grafena dengan menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD), <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM), dan Daya Hantar Listrik (DHL) .....	24
Bab 6	N-Grafena .....	45
	A. XRD .....	46
	B. SEM .....	47
	C. Grafit/Grafena .....	48
	D. Grafit/N-Grafena .....	49
	E. Grafena/N-Grafena .....	50
	F. Analisis Sifat Listrik .....	51
	G. Grafit/Grafena .....	52
	H. Grafit/N-Grafena .....	53
	I. Grafena/N-Grafena .....	55
	Daftar Pustaka .....	57
	Tentang Penulis .....	62

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1	Struktur Grafena .....	9
Gambar 4.2	Difraktogram Sinar X dari Grafit, Grafena Oksida dan Grafena Berlapis Nano .....	17
Gambar 4.3	Perbedaan perbesaran Grafit A. 500 $\times$ ; B.1000 $\times$ ; C.3000 $\times$ .....	18
Gambar 4.4	Perbedaan perbesaran Grafena A. 500 $\times$ B. 1000 $\times$ C. 3000 $\times$ .....	19
Gambar 4.5	Variasi Arus dan Daya Hantar Listrik Grafit, Grafena dan Anoda Baterai Komersial .....	21
Gambar 5.1	Difraktogram Fe/GBN .....	24
Gambar 5.2	Scanning Electron Microscope (SEM) dari Fe 3,81%/GBN .....	25
Gambar 5.3	Histogram Ukuran Partikel Fe 3,81%/GBN .....	26
Gambar 5.4	Scanning Electron Microscope (SEM) dari Fe 3,86%/GBN .....	27
Gambar 5.5	Histogram Ukuran Partikel Fe 3,86%/GBN .....	28
Gambar 5.6	Scanning Electron Microscope (SEM) dari Fe 3,92%/GBN .....	28
Gambar 5.7	Histogram Ukuran Partikel Fe 3,92%/GBN .....	29
Gambar 5.8	Scanning Electron Microscope (SEM) dari Fe 4,23%/GBN .....	30
Gambar 5.9	Histogram Ukuran Partikel Fe 4,23%/GBN .....	31
Gambar 5.10	Scanning Electron Microscope (SEM) dari Fe 4,39%/GBN .....	31
Gambar 5.11	Histogram Ukuran Partikel Fe 4,39%/GBN .....	32
Gambar 5.12	Scanning Electron Microscope (SEM) dari Fe 5,04%/GBN .....	33
Gambar 5.13	Histogram Ukuran Partikel Fe 5,04%/GBN .....	34
Gambar 5.14	Ukuran Partikel Fe dengan Variasi Konsentrasi Fe didalam GBN .	35
Gambar 5.15	Konsep metode pembentukan partikel Fe/GBN .....	36
Gambar 5.16	Variasi Daya Hantar Listrik Fe/GBN .....	40
Gambar 5.17	Grafik kuat arus terhadap tegangan pada variasi Fe/GBN .....	41
Gambar 5.18	Kuat Arus Fe 3,86%/GBN terhadap variasi waktu .....	43

Gambar 6.1	Struktur N-Grafena .....	46
Gambar 6.2	Difraktogram dari Grafit/Grafena, Grafit/N-Grafena dan Grafena/N-Grafena .....	46
Gambar 6.3	Foto SEM pada permukaan N-Grafena .....	47
Gambar 6.4	Foto SEM pada Grafit/Grafena .....	48
Gambar 6.5	Foto SEM pada Grafit/N-Grafena .....	49
Gambar 6.6	Foto SEM pada Grafena/N-Grafena .....	50
Gambar 6.7	Kurva Tegangan-vs-Arus dari Grafit/Grafena .....	53
Gambar 6.8	Kurva Tegangan-vs-Arus dari Grafit/N-Grafena .....	54
Gambar 6.9	Kurva Tegangan-vs-Arus dari Grafena/N-Grafena .....	55

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Daya Hantar Listrik pada Grafena Berlapis Nano .....	19
Tabel 4.2	Daya Hantar Listrik pada Grafit .....	20
Tabel 4.3	Daya Hantar Listrik Anoda Baterai Primer Komersial .....	20
Tabel 5.1	Analisis Ukuran Partikel Fe 3,81%/GBN .....	26
Tabel 5.2	Ukuran Partikel Fe 3,86%/GBN .....	27
Tabel 5.3	Ukuran Partikel Fe 3,92%/GBN .....	29
Tabel 5.4	Ukuran partikel Fe 4,23%/GBN .....	30
Tabel 5.5	Ukuran partikel Fe 4,39%/GBN .....	32
Tabel 5.6	Ukuran partikel Fe 5,04%/GBN .....	33
Tabel 5.7	Ukuran Partikel Fe dengan variasi konsentrasi di dalam GBN .....	34
Tabel 5.8	Daya Hantar Listrik Fe 3,81%/GBN .....	37
Tabel 5.9	Daya Hantar Listrik Fe 3,86%/GBN .....	38
Tabel 5.10	Daya Hantar Listrik Fe 3,92%/GBN .....	38
Tabel 5.11	Daya Hantar Listrik Fe 4,23%/GBN .....	39
Tabel 5.12	Daya Hantar Listrik Fe 4,39%/GBN .....	39
Tabel 5.13	Daya Hantar Listrik Fe 5,04%/GBN dengan variasi waktu 5 – 60 menit pada tegangan 30 Volt .....	40
Tabel 5.14	Kuat Arus Fe 3,86%/GBN dengan variasi waktu 5 – 60 menit pada tegangan 30 Volt .....	42
Tabel 6.1	Kelimpahan Elemen N-Grafena dengan menggunakan EDX .....	48
Tabel 6.2	Kelimpahan Elemen Grafit/Grafena dengan menggunakan EDX ....	49
Tabel 6.3	Kelimpahan Elemen Grafit/N-Grafena dengan menggunakan EDX .	50
Tabel 6.4	Kelimpahan Elemen Grafena/N-Grafena menggunakan EDX .....	51
Tabel 6.5	Daya Hantar Listrik pada N-Grafena .....	51
Tabel 6.6	Daya Hantar Listrik pada Grafit/Grafena .....	52
Tabel 6.7	Daya Hantar Listrik pada Grafit/N-Grafena .....	53
Tabel 6.8	Daya Hantar Listrik pada Grafena/N-Grafena .....	55



# Bab 1

## Pendahuluan

### 1.1 Pengantar

Baterai adalah piranti elektrokimia yang dapat mengkonversi secara langsung energi kimia menjadi energi listrik. Baterai terdiri dari dua jenis berdasarkan pemakaiannya, yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer adalah baterai yang tidak dapat diisi ulang oleh listrik, sedangkan baterai sekunder adalah baterai yang dapat diisi ulang (*rechargeable*). Baterai primer lebih banyak diperjualbelikan di pasaran dibandingkan baterai sekunder dikarenakan baterai primer memiliki kapasitas muatan yang lebih besar, kemampuan menyimpan muatan yang lebih baik, lebih ramah lingkungan saat di daur ulang, daya tahan lebih baik dari kebocoran, tidak memerlukan perlakuan khusus, dan harga yang lebih murah (David, 2002).

Pada tahun 2014 kebutuhan baterai primer di dunia mencapai 11,0 juta pertahun, diperkirakan akan mengalami kenaikan tiap tahun ( $\pm 63\%$ ) di Benua Asia (CRU, 2015). Saat ini baterai primer komersial yang sering digunakan oleh masyarakat adalah baterai Zn-klorida, Zn-karbon, Lithium dan baterai Alkalin (Buchman, 2014). Komponen penyusun sel baterai primer terdiri dari 1) Anoda: elektroda negatif yang berfungsi sebagai elektroda pereduksi dan memberikan elektron yang dimilikinya sehingga mengalami oksidasi selama proses berlangsung, contohnya seng (Zn), dan 2) Katoda sebagai elektroda positif yang lebih sering dikenal sebagai elektroda pengoksidasi yang dirancang sedemikian rupa supaya dapat menangkap elektron dan tereduksi selama proses berlangsung dan 3) Elektrolit yaitu larutan asam, basa atau garam bersifat konduktor. Elektrolit berperan sebagai media transfer antara katoda dan anoda. Kelemahan baterai primer yaitu kemampuan penyimpanan dan pelepasan elektron rendah dan belum teratasi (Tribowo, 2011).

Berbagai peneliti telah melaporkan upaya untuk meningkatkan kinerja baterai primer. Kucinskis (2013) melaporkan, bahwa penggunaan grafena pada katoda dapat



meningkatkan konduktivitas pada katoda baterai primer. Hal itu terjadi dikarenakan, grafena memiliki daya penyimpanan energi yang sangat tinggi dan luas permukaan yang besar ( $2.630 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ ). Grafena secara efektif dapat memperbaiki pengangkutan elektron dan ion dari bahan elektroda, sehingga penambahan grafena dapat meningkatkan sifat elektrik baterai primer dan memberikan stabilitas kimia yang lebih baik, konduktivitas listrik yang lebih tinggi dan kapasitas energi yang lebih tinggi (Zhu, 2014).

Saat ini elektroda besi (Fe) telah digunakan sebagai anoda dalam baterai. Besi sebagai elektroda telah dikembangkan dan memberikan kinerja yang lebih baik dan memiliki biaya produksi yang lebih rendah (Linden, 2002). Keunggulan Besi (Fe): 1) merupakan logam transisi yang memiliki orbital d, sehingga diharapkan terjadi interaksi kimia dengan grafena (interaksi  $\pi - d$ ); 2) Kelimpahan Fe lebih banyak dan murah dibanding Zn; 3) menurut deret volta, Fe lebih mudah menangkap elektron maka daya tahan listriknya akan semakin lama sedangkan pada Zn mudah melepas elektron maka daya listrik yang dihasilkan tidak tahan lama; 4) potensial Zn = 1,5 V namun daya reduksinya lebih rendah sedangkan Fe = 1,21 V maka dengan penambahan Fe pada grafena dapat meningkatkan daya reduksi (Yudha, 2016) dan 5) ditinjau dari harga logam, harga bijih Fe = 10.679/Kg sedangkan logam Zn = 47.422/Kg (Werkeiser, 2018).

Grafit dan grafena dapat dicampurkan untuk meningkatkan konduktivitas grafit (Kucinskis, 2013). Kinerja grafit dapat ditingkatkan dengan memodifikasi permukaannya (Yu, 2015).

Grafena adalah material yang terbuat dari grafit, dengan ikatan  $sp^2$  yang disusun secara heksagonal (Geim, 2007). Grafena menjadi sangat menarik untuk dikaji karena memiliki sifat kelistrikan, termal dan mekanik yang luar biasa (Teng, 2012). Namun, grafena tidak memiliki celah energi (*band gap*) sehingga sulit untuk diaplikasikan sebagai bahan semikonduktor dan elektroda pada baterai. Selain itu, konduktivitas grafena masih rendah, yaitu kurang dari  $1250 \mu\text{S cm}^{-1}$  bila dibandingkan grafena yang dipadukan dengan logam. Uji konduktivitas grafena sebesar  $921 \mu\text{S cm}^{-1}$  (Stepanus, 2015) dan logam magnesium yang didepositkan ke dalam larutan grafena menyebabkan konduktivitas grafena meningkat menjadi  $1080 \mu\text{S cm}^{-1}$  (Melki, 2018). Penambahan

logam Pt ke dalam grafena akan menambah aktivitas katoda dan interaksi kimia antara Pt dengan grafena, sehingga aktivitas elektroniknya meningkat (Siburian, 2014).

Oleh karena itu, grafena perlu dimodifikasi untuk meningkatkan konduktivitas dan sifat elektroniknya dengan cara campuran non-logam dan grafena. *Band gap* grafena dapat dimodifikasi dengan mendonasikan elektron yang berasal dari nitrogen ke dalam struktur grafena sehingga menghasilkan N-Grafena (Xin, 2011). Modifikasi material karbon khususnya dengan menggunakan nitrogen (N-dopan karbon) telah diusulkan sebagai material elektroda yang bebas logam (Stankovich, 2007).

Doping nitrogen dapat memperbaiki konduktivitas listrik, kecepatan transfer elektron serta dapat menghasilkan lebih banyak sisi aktif grafena. Hal itu disebabkan adanya peningkatan hidrofobisitas dan penyebaran elektron lebih baik serta membentuk interaksi C-N di dalam sistem N-Grafena sehingga mampu meningkatkan konduktivitas dari N-Grafena (Hu, 2014).

## 1.2 Garis Besar Buku

Buku ini menginformasikan tentang keunggulan grafena dan kinerja Elektroda grafena dengan perpaduan berbahan nonlogam dan perpaduan grafena dengan berbahan logam. Sintesis grafena dilakukan dengan menggunakan metode Hummer termodifikasi. Untuk menghasilkan grafena digunakan pereduktor amonia untuk mereduksi oksida grafena menjadi grafena. Karakterisasi grafena dilakukan dengan menggunakan berbagai instrumen yaitu, *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Scanning Electron Microscope-Electron Dispersion X-Ray (SEM-EDX)*, Konduktometer, dan Multimeter untuk menganalisis sifat listriknya.



## Bab 2

# Baterai

Baterai adalah alat listrik-kimiawi yang menyimpan energi dan dapat mengubah energi listrik menjadi energi kimia maupun mengeluarkan energi dengan mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Baterai telah lama dikenal luas dalam penggunaannya sebagai sumber energi benda-benda elektronik seperti mainan anak, lampu senter dan lain-lain. Listrik yang dihasilkan oleh sebuah baterai muncul akibat adanya perbedaan potensial energi kedua buah elektrodanya.

Kualitas baterai primer tergantung pada berbagai faktor yaitu:

a. Anoda Baterai

Material anoda harus stabil dalam atmosfer teroksidasi serta harus mempunyai sifat konduktor elektronik. Sifat konduktor elektronik, yaitu material tersebut mampu melewati elektron- elektron.

b. Katoda Baterai

Material katoda harus memiliki sifat 1. Memiliki konduktifitas yang tinggi; 2. Memiliki stabilitas kimia yang baik; 3. Katoda memiliki harga koefisien ekspansi termal (*Thermal expansion coefficient* (TEC)) dengan komponen lainnya dalam sel.

c. Elektrolit baterai

Memiliki stabilitas kimia yang bagus, baik pada kondisi teroksidasi maupun reduksi, memiliki kesesuaian kimia dengan material elektroda, memiliki konduktivitas ionik yang tinggi (Rahmawati, 2013).

## 2.1 Komponen Sel Baterai Primer

### A. Anoda

Anoda adalah elektroda negatif yang memiliki peran sebagai elektroda pereduksi dan memberikan elektron yang dimilikinya sehingga mengalami oksidasi selama proses berlangsung. Anoda terbuat dari material yang memiliki elektron valensi yang sangat sedikit. Sebagai contoh logam yang berperan sebagai anoda atau elektroda negatif adalah seng (Zn) (Tribowo, 2011).

### B. Katoda

Katoda adalah elektroda positif yang lebih sering dikenal sebagai elektroda pengoksidasi. Katoda dirancang sedemikian rupa supaya dapat menangkap elektron dan tereduksi selama proses berlangsung. Pada umumnya katoda terbuat dari material dengan elektron valensi yang hampir penuh (Tribowo, 2011).

### C. Elektrolit

Pada umumnya larutan elektrolit berupa larutan asam, basa atau garam sehingga sangat bersifat konduktor ionik. Namun elektrolit tidak harus berupa larutan, dimana terdapat elektrolit berupa bubuk kering atau pasta. Elektrolit berperan sebagai media transfer antara katoda dan anoda. Pada saat elektron melewati sirkuit eksternal, material elektroda di bagian dalam sel berubah menjadi ion - ion untuk bisa mempertahankan aliran proses, sehingga ion - ion tersebut harus melewati elektrolit yang berupa asam, basa atau garam. Elektrolit yang digunakan dalam sel mempunyai persyaratan yaitu mempunyai konduktivitas yang baik dan tidak bereaksi dengan komponen lain dalam baterai (Tribowo, 2011).

## **Bab 3**

# **Grafit sebagai Material Pedukung (*Support Material*)**

Material grafit mempunyai kemampuan yang cukup tinggi dalam peranannya sebagai katoda karena grafit bersifat konduktif (Prihandoko, 2010). Bentuk baru dari karbon ini banyak menarik perhatian dalam penelitian saat ini. Dalam beberapa tahun yang lalu, penelitian dipusatkan pada grafena dan turunannya, yang memiliki potensial untuk membawa perubahan secara fundamental pada industri semikonduktor/elektronik (Marsh, 1997).

Karbon grafit ditemukan memiliki dimensi yang stabil untuk proses interkalasi dan deinterkalasi pada atom baterai. Oleh karena itu, grafit menjadi bahan katoda pilihan untuk baterai. Grafit bersifat lunak, berwarna hitam mengkilap dengan struktur berlapis dan dapat menghantarkan listrik (bersifat konduktor) (Walker, 1981).

Bentuk heksagonal grafit termodinamika stabil pada rentang suhu dan tekanan ( $T < 2000^\circ \text{C}$ ,  $P < 1.3 \times 10^{10} \text{ Pa}$  (130 kbar)). Semua alotrop karbon berbentuk padat dalam kondisi normal, tetapi grafit merupakan alotrop yang paling stabil secara termodinamika diantara alotrop-alotrop lainnya. Grafit biasa digunakan sebagai elektroda positif (katoda) karena kinerja siklus yang baik dan strukturnya yang baik (Kwiecinska, 2004).

### 1. Grafit Alam

Saat ini grafit alam menjadi salah satu kandidat yang paling menjanjikan sebagai bahan katoda baterai terutama karena biaya rendah dan kapasitas reversibel relatif tinggi (330-350 mAh/g). Disisi lain, grafit alam memiliki kelemahan yaitu: kapasitas tingkat rendah dan ketidakcocokan dengan elektrolit berbasis PC (propilen karbonat).

Grafit alam memiliki struktur yang baik sehingga tidak memerlukan perlakuan panas pada suhu tinggi ( $2800^{\circ}\text{C}$ ) untuk menjadi grafit. Grafit alam tidak berbahaya dalam hal toksikologi, grafit alam merupakan produk alami murni dan tidak membahayakan lingkungan.

## 2. Grafit Sintesis

Grafit sintesis pada dasarnya memiliki sifat yang sama seperti grafit alam. Selain itu, grafit sintesis memiliki kemurnian yang tinggi, memiliki struktur yang cocok untuk proses interkalasi dan deinterkalasi. Namun, grafit sintesis memiliki sebuah kekurangan, yaitu struktur kristalnya berbentuk amorf sehingga untuk membuatnya memiliki struktur kristal menggunakan biaya yang tinggi karena memerlukan perlakuan pada suhu ( $> 2800^{\circ}\text{C}$ ) pada proses grafitisasinya. Saat ini dikenal sebagai jenis dari grafit sintesis, yaitu MCMB (*Mesocarbon Microbead*), MCF (*Mesophase puch based Carbon Fiber*) (Yoshio, 2009).

Sifat dan kegunaan grafit adalah sebagai berikut:

1. Memiliki titik leleh tinggi, sama seperti intan. Hal ini disebabkan ikatan kovalen yang terbentuk sangat kuat sehingga diperlukan energi yang tinggi untuk memutuskannya.
2. Memiliki sifat lunak, terasa licin dan digunakan pada pensil setelah dicampur tanah liat.
3. Tidak larut dalam air dan pelarut organik, karena tidak mampu melarutkan molekul grafit yang sangat besar.
4. Dibanding intan, grafit memiliki masa jenis yang lebih kecil, karena pada strukturnya terdapat ruang-ruang kosong antar lipatannya. Berupa konduktor listrik dan panas yang baik. Karena sifat ini grafit digunakan sebagai elektroda pada sel elektrolisis (Yen, 2004).

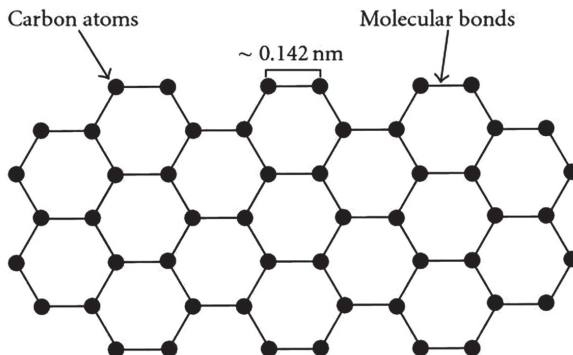
## Bab 4

# Grafena

Grafena merupakan material yang sangat berkembang saat ini. Grafena menjadi sangat menarik untuk dikaji oleh para peneliti dari berbagai bidang ilmu baik Fisika, Kimia, Biologi maupun Teknik Material. Pada dasarnya grafena adalah allotropi karbon yang menjadi struktur dasar untuk pembentukan material berbasis karbon seperti grafit, *Carbon Nanotube* (CNT), yaitu beberapa layer grafena yang digulung melingkar terhadap aksial dan *Fullerene* (Junaidi, 2014).

Material grafena pertama kali berhasil disintesis oleh Andre K. Geim dan Konstantin Novoselov pada tahun 2004 (Randviir, 2014). Grafena berupa lapisan monolayer grafit, yang terdiri dari hibridisasi  $sp^2$  atom karbon yang memiliki struktur hexagonal dan tersusun dalam kisi kristal sarang lebah (Geim, 2007). Bahan karbon dua dimensi ini memiliki luas permukaan spesifik  $2.600 \text{ m}^2/\text{g}$  (Phang, 2008) dengan struktur sarang lebah yang berpotensi menghasilkan kapasitas penyimpanan litium yang lebih tinggi, stabilitas kimia dan sifat mekanik yang baik menjadi target yang menarik untuk membentuk material komposit yang digunakan sebagai dasar elektroda (Fan, 2008).

Penemuan grafena menyebabkan era baru material 2D untuk ilmu pengetahuan dan teknologi telah dimulai.



Gambar 4.1 Struktur Grafena (Rohith, 2016)



Grafena tampak berupa material kristalin berdimensi dua pada suhu kamar memperlihatkan struktur jaringan karbon yang benar-benar teratur dalam dua dimensi, yaitu dimensi panjang dan dimensi lebar. Unit dasar struktur ini hanya terdiri atas enam atom karbon yang saling bergabung secara kimiawi. Jarak antar atom C-nya sama dengan 0,142 nm. Konfigurasinya menyerupai struktur sarang lebah dengan ketebalan ukuran orde atom. Dalam 1 mm grafit terdapat sekitar 3000 lapisan grafena (Widiatmoko, 2015).

Perkembangan yang luar biasa, sifat optik dan mekanik dari grafena membuat grafena memiliki potensi besar untuk digunakan dalam berbagai aplikasi (Pinto, 2014). Keunggulan sifat-sifat unik yang dimiliki oleh grafena menjadikannya sebagai salah satu material ideal yang bisa diaplikasikan ke berbagai bidang teknologi (Casero, 2012), misalnya *fuel cells* (Hsieh, 2012), kapasitor (Chang, 2012), *sensor*, *rechargeable battery* dan *supercapacitor* (Teng, 2012), elektroda transparan (Li, 2013) dan *electrocatalysis* (Wang, 2013).

Grafena adalah monolayer grafit, yang terdiri dari hibridisasi  $sp^2$  atom karbon yang memiliki struktur hexagonal dan tersusun dalam kisi kristal sarang lebah (Geim, 2007).

Modifikasi material karbon khususnya dengan menggunakan nitrogen (N-dopan karbon) telah diusulkan sebagai material elektroda yang bebas logam (Stankovich, 2007). Oleh karena itu, N-dopan karbon nano *tube* menunjukkan aktivitas elektronik yang tinggi (Yoo, 2009). Hu (2014) melaporkan, bahwa doping nitrogen dapat memperbaiki konduktivitas listrik dan kecepatan transfer elektron grafena, penambahan doping nitrogen dapat menghasilkan lebih banyak sisi aktif, karena kemungkinan grafena yang terdegradasi nitrogen memiliki permukaan yang lebih meningkat, peningkatan hidrofobisitas dan penyebaran elektrolit pada elektroda lebih baik. Yu (2016) mempersiapkan komposit  $Li_4Ti_5O_{12}$ /N-dopan grafena dengan metode hidrolisis, dilanjutkan dengan iradiasi gelombang mikro.

Namun, proses sintesis tersebut memiliki beberapa kelemahan, yaitu campuran membutuhkan waktu pencampuran yang panjang (24 jam) dan metode tersebut tidak sesuai untuk aplikasi komersial.

Saat ini komponen utama baterai primer pada katoda didominasi oleh grafit. Namun, konduktivitas yang dihasilkan oleh baterai primer masih rendah dan umur pakainya relatif pendek. Oleh karena itu, grafit harus disubstitusi dengan material lain. Grafena adalah material yang memiliki nilai konduktivitas  $1250 \mu\text{S cm}^{-1}$  dan luas permukaan  $2630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ . Namun, grafena tidak memiliki *band gap* sehingga berbagai riset pendahuluan belum menghasilkan katoda yang diharapkan. Oleh karena itu, untuk mengubah *band gap* grafena dibutuhkan donasi elektron yang berasal dari nitrogen ke dalam struktur grafena sehingga menghasilkan N-Grafena serta dengan memadukan antara Grafit/N-Grafena dan Grafena/N-Grafena diharapkan mampu memiliki konduktivitas yang tinggi sehingga dapat meningkatkan kinerja pada katoda sel baterai primer (Ratih, 2018).

Grafena menjadi sangat menarik untuk dikaji karena memiliki sifat kelistrikan, termal dan mekanik yang luar biasa (Teng, 2012). Grafena memiliki mobilitas elektron sekitar  $15.000 \text{ cm}^2/\text{vs}$  sehingga konduktivitas listriknya baik yaitu  $>5000 \text{ W/mK}$ , struktur flat dengan luas permukaan spesifik ( $2630 \text{ m}^2/\text{g}$ ) pada grafena menyebabkan elektron bisa bermobilitas ke semua permukaan (Junaidi, 2014). Grafena merupakan karbon  $\text{sp}^2$  dimana dalam ikatannya terdapat ikatan  $\pi$  yang nantinya dapat membentuk ikatan kovalen stabil dan kuat dengan logam selama pemakaiannya (Randvir, 2014). Fan (2008) melaporkan pembentukan material komposit grafena yang digunakan sebagai dasar elektroda karena memiliki stabilitas kimia dan sifat mekanik yang baik, sehingga baterai bisa bertahan sedikit lebih lama dibandingkan dengan baterai primer konvensional.

Adapun sifat dan karakteristik grafena yang lainnya akan dijelaskan di bawah ini:

1. Memiliki transparansi sangat tinggi. Hal ini disebabkan oleh dimensi grafena yang mirip selembar kertas dan ketebalannya yang berorde atom. Meskipun memiliki transparansi yang tinggi grafena tetap memiliki kerapatan yang cukup tinggi, yaitu  $0,77 \text{ mg/m}^2$ .
2. Memiliki daya tahan terhadap tekanan sebesar  $42 \text{ N/m}^2$ , dibandingkan dengan baja yang memiliki kekuatan tekanan  $(0,25 - 1,2) \times 10^9 \text{ N/m}^2$ . Jika dianggap

terdapat baja yang ketebalannya sama dengan grafena, maka kekuatan baja tersebut setara dengan  $(0,084 - 0,40) \text{ N/m}^2$ . Sehingga dapat dikatakan, bahwa grafena seratus kali lebih kuat dari baja.

3. Ikatan atom karbonnya sangat fleksibel yang memungkinkan jaringannya merenggang hingga 20% dari ukuran awal.
4. Bersifat konduktor listrik dan konduktor panas. Sifat konduktivitas listrik grafena berasal dari elektron ikatan- $\pi$  yang terdelokalisasi disepanjang ikatan C-C dan bertindak sebagai pembawa muatan.
5. Tingkat resistivitasnya menuju nol.
6. Kisi-kisi pada grafena memungkinkan elektronnya untuk dapat menempuh jarak yang jauh dalam grafena tanpa gangguan. Pada konduktor normal, elektron biasanya mengalami pantulan berkali-kali yang dapat melemahkan daya kerja konduktor. Namun, hal ini tidak terjadi pada grafena.
7. Elektron-elektron pada grafena berperilaku sebagai partikel cahaya, foton-foton tanpa massa yang dalam keadaan vakum dapat bergerak dengan kecepatan  $300.000.000 \text{ m/s}$ . Elektron dalam grafena karena tidak memiliki massa maka dapat bergerak dengan kecepatan konstan sebesar  $1.000.000 \text{ m/s}$ . Tidak bermassa di sini maksudnya, bahwa ketika elektron pada grafena bergerak maka seolah-olah elektron tersebut tidak bermassa karena memiliki resistivitas yang hampir nol sehingga elektron dapat bergerak dengan kecepatan konstan.
8. Dengan transparansi hampir 98% dan dapat menghantarkan arus listrik dengan sangat baik, grafena berpotensi untuk diaplikasikan pada pembuatan lapisan sentuh yang transparan, panel listrik dan sel surya.
9. Campuran 1% grafena dengan bahan plastik dapat membuat bahan plastik bersifat menghantarkan panas. Resistansi plastik akan meningkat sampai  $30^\circ \text{C}$  bersamaan dengan meningkatnya kekuatan mekanis. Hal ini memberi peluang untuk menghasilkan material baru yang sangat kuat, tipis, elastis dan tembus pandang.

10. Menjelaskan beberapa fenomena fisika kuantum yang menggambarkan bagaimana sebuah partikel kadang-kadang dapat melewati sebuah penghalang yang pada keadaan normal akan menghalangi partikel tersebut. Semakin tebal penghalang, maka semakin kecil kemungkinan dapat melewatinya. Namun, hal ini tidak berlaku pada elektron yang bergerak di dalam grafena, elektronnya dapat bergerak bebas layaknya tidak ada penghalang (Widiatmoko, 2015).

Saat ini baterai primer komersial yang sering digunakan oleh masyarakat adalah baterai Zn-klorida, Zn-karbon, Lithium dan baterai Alkalin (Buchman, 2014).

Kucinskis (2013) melaporkan, bahwa penggunaan grafena pada katoda dapat meningkatkan konduktivitas pada katoda baterai primer. Hal itu terjadi dikarenakan, grafena memiliki daya penyimpanan energi yang sangat tinggi dan luas permukaan yang besar ( $2.630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ). Grafena secara efektif dapat memperbaiki pengangkutan elektron dan ion dari bahan elektroda, sehingga penambahan grafena dapat meningkatkan sifat elektrik baterai primer dan memberikan stabilitas kimia yang lebih baik, konduktivitas listrik yang lebih tinggi dan kapasitas energi yang lebih tinggi (Zhu, 2014). Grafena yang sifat fisiknya dapat diatur dari logam sampai ke semikonduktor mempunyai hari depan yang baik untuk industri elektronika, pesawat terbang, dan industri otomotif, sebab mudah diproses untuk menghasilkan produk yang berkualitas dibanding tabung karbon dengan ukuran nano, sehingga dengan sifat grafena yang seperti itu maka dapat memanfaatkan grafena sebagai bahan penyusun elektroda pada baterai primer sehingga baterai bisa bertahan sedikit lebih lama dibandingkan dengan baterai yang mendominasi pasaran (Zhu, 2014).

Saat ini elektroda besi (Fe) telah digunakan sebagai anoda dalam baterai. Besi sebagai elektroda telah dikembangkan dan memberikan kinerja yang lebih baik dan memiliki biaya produksi yang lebih rendah (Linden, 2002).

Saat ini grafena juga telah diaplikasikan untuk sel bahan bakar hidrogen (Sibirian, 2014). Sel bahan bakar (*fuel cell*) merupakan suatu piranti elektrokimia yang dapat

mengubah secara langsung energi kimia menjadi energi listrik (Li, 2013). Konsep penting dalam meningkatkan kinerja baterai adalah:

- i) menggunakan grafitik karbon, yaitu grafena; dan
- ii) menggunakan logam golongan transisi (Fe) dan non transisi (Mg), dimana interaksi antara grafena terhadap logam tersebut belum banyak dipelajari.

Logam tersebut dipilih dikarenakan ketersediaannya di alam yang besar serta memiliki berbagai keunikan tersendiri, yaitu berdasarkan deret volta, Fe sukar untuk melepas elektron, sedangkan Mg mudah untuk melepas elektron. Sehingga dengan sifat kereaktifan tersebut, Fe dan Mg sangat baik digunakan sebagai elektroda pada sel bahan bakar (Petek, 2015). Secara sederhana grafena dapat diartikan sebagai lapisan tunggal dari jutaan lembar pembentuk grafit, berhibridisasi  $sp^2$ , dan alotrop hexagonal (Wolf, 2013). Karakteristiknya antara lain: mobilitas muatan pada suhu ruang  $\sim 2 \times 10^5 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  (Morozov, 2008). Sifat mekanisnya yang baik, yakni memiliki Modulus Young 1,0 TPA dan kekuatan intrinsik 130 GPa. Grafena telah diaplikasikan ke dalam sel bahan bakar sebagai matriks penyangga pengganti karbon hitam (Zhang, 2011).

#### 4.1 Sintesis Grafena Berlapis Nano (GBN)

Sintesis grafena dapat dilakukan melalui dua tahapan, yaitu sintesis oksida grafena dan sintesis grafena.

##### a. Sintesis Oksida Grafena

Serbuk grafit komersil sebanyak 0,2 g dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL, kemudian ditambahkan 0,2 g  $\text{NaNO}_3$  dan 15 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  96%. Larutan tersebut distirer selama 2 jam dalam *ice bath*. Kemudian ditambahkan 1 g  $\text{KMnO}_4$  secara perlahan-lahan dan distirer selama 24 jam. Setelah distirer selama 24 jam, ke dalam larutan tersebut ditambahkan 20 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  5 % dan 1 mL  $\text{H}_2\text{O}_2$  30 % dan diaduk selama 1 jam. Larutan tersebut dipusingkan dengan alat sentrifus pada kecepatan 6500 *rotor per minute* (rpm) selama 20 menit hingga terpisah antara supernatan dan endapan. Endapan yang didapatkan dicuci dengan larutan aquades 25 mL dan dipusingkan

menggunakan alat sentrifus dengan kecepatan 6500 *rotor per minute* (rpm) selama 20 menit. Larutan dipindahkan ke dalam beaker glass dan ditambahkan aquades 100 mL kemudian diultrasonikasi selama 5 jam, kemudian dibiarkan dingin dan dihasilkan oksida grafena.

b. Sintesis Grafena

Pada tahap sintesis grafena, 100 mL larutan oksida grafena yang telah dihasilkan ditambahkan 5 mL amonia ( $\text{NH}_3$ ) 10 M, distirer selama 72 jam. Selanjutnya disaring dan dikeringkan pada suhu  $80^\circ \text{C}$ . Kemudian dikarakterisasi dengan XRD, SEM, dan diukur Daya Hantar Listriknya (DHL).

c. Perubahan yang terjadi pada Sintesis Grafena Berlapis Nano (GBN)

Pada tahapan sintesis oksida grafena, grafit dioksidasi sehingga menjadi oksida grafit. Metode yang digunakan untuk mensintesis oksida grafit dalam penelitian ini adalah modifikasi Metode Hummers. Proses sintesis dimulai dengan melarutkan grafit komersil,  $\text{NaNO}_3$  dan  $\text{KMnO}_4$  di dalam  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98% pada kondisi *stirring* di dalam *ice bath* untuk menjaga temperatur di bawah  $25^\circ \text{C}$  selama 1 jam. Pada proses penambahan ini maka larutan akan berubah warna, yang sebelumnya berwarna hitam pekat menjadi hitam kehijauan yang menunjukkan indikasi, bahwa reaksi oksidasi grafit telah dimulai (Rahman, 2015). Prosesnya selanjutnya adalah proses homogenisasi dengan *stirring* selama 24 jam menghasilkan larutan coklat tua yang menandakan grafit telah teroksidasi secara sempurna. Pada penambahan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  5% dan 20 mL  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% bertujuan untuk menghilangkan sisa  $\text{KMnO}_4$  (Yudha, 2016). Proses oksidasi pada grafit dapat memperbesar jarak antar lembaran grafena pada grafit dan membuat lapisan atom hidrofilik dengan masuknya oksigen ke dalam struktur grafit baik dalam bentuk gugus hidroksil, gugus epoksi maupun gugus karbonil sehingga ikatan antar lembar grafena pada grafit menjadi lemah dan memudahkan proses pengelupasan grafit menjadi oksida grafena (Pei, 2011).

Setelah itu larutan oksida grafit disentrifugasi dengan menggunakan larutan piranha dan pencucian dengan  $\text{H}_2\text{O}$  untuk menghilangkan zat pengoksidasi, mengendapkan partikel oksida grafit, menstabilkan tingkat keasaman dari ion-ion

sulfat,  $\text{KMnO}_4$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  serta senyawa-senyawa yang terdapat di dalam larutan oksida grafit (Titelman, 2005). Hasil pencucian dengan larutan piranha dan aquades pada campuran oksida grafit akan menghasilkan oksida grafena dengan memiliki sifat kelarutan yang stabil di dalam air dan menyebabkan perubahan warna menjadi hitam kecoklatan (Baurinos, 2012).

Proses sintesis grafena dimulai dengan pembuatan prekursor oksida grafena. Oksida grafena diperoleh dengan menggunakan proses pendispersian oksida grafit pada air dengan menggunakan proses ultrasonikasi. Proses ultrasonikasi bertujuan untuk proses pengelupasan oksida grafit menjadi lembaran-lembaran oksida grafena dengan memutuskan ikatan Van der Waals pada interlayer. Pancaran gelombang ultrasonik sebelum proses reduksi mengakibatkan terjadinya perbedaan tinggi puncak difraksi. Puncak difraksi meningkat dengan lamanya proses ultrasonikasi. Hal ini disebabkan oleh semakin banyak jumlah oksida grafena yang terbentuk, sehingga derajat reduksi meningkat (Junaidi, 2014). Larutan oksida grafena yang didapatkan, disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu  $80^\circ\text{C}$ .

d. Pengukuran Daya Hantar Listrik (DHL) Elektroda Anoda Baterai Primer ABC

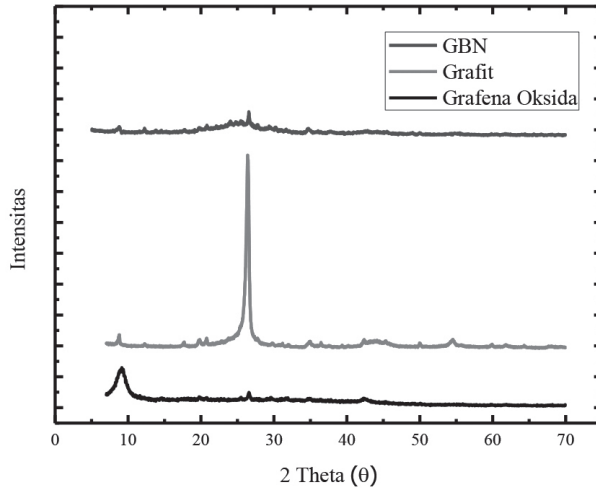
Elektroda baterai primer komersial dianalisis dengan cara membongkar bagian dalam komponen pada baterai. Diambil Anoda baterai primer komersial kemudian dihaluskan, dimasukkan dalam *fuse* kaca kemudian diukur Daya Hantar Listrik (DHL) dengan Multimeter.

e. Pengukuran Daya Hantar Listrik (DHL) Elektroda Katoda Baterai Primer Komersial

Elektroda baterai primer komersial dianalisis dengan cara membongkar bagian dalam komponen pada baterai. Diambil Anoda baterai primer komersial kemudian dihaluskan, dimasukkan dalam *fuse* kaca kemudian diukur Daya Hantar Listrik (DHL) dengan Multimeter.

## 4.2 Difraksi Sinar-X (XRD)

Gambar 4.2 merupakan Difraktogram Sinar X dari Grafit, Grafena Oksida dan Grafena Berlapis Nano.



Gambar 4.2 Difraktogram Sinar X dari Grafit, Grafena Oksida dan Grafena Berlapis Nano

Pada difraktogram grafit, adanya puncak pada  $2\theta = 9,07^\circ$  dengan *d-spacing* 9,74 Å menyatakan, bahwa grafit telah teroksidasi, menghasilkan oksida grafena sesuai yang telah dilaporkan sebelumnya, oksida grafena memiliki puncak pada  $2\theta = 9,5^\circ$  (Liu, 2013). Adanya perubahan pola sudut XRD yang bergeser ke arah kiri lebih rendah menunjukkan terjadinya perubahan material, sifat kristalinitas oksida grafena menjadi berkurang serta teroksidasinya struktur grafit. Pelebaran jarak antar lapisan dari grafit sebesar 3,37 Å menjadi oksida grafena sebesar 9,74 Å (Gambar 4.2) terjadi karena terbentuknya gugus fenol, gugus epoksi, gugus keton, gugus karboksil dan gugus karbonil. Penambahan molekul H<sub>2</sub>O dan gugus oksigen juga menyebabkan oksida grafena memiliki *d-spacing* yang lebih lebar (Yudha, 2016).

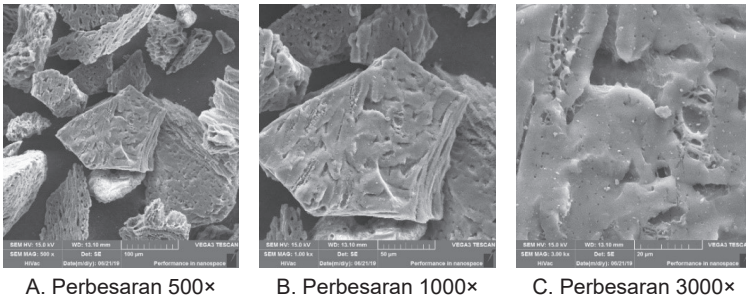
Hasil proses reduksi oksida grafena (rOG) menjadi grafena menunjukkan puncak yang muncul pada  $2\theta = 26,52^\circ$  dengan *d-spacing* 3,35 Å (Gambar 4.2). Perubahan jarak *d-spacing* ini menunjukkan, bahwa proses reduksi oksida grafena telah berjalan dengan baik. Pergeseran sudut  $2\theta$  ke arah kanan terjadi pada saat deformasi oksida grafena



menjadi grafena yang disebabkan oleh hilangnya gugus fenol, gugus epoksi, gugus keton, gugus karboksil dan gugus karbonil pada oksida grafena karena proses reduksi dengan reduktor amonia ( $\text{NH}_3$ ) dan penataan kembali struktur dari grafena (Junaidi, 2014). Nilai *d-spacing* yang menjadi lebih kecil dan puncak C (002) hampir tidak dapat dilihat dalam pola XRD menunjukkan, bahwa oksida grafena telah tereduksi menjadi grafena. Selain itu, mengindikasikan telah terjadi pengelupasan lapisan grafit menjadi *single layer* grafena (Nurdiansyah, 2014).

### 4.3 Mikroskop Elektron Payaran (SEM)

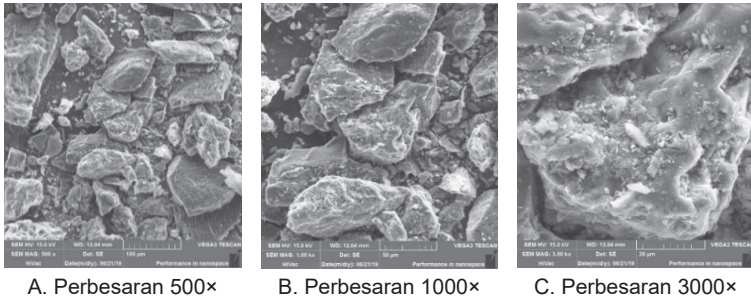
#### 1. Analisis Grafit



Gambar 4.3 Perbedaan perbesaran Grafit A.500× B.1000× C.3000×

Pada Gambar 4.3 grafit dengan perbesaran 500× dan 1000× menunjukkan, bahwa grafit memiliki permukaan tebal dan sangat rapat. Serta pada perbesaran 3000× terlihat grafit berbentuk tumpukan yang menandakan, bahwa grafit memiliki struktur berlapis.

## 2. Analisis Grafena Berlapis Nano (GBN)



Gambar 4.4 Perbedaan perbesaran Grafena A. 500× B. 1000× C. 3000×

Pada Gambar 4.4 grafena dengan perbesaran 500× menunjukkan susunan permukaan grafena yang tidak teratur. Pada perbesaran 1000× ukuran partikel yang lebih kecil dan permukaan yang lebih berkerut dibandingkan pada permukaan grafit, lembaran grafena ini tersusun secara tidak teratur dengan lapisan yang tipis. Berdasarkan pada hasil analisis SEM, grafena yang dihasilkan belum berlapis tunggal, hal ini dapat dilihat pada perbesaran 3000× yang menunjukkan, bahwa masih adanya penumpukkan yang lebih halus dan permukaan yang tidak seragam.

## 3 Daya Hantar Listrik (DHL)

### a. DHL GBN

Berikut Tabel 4.1 Daya Hantar Listrik pada Grafena Berlapis Nano.

Tabel 4.1 Daya Hantar Listrik pada Grafena Berlapis Nano

Tegangan (Volt)	Arus ( $\mu\text{A}$ )	R	DHL( $\sigma$ ) = (1/R) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
5	109	0,072	21,8
10	237	0,094	23,7
15	381	0,070	25,4
20	534	0,053	26,7
25	657	0,052	26,3
30	748	0,007	24,9

Daya Hantar Listrik (DHL) dari Grafit mengalami kenaikan dari 21,8-26,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pada tegangan 5-25 volt dan arus 109-657  $\mu\text{A}$ . Namun, DHL menurun pada tegangan 30 volt dan arus 748  $\mu\text{A}$ . Elektron biasanya mengalami gangguan selama perjalanan akibat cacat atau susunan atom-atom yang terbentuk kurang teratur sehingga menurunkan nilai konduktivitas listriknya (Novoselov, 2004).

**b. DHL Grafit**

Berikut Tabel 4.2 Daya Hantar Listrik pada Grafit.

Tabel 4.2 Daya Hantar Listrik pada Grafit

Tegangan (V)	Arus ( $\mu\text{A}$ )	R	DHL( $\sigma$ ) = (1/R) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
5	109	0,045	21,8
10	237	0,042	23,7
15	381	0,034	25,4
20	534	0,037	26,7
25	657	0,038	26,3
30	748	0,040	24,9

Data DHL di atas menunjukkan, bahwa DHL grafit pada tegangan 5-25 V mengalami kenaikan secara signifikan, namun pada tegangan 30 V DHL grafit menurun. Hal ini disebabkan mobilitas elektron grafit kesulitan untuk menghantarkan arus listrik.

**c. DHL Anoda Baterai Primer Komersial**

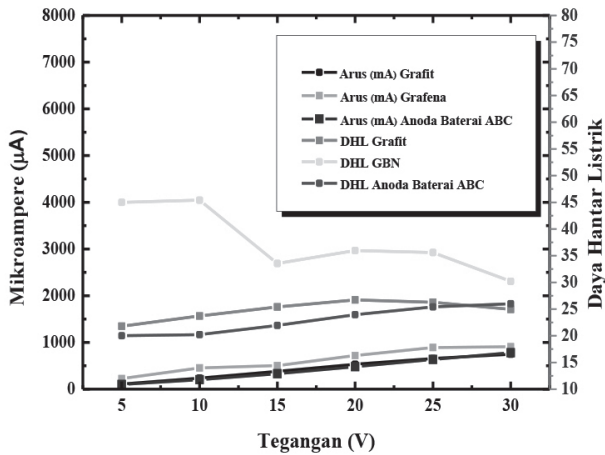
Berikut Tabel 4.3 Daya Hantar Listrik Anoda Baterai Primer Komersial.

Tabel 4.3 Daya Hantar Listrik Anoda Baterai Primer Komersial

Tegangan (V)	Arus ( $\mu\text{A}$ )	R	DHL( $\sigma$ ) = (1/R) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
5	100	0,05	20
10	202	0,0495	20,2
15	329	0,0455	21,9
20	479	0,0417	23,9
25	635	0,0393	25,4
30	780	0,0384	26,0

Data DHL di atas menunjukkan, bahwa DHL Baterai Primer Komersial pada tegangan 5-30 V mengalami kenaikan secara signifikan. Hal ini disebabkan adanya paduan logam sehingga mobilitas elektron pada Anoda Baterai Primer Komersial mampu menghantarkan arus listrik.

Berikut Grafik Arus dan Daya Hantar Listrik Anoda Baterai Primer terhadap variasi tegangan dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Variasi Arus dan Daya Hantar Listrik Grafit, Grafena dan Anoda Baterai Komersial

Grafik Variasi Arus dan DHL di atas menunjukkan, bahwa konduktivitas pada Grafena Berlapis Nano memiliki Daya Hantar Listrik dan kuat arus yang lebih tinggi dari pada grafit dan Baterai Komersial, hal ini disebabkan karena grafena memiliki Luas Permukaan Sentuhan besar dan Konduktivitas termal yang lebih tinggi dibandingkan Grafit dan Kabon (Choi, 2011).



## Bab 5

### Fe/Grafena

Besi merupakan logam padat berwarna perak-putih pada golongan transisi pada tabel periodik unsur golongan VIII dengan simbol kimia Fe. Besi adalah unsur yang paling banyak ke empat (5,1%) di kerak bumi. Besi memiliki sifat fisika yang mudah dipengaruhi oleh perubahan suhu, besi lebih bersifat magnetik dibandingkan unsur lainnya. Bentuk senyawa utama besi adalah ferrous ( $\text{Fe}^{2+}$ ) dan ferric ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Ferri Klorida ( $\text{FeCl}_3$ ) memiliki sifat fisik berat molekul 162,21, berat jenis 2,898 pada suhu  $25^\circ\text{C}$ , titik lebur  $306^\circ\text{C}$ , titik didih terurai pada suhu  $315^\circ\text{C}$ , kelarutannya 5,35 kg/L pada suhu  $100^\circ\text{C}$ , dan sangat larut dalam EtOH, MeOH dan eter (Sons, 2012). Logam Fe pada baterai memiliki sifat daya tahan listrik dan fleksibilitas serta memiliki tegangan sel standar 1,21 V. Kelebihan penggunaan Logam besi pada elektroda baterai primer adalah biaya rendah, berlimpah, dan ramah lingkungan (Petek, 2015).



Besi (Fe) berdampak elektronik terhadap permukaan grafena akibat adanya interaksi Gaya Vander Waals grafena yang stabil terhadap muatan adsorpsi Fe yang lebih besar. Bentuk 2D pada grafena juga memiliki sifat fisikokimia yang unik sebagai transportasi elektron, dimana setiap karbon di permukaan grafena dapat memungkinkan berinteraksi dengan molekul logam (Nigar, 2019).

#### Pembuatan Besi (Fe)/Grafena Berlapis Nano (GBN)

Sebanyak 3 gram grafena dimasukkan ke dalam beaker glass yang telah berisi larutan standar besi 1,0 ppm. Dimasukkan *magnetic bar* ke dalam beaker glass dan distirer selama 1 jam. Kemudian disaring menggunakan kertas saring whatmann no. 42. Sehingga diperoleh filtrat dan endapan. Filtratnya tidak diberi perlakuan apapun. Sedangkan endapan yang diperoleh ditimbang dan dikarakterisasi menggunakan XRD,

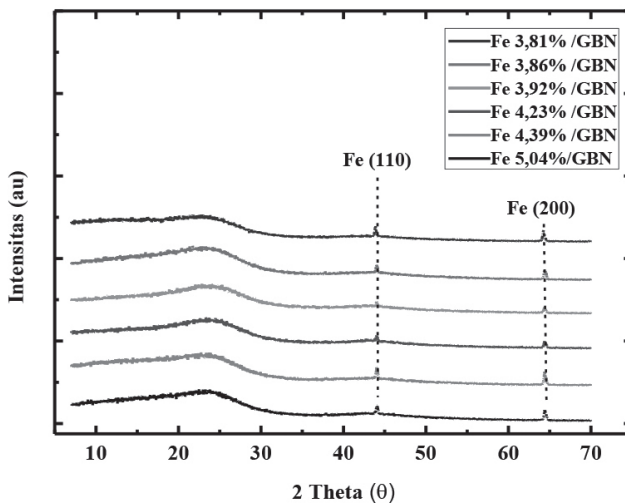
SEM dan Multimeter. Dilakukan hal yang sama untuk larutan standar besi 2,0 ; 3,0 ; 4,0 ; 5,0 dan 10 ppm.

Dimasukkan magnetic bar ke dalam beaker glass dan distirrer selama 1 jam. Kemudian disaring menggunakan kertas saring whatmann no. 42. Sehingga diperoleh filtrat dan endapan. Filtratnya tidak diperlakukan apapun. Sedangkan endapan yang diperoleh ditimbang dan dikarakterisasi menggunakan XRD, SEM dan Multimeter. Dilakukan hal yang sama untuk larutan standar magnesium 2,0; 3,0 ; 4,0 ; 5,0 dan 10 ppm.

### 5.1 Karakterisasi Fe/Grafena dengan menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, SEM (*Scanning Electron Microscope*), Daya Hantar Listrik (DHL).

#### A. XRD

Difraktogram Fe/GBN yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 5.1



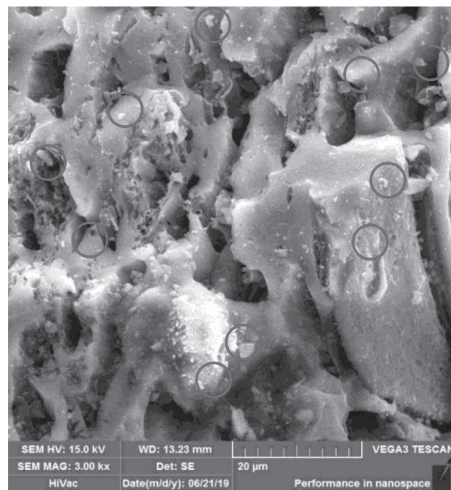
Gambar 5.1 Difraktogram Fe/GBN

Gambar 5.1 menunjukkan adanya puncak pada  $2\theta = 44,03^\circ$ , mengindikasikan, bahwa puncak tersebut merupakan Fe dengan index miller 110 (Rohith, 2016), dan adanya peningkatan intensitas Fe (200) pada puncak  $2\theta = 64^\circ$ . Data ini sesuai dengan Fe (200)  $2\theta = 50,81^\circ$ , dimana lapisan stabilitas grafena pada logam Fe memiliki dua

bentuk struktur, yaitu struktur kubik tubuh berpusat (*body centered cubic*) dan struktur kubus berpusat pada muka (*face centered cubic*) yang dinotasikan, bahwa Fe bervalensi nol terdeposit di dalam GBN.

B. SEM

a. Analisis Fe 3,81%/GBN



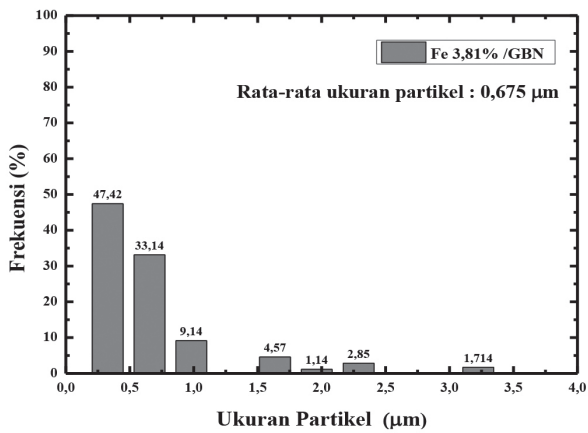
Gambar 5.2 Scanning Electron Microscopy (SEM) dari Fe 3,81%/GBN

Pada Gambar 5.2 analisis SEM pada perbesaran 3000x, skala 20 μm menunjukkan, bahwa terdapat lembaran – lembaran tipis yang di atasnya tampak partikel-partikel yang menutupi lapisan tipis tersebut. Selanjutnya dilakukan analisis perhitungan partikel Fe pada Fe 3,81%/GBN.



Tabel 5.1 Analisis Ukuran Partikel Fe 3,81%/GBN

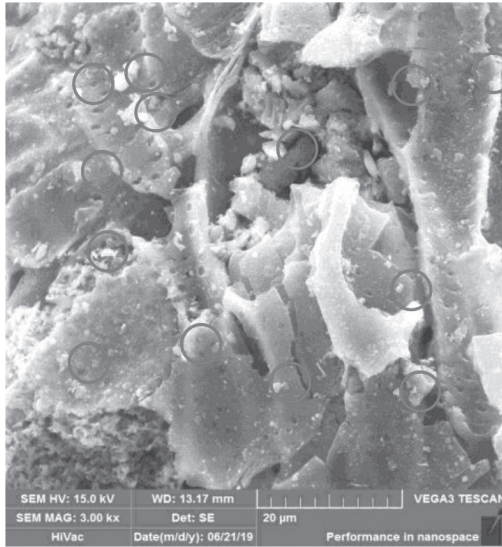
Ukuran Partikel ( $\mu\text{m}$ )	Frekuensi	Ukuran partikel $\times$ Frekuensi	Frekuensi (%)
0,327	83	27,141	47,42
0,654	58	37,93	33,14
0,981	16	15,69	9,14
1,635	8	13,08	4,57
1,962	2	3,924	1,14
2,289	5	11,445	2,85
3,225	3	9,675	1,714
Total	175	0,679	100 %



Gambar 5.3 Histogram Ukuran Partikel Fe 3,81 %/GBN

Analisis histogram menunjukkan ukuran rata-rata partikel Fe pada Fe 3,81%/GBN adalah 0,679  $\mu\text{m}$ .

b. Analisis Fe 3,86%/GBN

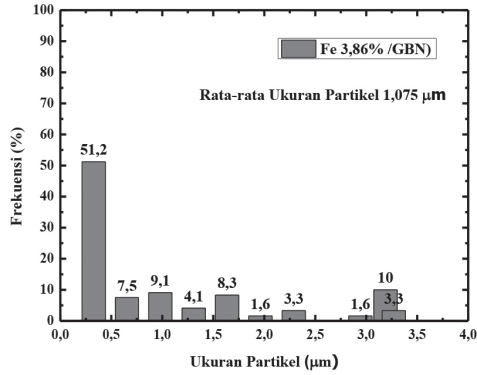


Gambar 5.4 Scanning Electron Microscope (SEM) dari Fe 3,86%/GBN

Analisis SEM pada perbesaran 3000 $\times$ , skala 20  $\mu\text{m}$  menunjukkan bahwa terdapat lembaran – lembaran tipis yang di atasnya tampak partikel-partikel yang menutupi lapisan tipis tersebut (Gambar 5.4). Selanjutnya dilakukan analisis perhitungan partikel Fe pada Fe 3,86%/GBN.

Tabel 5.2 Ukuran Partikel Fe 3,86%/GBN

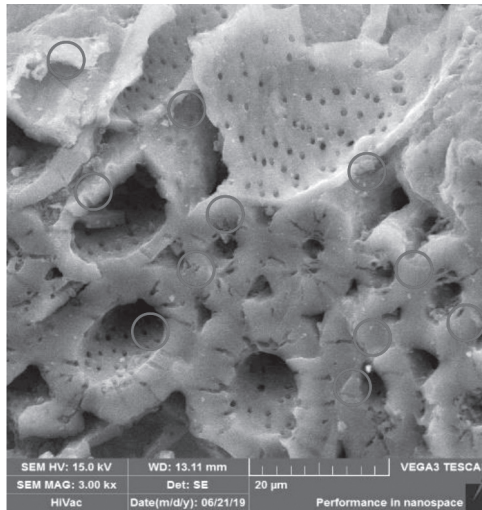
Ukuran Partikel ( $\mu\text{m}$ )	Frekuensi	Ukuran partikel $\times$ Frekuensi	Frekuensi (%)
0,327	62	20,274	51,2
0,654	9	5,88	7,5
0,981	11	10,791	9,1
1,308	5	6,54	4,1
1,635	10	16,35	8,3
1,962	2	3,924	1,6
2,289	4	9,156	3,3
2,943	2	5,886	1,6
3,189	12	38,268	10
3,27	4	13,08	3,3
Total	121	130,149	100%



Gambar 5.5 Histogram Ukuran Partikel Fe 3,86%/GBN

Analisis histogram menunjukkan ukuran rata-rata partikel Fe pada Fe 3,86 %/GBN adalah 1,075  $\mu\text{m}$ .

c. Analisis Fe 3,92%/GBN

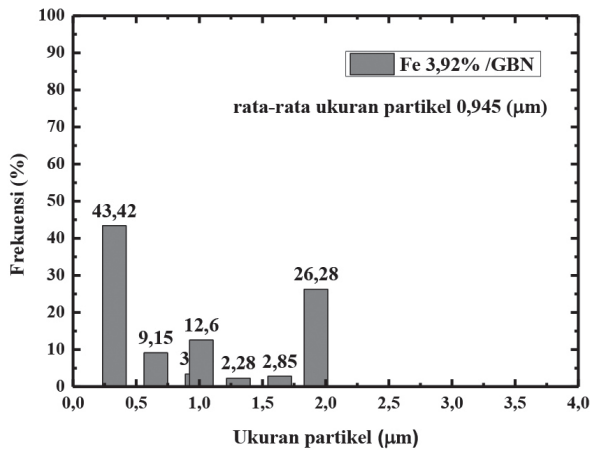


Gambar 5.6 Scanning Electron Microscope (SEM) dari Fe 3,92%/GBN

Analisis SEM pada perbesaran 3000 $\times$ , skala 20  $\mu\text{m}$  menunjukkan, bahwa terdapat lembaran – lembaran tipis yang diatasnya tampak partikel-partikel yang menutupi lapisan tipis GBN (Gambar 5.6). Selanjutnya dilakukan analisis perhitungan partikel Fe pada Fe 3,92%/GBN.

Tabel 5.3 Ukuran Partikel Fe 3,92%/GBN

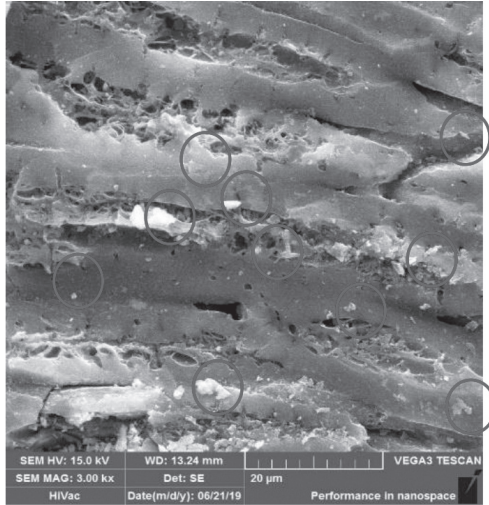
Ukuran Partikel ( $\mu\text{m}$ )	Frekuensi	Ukuran partikel $\times$ Frekuensi	Frekuensi (%)
0,327	76	24,852	43,42
0,655	16	10,48	9,15
0,982	6	5,892	3,42
1,016	22	22,352	12,6
1,309	4	5,236	2,28
1,636	5	8,18	2,85
1,923	46	88,458	26,28
Total	175	165,45	100%



Gambar 5.7 Histogram Ukuran Partikel Fe 3,92%/GBN

Analisis histogram menunjukkan ukuran rata-rata partikel Fe pada Fe 3,92%/GBN adalah 0,945  $\mu\text{m}$ .

d. Analisis Fe 4,23%/GBN

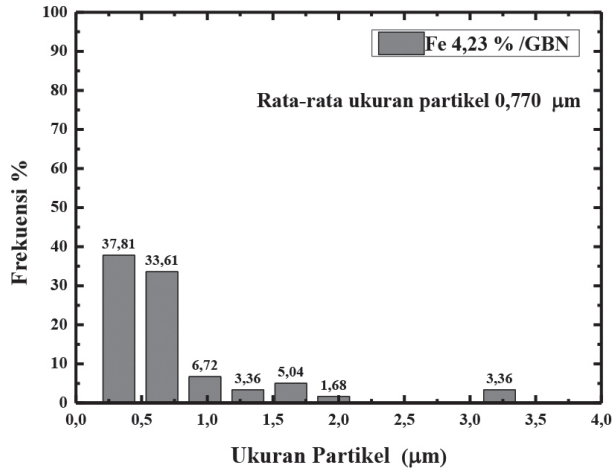


Gambar 5.8 SEM dari Fe 4,23%/GBN

Analisis SEM pada perbesaran 3000 $\times$ , skala 20  $\mu\text{m}$  menunjukkan bahwa terdapat lembaran – lembaran tipis yang di atasnya tampak partikel-partikel yang menutupi lapisan tipis GBN (Gambar 5.8). Selanjutnya dilakukan analisis perhitungan partikel Fe pada Fe 4,23%/GBN.

Tabel 5.4 Ukuran Partikel Fe 4,23% /GBN

Ukuran partikel ( $\mu\text{m}$ )	Frekuensi	Ukuran partikel $\times$ frekuensi	Frekuensi (%)
0,327	45	37,81	37,82
0,655	40	33,61	33,62
0,982	8	6,72	6,73
1,309	4	3,36	3,37
1,636	6	5,04	5,05
1,962	2	1,68	1,68
3,225	4	3,36	3,36
Total	119	91,58	100%

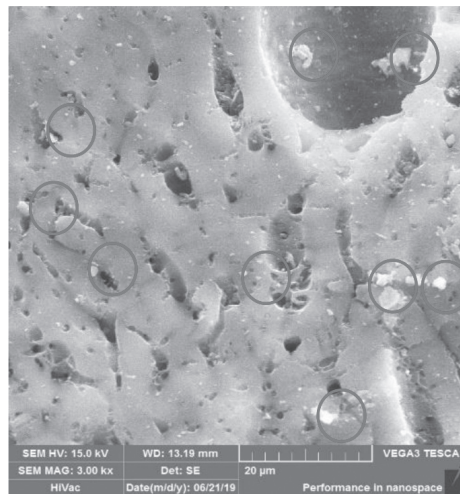


Gambar 5.9 Histogram Ukuran Partikel Fe 4,23%/GBN

Analisis histogram menunjukkan ukuran rata-rata partikel Fe pada Fe 4,23%/GBN adalah 0,770 µm.

#### 4.3.2 Analisis Fe 4,39%/GBN

Analisis ukuran partikel Fe 4,39%/GBN dianalisis dengan menggunakan SEM. Data SEM dapat dilihat pada Gambar 5.10.

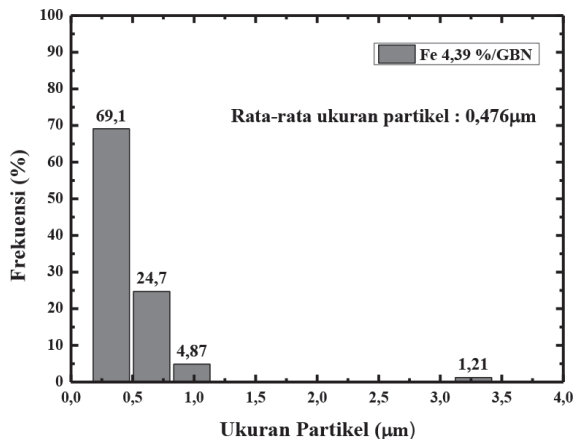


Gambar 5.10 Scanning Electron Microscope (SEM) dari Fe 4,39%/GBN

Analisis SEM pada perbesaran 3000x, skala 20  $\mu\text{m}$  menunjukkan bahwa terdapat lembaran – lembaran tipis yang di atasnya tampak partikel-partikel yang menutupi lapisan tipis tersebut (Gambar 5.10). Selanjutnya dilakukan analisis perhitungan partikel Fe pada Fe 4,39%/GBN.

Tabel 5.5 Ukuran Partikel Fe 4,39%/GBN

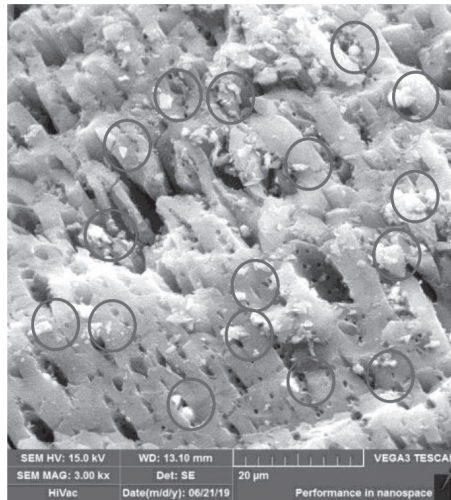
Ukuran partikel ( $\mu\text{m}$ )	frekuensi	Ukuran partikel $\times$ frekuensi	Frekuensi (%)
0,327	170	55,59	69,1
0,655	61	39,95	24,7
0,982	12	11,78	4,87
3,27	3	9,81	1,21
Total	246	117,13	99,88



Gambar 5.11 Histogram Ukuran Partikel Fe 4.39%/GBN

Analisis histogram menunjukkan ukuran rata-rata partikel Fe pada Fe 4,39%/GBN adalah 0,476  $\mu\text{m}$ .

#### 4.3.2 Analisis Fe 5,04%/GBN



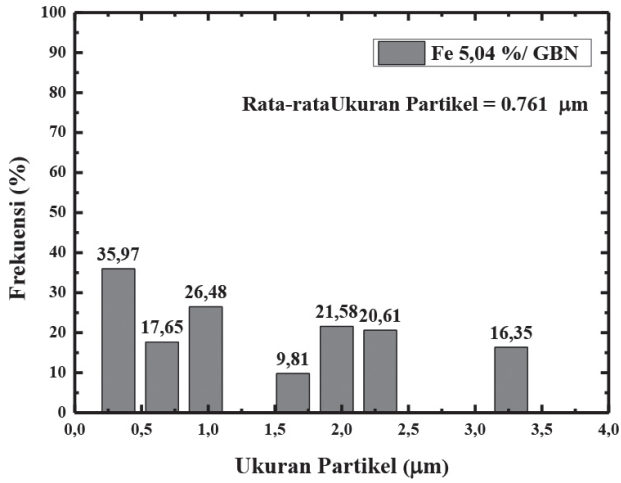
Gambar 5.12 *Scanning Electron Microscope* (SEM) dari Fe 5,04%/GBN

Analisis SEM pada perbesaran 3000 $\times$ , skala 20  $\mu\text{m}$  menunjukkan, bahwa terdapat lembaran – lembaran tipis yang di atasnya tampak partikel-partikel yang menutupi lapisan tipis tersebut (Gambar 5.12). Selanjutnya dilakukan analisis perhitungan partikel Fe pada Fe 5,04%/GBN.

Tabel 5.6 Ukuran Partikel Fe 5,04%/GBN

Ukuran partikel ( $\mu\text{m}$ )	frekuensi	Ukuran partikel $\times$ frekuensi	frekuensi (%)
0,327	110	35,97	56,41
0,654	27	17,65	13,84
0,981	27	26,48	13,84
1,635	6	9,81	3,07
1,962	11	21,58	5,64
2,289	9	20,61	4,61
3,27	5	16,35	2,56
Total	195	148,45	100%





Gambar 5.13 Histogram Ukuran Partikel Fe 5,04%/GBN

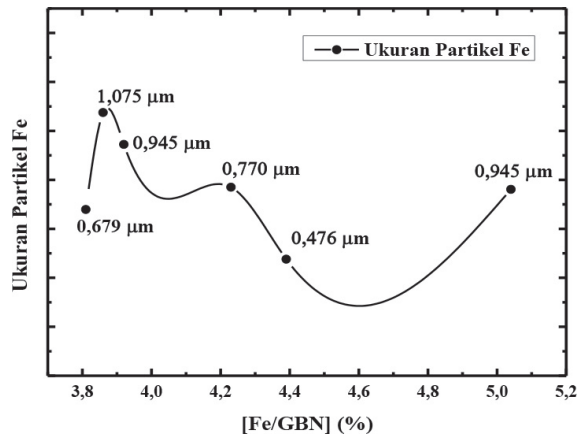
Analisis histogram menunjukkan ukuran rata-rata partikel Fe pada Fe 5,04%/GBN adalah 0,761 µm.

Dari analisis variasi histogram di atas, maka diperoleh data rata-rata ukuran partikel Fe dengan variasi konsentrasi didalam GBN.

Tabel 5.7 Ukuran Partikel Fe dengan variasi konsentrasi di dalam GBN.

No	[Fe]	Ukuran Partikel Fe (µm)
1	3,81 %	0,679
2	3,86 %	1,075
3	3,92 %	0,945
4	4,23 %	0,770
5	4,39 %	0,476
6	5,04 %	0,945

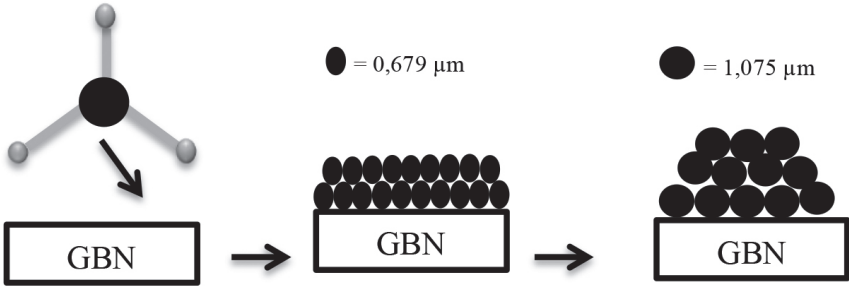
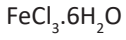
Berikut Grafik ukuran partikel Fe dengan variasi konsentrasi pada GBN



Gambar 5.14 Ukuran Partikel Fe dengan Variasi Konsentrasi Fe di dalam GBN

Gambar 5.14 menunjukkan, bahwa pada konsentrasi Fe 3,81% memiliki ukuran partikel 0,679  $\mu\text{m}$ , Fe 3,86% memiliki ukuran partikel tertinggi 1,075  $\mu\text{m}$ , Fe 3,92% memiliki ukuran partikel 0,945  $\mu\text{m}$ , Fe 4,23% memiliki ukuran partikel 0,770  $\mu\text{m}$ , Fe 4,39% memiliki ukuran partikel terkecil, yaitu 0,476  $\mu\text{m}$  dan pada Fe 5,04% 0,945  $\mu\text{m}$  yang mengalami perubahan ukuran partikel lebih besar dari Fe 4,39%, artinya GBN dapat mengendalikan rasio partikel logam pada GBN. Hal ini sesuai dengan penelitian Kakaie (2019), bahwa lembaran grafena sebagai material pendukung yang memiliki luas permukaan yang besar sebagai katalis mampu mengendalikan pembentukan nanopartikel dan dapat meningkatkan kinerja elektronik dengan kluster logam besi, kerapatan elektron pada atom Fe mampu mentransfer elektron pada lembaran grafena sebagai donor dan aseptor elektron pada GBN (Kakei, 2019).

Untuk menjelaskan perbedaan ukuran partikel variasi konsentrasi Fe didalam GBN, maka digambarkan model pembentukan partikel dan banyaknya atom Fe yang terdeposit pada GBN:



$\text{FeCl}_3$  terdeposit dengan GBN

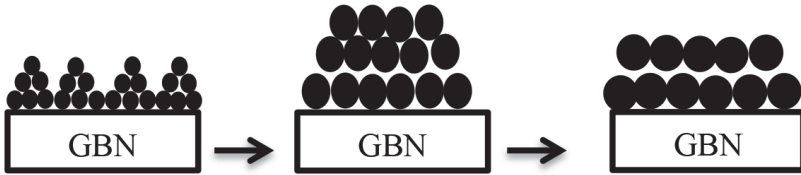
Fe 3.81 % memiliki 2694 atom besi

Fe 3.86 % memiliki 4266 atom besi

● = 0,476 μm

● = 0,770 μm

● = 0,945 μm



Fe 3.92% memiliki 1888 atom besi

Fe 4.23% memiliki 3055 atom besi

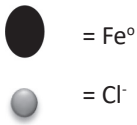
Fe 4.39% memiliki 3750 atom besi



● = 0,761 μm

Fe 5.04 % memiliki 3020 atom besi

Gambar 5.15 Konsep metode pembentukan partikel Fe /GBN



$d_{Fe-Fe} = 0,252 \text{ nm}$

Gambar 5.15 menunjukkan, bahwa ukuran partikel rata-rata pada setiap konsentrasi Fe/Grafena berbeda-beda, pada Fe 3,81% ukuran partikel 0,679  $\mu\text{m}$ , memiliki 2674 atom besi, Fe 3,86% ukuran partikel terbesar 1,075  $\mu\text{m}$  memiliki 4266 atom besi terbesar, Fe 3,92% ukuran partikel 0,945  $\mu\text{m}$  memiliki 3750 atom besi, Fe 4,23% ukuran partikel 0,770  $\mu\text{m}$  memiliki 3055 atom besi, Fe 4,39% ukuran partikel 0,406  $\mu\text{m}$  memiliki 1888 atom besi, dan Fe 5,04% ukuran partikel 0,761  $\mu\text{m}$  dan memiliki 3020 atom besi, interaksi logam dengan grafena disebabkan tumpang tindih antara  $sp^2$  dan orbital d-sp dari logam dan grafena. Perbedaan ukuran partikel tersebut dipengaruhi oleh ukuran logam, kerapatan, muatan dan bentuk logam. Partikel logam dengan grafena memiliki kemampuan yang unik sebagai katalis dan sifat elektromagnetiknya dapat menyesuaikan bentuk struktur nano pada logam dan grafena (Kakei, 2019).

C. Analisis Sifat Listrik Fe/Grafena

Tabel 5.8 Daya Hantar Listrik Fe 3,81%/GBN

Volt	Arus ( $\mu\text{A}$ )	Hambatan (R)	DHL( $\sigma$ ) = (1/R) ( $\mu\text{S/cm}$ )
5	320	0,01563	64
10	900	0,01111	90
15	1450	0,01034	96,6
20	1970	0,01015	98,5
25	2490	0,0100	99,6
30	3000	0,01	100

Tabel di atas menunjukkan, bahwa DHL Fe 3,81%/GBN mengalami kenaikan secara signifikan pada variasi tegangan 5-30 V, hal ini disebabkan perpaduan logam Fe menyebabkan mobilitas elektron stabil pada setiap kenaikan tegangan yang diberikan sehingga mampu menghantar kan arus listrik.

Tabel 5.9 Daya Hantar Listrik Fe 3,86%/GBN

Volt	Arus ( $\mu\text{A}$ )	Hambatan (R)	DHL( $\sigma$ ) = (1/R) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
5	330	0,0151	66
10	910	0,0109	91
15	1480	0,0101	98,6
20	2020	0,0099	101
30	3070	0,0097	102,3

Tabel di atas menunjukkan, bahwa DHL Fe 3,86%/GBN mengalami kenaikan secara signifikan pada variasi tegangan 5-30 V, hal ini disebabkan perpaduan logam Fe menyebabkan mobilitas elektron stabil pada setiap kenaikan tegangan yang diberikan sehingga mampu menghantarkan arus listrik.

Tabel 5.10 Daya Hantar Listrik Fe 3,92%/GBN

Volt	Arus ( $\mu\text{A}$ )	Hambatan (R)	DHL( $\sigma$ ) = (1/R) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
5	320	0,0156	64
10	900	0,0111	90
15	1470	0,0102	98
20	1930	0,0103	96,5
25	2440	0,0102	97,6
30	2960	0,0101	98,6

Dari tabel di atas menunjukkan, bahwa DHL Fe 3,86%/GBN mengalami kenaikan secara signifikan pada variasi tegangan 5-30 V, hal ini disebabkan perpaduan logam Fe menyebabkan mobilitas elektron stabil pada setiap kenaikan tegangan yang diberikan sehingga mampu menghantarkan arus listrik.

Tabel 5.11 Daya Hantar Listrik Fe 4,23%/GBN

Volt	Arus ( $\mu\text{A}$ )	Hambatan (R)	DHL( $\sigma$ ) = (1/R) ( $\mu\text{S/cm}$ )
5	310	0,0161	62
10	870	0,0114	87
15	1410	0,0106	94
20	1930	0,0103	96,5
25	2440	0,0102	97,6
30	2960	0,0101	98,6

Tabel di atas menunjukkan, bahwa DHL Fe 4,23%/GBN mengalami kenaikan secara signifikan pada variasi tegangan 5-30 V, hal ini disebabkan perpaduan logam Fe menyebabkan mobilitas elektron stabil pada setiap kenaikan tegangan yang diberikan sehingga mampu menghantar kan arus listrik.

Tabel 5.12 Daya Hantar Listrik Fe 4,39%/GBN

Volt	Arus ( $\mu\text{A}$ )	Hambatan (R)	DHL( $\sigma$ ) = (1/R) ( $\mu\text{S/cm}$ )
5	320	0,0156	64
10	910	0,0109	91
15	1400	0,0107	93,3
20	1920	0,0104	96
25	2440	0,0102	97,6
30	2960	0,0101	98,6

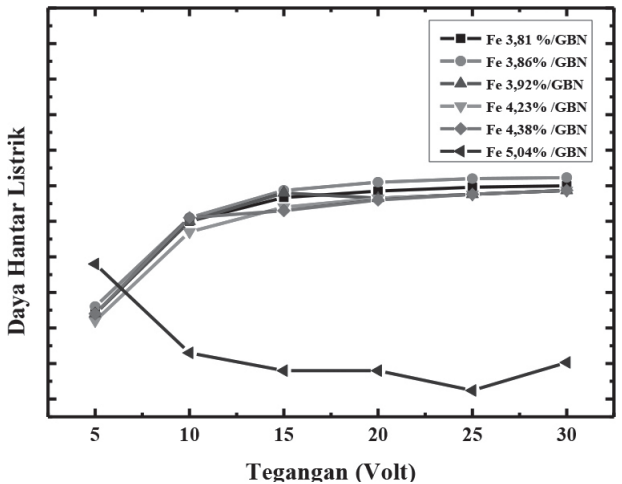
Tabel di atas menunjukkan, bahwa DHL Fe 4,23%/GBN mengalami kenaikan secara signifikan pada variasi tegangan 5-30 V, hal ini disebabkan perpaduan logam Fe menyebabkan mobilitas elektron stabil pada setiap kenaikan tegangan yang diberikan sehingga mampu menghantar kan arus listrik.

Tabel 5.13 Daya Hantar Listrik Fe 5,04%/GBN

Volt	Arus ( $\mu\text{A}$ )	Hambatan (R)	DHL ( $\sigma$ ) = (1/R) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
5	390	0,0128	78
10	530	0,0188	53
15	780	0,0192	48
20	960	0,0208	48
25	1060	0,0235	42,4
30	1510	0,0198	50,3

Tabel di atas menunjukkan, bahwa DHL Fe 5,04%/GBN tidak stabil, DHL tertinggi adalah pada tegangan 5 Volt dan pada tegangan 10-25 V mengalami penurunan, hal ini disebabkan perpaduan variasi konsentrasi pada logam Fe ini mempengaruhi mobilitas elektron menjadi tidak stabil pada setiap kenaikan tegangan yang diberikan.

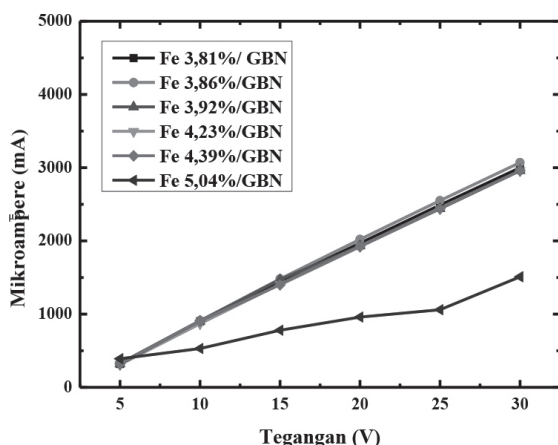
Gambar variasi Daya Hantar Listrik Fe/GBN terhadap tegangan dapat dilihat pada Gambar 5.16



Gambar 5.16 Variasi Daya Hantar Listrik Fe/Grafena

Gambar 5.16 Menunjukkan, bahwa paduan Fe/Grafena dapat meningkatkan DHL. DHL Fe 3,81% - Fe 4,38%/GBN linier terhadap Tegangan, hal ini disebabkan elektron-elektron pada logam tersebut dapat bergerak dengan bebas sehingga mobilitas elektron bergerak cepat menghantarkan arus listrik (Chen, 2018). Pada Fe 5,04%/GBN memiliki DHL terendah dan tidak stabil terhadap peningkatan Tegangan, hal ini karena pengaruh jumlah konsentrasi pada logam Fe 5,04% menyebabkan elektron sulit bergerak bebas untuk menghantarkan arus listrik. Hal ini sesuai dengan penelitian (Alvaro, 2019) menyatakan kluster logam Fe dalam jumlah besar dapat menghambat pergerakan elektron untuk menghantarkan arus listrik.

Grafik variasi kuat arus Fe/GBN terhadap tegangan dapat dilihat pada Gambar 5.17



Gambar 5.17 Grafik kuat arus terhadap tegangan pada variasi Fe/GBN

Gambar 5.17 menunjukkan, bahwa perpaduan GBN dengan logam dapat meningkatkan daya hantar listrik dan kuat arus grafena dengan perpaduan logam Fe lebih tinggi dibandingkan Grafit GBN dan Anoda Baterai. Pada Fe 3,86%/GBN memiliki DHL dan kuat Arus yang lebih tinggi, namun pada Fe 5,04%/GBN memiliki DHL dan kuat arus yang lebih rendah, hal ini disebabkan karena paduan konsentrasi tertinggi yaitu pada Fe 5,04%/GBN mempengaruhi mobilitas elektron lebih lambat untuk bergerak menghantarkan listrik. Hal ini sesuai dengan penelitian (Alvaro, 2019) bahwa Grafena 2D dilapisi dengan nanopartikel logam Fe memiliki rasio permukaan dan volume yang tinggi dapat digunakan sebagai katalis sehingga meningkatkan stabilitas.



Sifat magnetik logam Fe pada grafena dapat meningkatkan konduksi elektron dan menghindari aglomerasi nanopartikel. Penggunaan kluster logam Fe dalam jumlah sedikit pada grafena maka reaktivitas dan sifat elektrik yang lebih stabil.

#### 4.4.3 Pengukuran Arus Fe 3,86%/GBN dengan variasi waktu pada tegangan 30 Volt

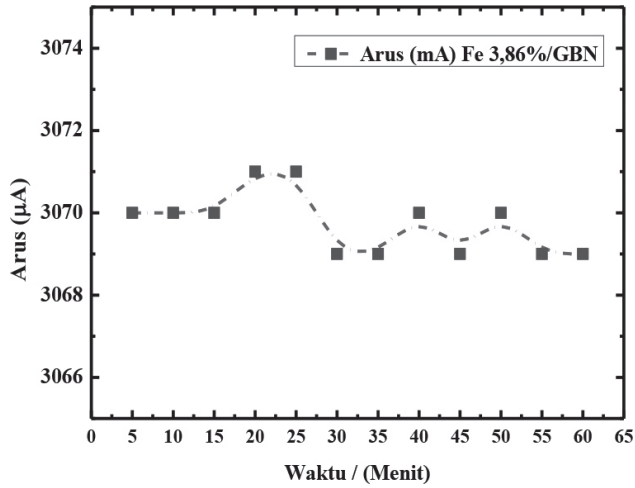
Untuk mengetahui kestabilan kuat arus Fe 3,86%/GBN dilakukan pengukuran kuat Arus pada tegangan 30 Volt pada variasi waktu 5 - 60 menit

Tabel 5.14 Kuat Arus Fe 3,86%/GBN dengan variasi waktu 5 – 60 menit pada tegangan 30 Volt

Tegangan 30 Volt/(Menit)	Arus ( $\mu$ A)
5	3070
10	3070
15	3070
20	3071
25	3071
30	3069
35	3069
40	3070
45	3069
50	3070
55	3069
60	3069

Tabel di atas menunjukkan, bahwa kuat Arus Fe 3,86%/GBN stabil pada 15 menit lalu stabil pada 40 menit, dan stabil pada 50 menit.

Berikut Grafik Gambar 5.18 kuat Arus Fe 3,86%/GBN terhadap variasi waktu



Gambar 5.18 Kuat Arus Fe 3,86%/GBN terhadap variasi waktu

Grafik di atas menunjukkan, bahwa kuat Arus Fe 3,86%/GBN stabil pada 15 menit lalu stabil pada 40 menit, dan stabil pada 50 menit, artinya pemakaian Fe 3,86%/GBN pada Anoda Baterai Primer dapat bertahan lama dan kuat arus stabil pada setiap 15 menit. Hal ini disebabkan konduktivitas grafena berbahan logam Fe dapat stabil menghantarkan arus listrik. Hal ini sesuai dengan penelitian (Chen, 2018), bahwa pembuatan baterai berbasis grafena dengan logam Fe dapat meningkatkan kestabilan konduktivitas. Fe/Grafena juga dapat menginduksi peningkatan resistivitas pada suhu tinggi, konduktivitas logam dengan grafena stabil pada suhu ruang dan bersifat reversibel, grafena juga stabil terhadap kondisi oksidatif.



## Bab 6

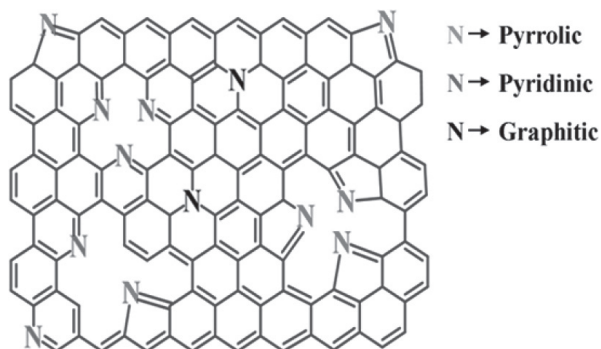
### N-Grafena

Grafena dimodifikasi untuk merubah sifat dari grafena sehingga sifat nya dapat ditingkatkan. Salah satu caranya adalah dengan mencacatkan grafena (*defect of graphene*). Kecacatan grafena dapat dilakukan dengan memasukkan material baru misalnya nitrogen kedalam grafena (N-Grafena). Sehingga, sifat grafena dapat diubah, dikarenakan struktur elektronik dari grafena telah berubah, dengan demikian sifat konduktivitasnya dapat ditingkatkan (Xin, 2011).

N-doping karbon menunjukkan peningkatan kinerja kapasitansi dari kapasitor serta meningkatkan konduktivitas elektronik dikarenakan adanya pembentukan variasi dari struktur N-doping (Seger, 2009). Modifikasi material karbon khususnya dengan menggunakan nitrogen (*N-doping* karbon) telah diusulkan sebagai material elektroda yang bebas logam (Stankovich, 2007). Oleh karena itu, *N-doping* karbon *nano tube* menunjukkan aktivitas yang tinggi (Yoo, 2009), tipe *N-doping* piridinik dan grafitik mampu meningkatkan aktivitas katalis dari karbon. Artinya *N-doping* karbon *nano tube* dapat digunakan sebagai material elektroda yang non-Pt (Kim, 2019).

Proses doping dapat dilakukan dengan menggunakan atom nitrogen atau atom boron ke dalam kisi karbon grafena dan jenis modifikasi kimia, sehingga dapat mengubah sifat elektronik struktur nano karbon. Atom nitrogen yang di didopan ke dalam struktur grafena, biasanya ada tiga konfigurasi ikatan umum dalam kisi karbon, termasuk N-grafitik, N-piridinik dan N-pirolik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.1 (Zhang, 2011).

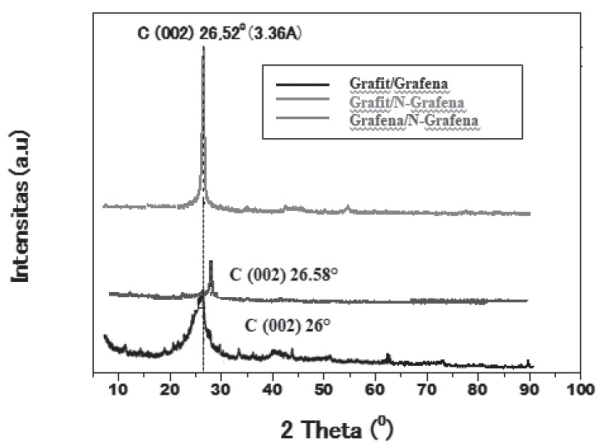
Ikatan N-Piridinik dengan dua atom C memberikan satu elektron p ke sistem  $\pi$  dari kisi grafena. N-Pirolik ke atom C yang menyumbangkan dua elektron p ke sistem dan ikatan dengan cincin beranggota lima, seperti pada pirol. N atom yang menggantikan atom C dalam cincin heksagonal adalah N-grafitik.



Gambar 6.1 Struktur N-Grafena (Zhang, 2011)

A. XRD

Paduan Grafit/Grafena, Grafit/N-Grafena dan Grafena/N-Grafena dianalisis dengan XRD (Gambar 6.2).



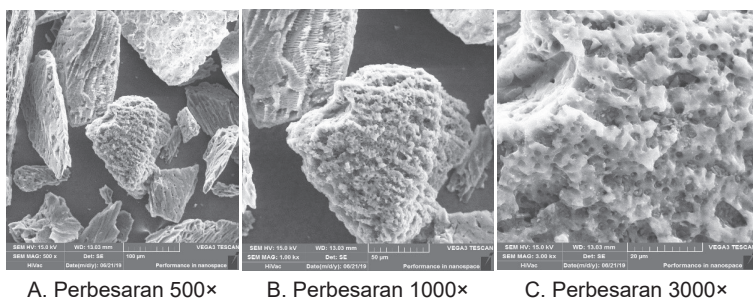
Gambar 6.2 Difraktogram dari Grafit/Grafena, Grafit/N-Grafena dan Grafena/N-Grafena.

Adanya puncak-puncak pada  $2\theta = 26-26,58^\circ$  menunjukkan bahwa karbon (C) 002 terbentuk dengan jarak antar lapisan adalah  $3,36 \text{ \AA}$ . Hal itu berarti Grafena ada pada ketiga paduan tersebut. Ketiga paduan tersebut menunjukkan karakter yang berbeda dimana bentuk puncak-puncaknya tidak sama. Puncak  $2\theta = 26^\circ$  pada Grafit/Grafena

sedikit tajam dan melebar. Hal ini disebabkan karena adanya interaksi antara lapisan-lapisan antara Grafit dan Grafena. Struktur Grafit pada paduan Grafit/Grafena tampak tidak dominan lagi dibandingkan dengan ketika Grafit tidak berpadu dengan Grafena. Dengan demikian Grafena lebih dominan berinteraksi dengan Grafit. Untuk Grafit/N-Grafena memiliki puncak tajam dan sempit pada  $2\theta = 26,52^\circ$  dengan jarak lapisan  $3,36 \text{ \AA}$ . Data tersebut membuktikan bahwa terjadi interaksi antara Grafit dan N-Grafena meskipun Grafit tampak dominan terhadap N-Grafena. Sementara paduan Grafena/N-Grafena memiliki puncak yang sangat menarik pada  $2\theta = 26,58^\circ$  dibandingkan dengan kedua paduan lainnya karena puncaknya lemah dan melebar dengan jarak  $3,36 \text{ \AA}$ . Artinya terjadi interaksi antara Grafena/N-Grafena (Ratih, 2017).

## B. SEM

Data SEM dari N-Grafena ditunjukkan pada Gambar 6.3



Gambar 6.3 Foto SEM pada permukaan N-Grafena

Gambar 6.3 menunjukkan permukaan N-Grafena yang dilakukan dengan tiga kali perbesaran. Pada permukaan N-Grafena dengan perbesaran  $3000 \times$  menunjukkan permukaan N-Grafena tampak sangat berbeda dari Grafena dimana permukaannya tampak lebih terbungkus dibandingkan Grafena, kemungkinan atom-atom N berinteraksi dengan struktur Grafena (Ratih, 2018). Untuk melihat atom N berinteraksi dengan struktur Grafena dapat dilihat pada Tabel 6.1.

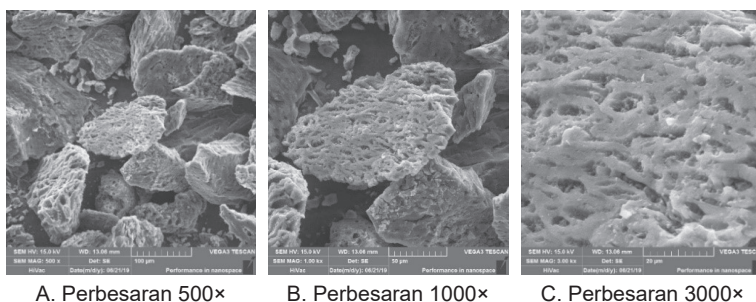
Tabel 6.1 Kelimpahan Elemen N-Grafena dengan menggunakan EDX

Number Element	Element Symbol	Element Name	Weight Concentration element (%)
6	C	Karbon	56,87
8	O	Oksigen	32,9
25	Mn	Mangan	4,31
7	N	Nitrogen	2,72
13	Al	Alumunium	1,88
19	K	Kalium	0,57
16	S	Sulfur	0,47
11	Na	Natrium	0,28
Total			100

Data hasil EDX dari N-Grafena yang diukur, menunjukkan adanya N (2,72%) mengidentifikasi bahwa N-Grafena terbentuk. Hal tersebut menandakan terjadinya penggabungan antara C dan N akibat efek N-dopan dimana N dapat menyumbangkan elektronnya ke dalam grafena.

### C. Grafit/Grafena

Data SEM dari Grafit/Grafena ditunjukkan pada Gambar 6.4.



Gambar 6.4 Foto SEM pada Grafit/Grafena

Gambar 6.4 menunjukkan permukaan Grafit/Grafena yang dilakukan dengan tiga kali perbesaran. Pada permukaan Grafit/Grafena dengan perbesaran 3000 × menunjukkan adanya paduan antara Grafit/Grafena. Hal itu disebabkan berubahnya struktur masing-masing Grafit dan Grafena (non paduan). Struktur Grafit tampak lapisan Grafena (Gambar 6.4). Berdasarkan data-data tersebut dapat terlihat dengan jelas bahwa Grafit berpadu dengan Grafena. Jumlah kelimpahan atom dari masing-masing unsur pada Grafit/Grafena dapat dilihat pada Tabel 6.2.

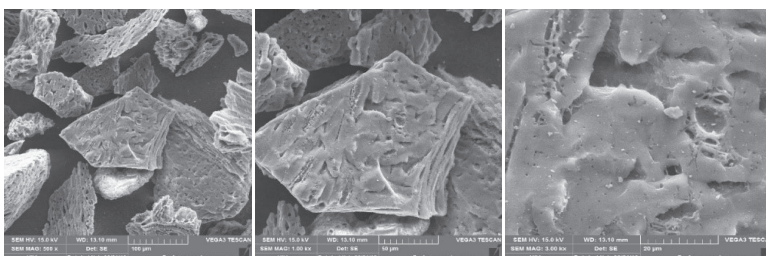
Tabel 6.2 Kelimpahan Elemen Grafit/Grafena dengan menggunakan EDX

<i>Number Element</i>	<i>Element Symbol</i>	<i>Element Name</i>	<i>Weight Concentration element (%)</i>
6	C	Karbon	84,56
8	O	Oksigen	11,29
13	Al	Alumunium	00,67
16	Si	Silikon	02,91
Total			100

Data hasil EDX dari Grafit/Grafena yang diukur, menunjukkan kandungan atom C yang besar dibandingkan dengan N-Grafena, hal tersebut terjadi karena interaksi yang bersinergi antara struktur grafit dan grafena pada paduan Grafit/Grafena.

#### D. Grafit/N-Grafena

Data SEM dari Grafit/Grafena ditunjukkan pada Gambar 6.5



A. Perbesaran 500×

B. Perbesaran 1000×

C. Perbesaran 3000×

Gambar 6.5 Foto SEM pada Grafit/N-Grafena



Gambar 6.5 menunjukkan permukaan Grafit/N-Grafena yang dilakukan dengan tiga kali perbesaran. Pada permukaan Grafit/N-Grafena dengan perbesaran 3000 × menunjukkan bahwa bentuk struktur Grafit pada Grafit/N-Grafena tidak terlihat lagi karena ditutupi oleh N-Grafena. Artinya terjadi perpaduan antara Grafit dan N-Grafena. Untuk membuktikan hal tersebut dilakukan analisis EDX.

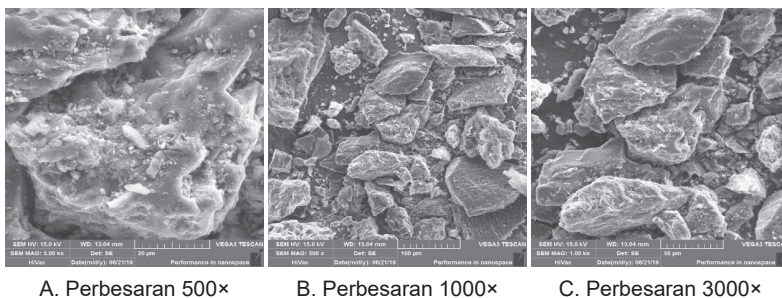
Tabel 6.3 Kelimpahan Elemen Grafit/N-Grafena dengan menggunakan EDX

<i>Number Element</i>	<i>Element Symbol</i>	<i>Element Name</i>	<i>Weight Concentration element (%)</i>
6	C	Karbon	56,54
8	O	Oksigen	16,3
13	Al	Aluminium	7,81
16	S	Sulfur	13,61
19	K	Kalium	3,68
7	N	Nitrogen	2,06
Total			100

Data hasil EDX dari Grafit/N-Grafena menunjukkan bahwa adanya atom N (2,06%). Hal ini dikarenakan N-Grafena terdeposit kedalam struktur grafit dan terjadi interaksi antara atom C dan N pada grafit dan N-Grafena. Sehingga, kelimpahan atom karbon pada Grafit/N-Grafena berkurang.

#### E. Grafena/N-Grafena

Data SEM dari Grafit/Grafena ditunjukkan pada Gambar 6.6



Gambar 6.6 Foto SEM pada Grafena/N-Grafena

Gambar 6.6 menunjukkan permukaan Grafena/N-Grafena yang dilakukan dengan tiga kali perbesaran. Pada permukaan Grafena/N-Grafena dengan perbesaran 3000 × menunjukkan Grafena/N-Grafena memiliki struktur permukaan yang berbeda dengan Grafit/Grafena dan Grafit/N-Grafena. Hal ini dapat terjadi karena N-Grafena terdeposit dengan baik ke dalam struktur grafena. Untuk melihat N-Grafena terdeposit dengan baik kedalam struktur Grafena dapat dilihat pada Tabel 6.4.

Tabel 6.4 Kelimpahan Elemen Grafena/N-Grafena menggunakan EDX

<i>Number Element</i>	<i>Element Symbol</i>	<i>Element Name</i>	<i>Weight Concentration element (%)</i>
6	C	Karbon	58,53
8	O	Oksigen	17,63
13	Al	Aluminium	8,54
16	S	Sulfur	8,63
19	K	Kalium	4,95
7	N	Nitrogen	1,72
Total			100

Data hasil EDX Grafena/N-Grafena menunjukkan bahwa adanya atom N (1,72%). Hal ini dikarenakan N-Grafena terdeposit kedalam struktur grafena dan terjadi interaksi antara atom C dan N pada grafena dan N-Grafena.

## F. Analisis Sifat Listrik

### a. Analisis Sifat Listrik N-Grafena

Tabel 6.5 Daya Hantar Listrik pada N-Grafena

Tegangan (Volt)	Arus ( $\mu\text{m}$ )	R	Daya Hantar Listrik (1/R) ( $\mu\text{S/cm}$ )
5	248	0,061	49,6
10	517	0,042	51,7
15	634	0,059	42,26
20	796	0,026	39,8
25	899	0,009	35,96
30	984	0,088	32,8

Daya Hantar Listrik (DHL) dari N-Grafena mengalami kenaikan dari 49,6-51,7  $\mu\text{S/cm}$  pada tegangan 5-10 volt dan arus 248-517  $\mu\text{A}$ . Sementara DHL menurun pada tegangan 10-30 volt dari 51,7-32,8  $\mu\text{S/cm}$ . Keteraturan struktur N-Grafena yang didapatkan dapat mempengaruhi kinerja elektron untuk dapat menghantarkan arus listrik (Novoselov, 2004). Adanya permukaan struktur N-Grafena yang tampak terbungkus dan kurang teratur membuat mobilitas kecepatan elektronnya kurang stabil dan membuat DHL pada N-Grafena menurun.

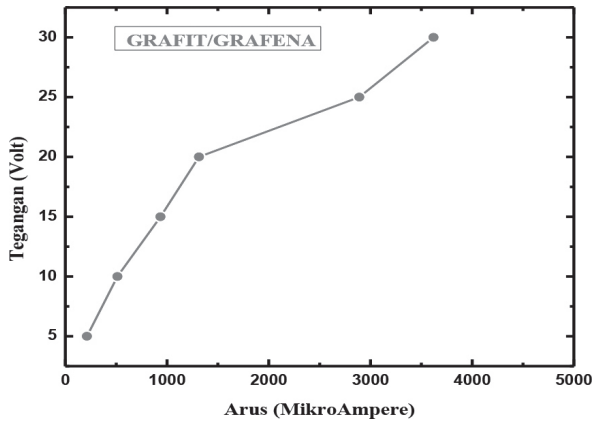
#### G. Grafit/Grafena

Hasil pengukuran Daya Hantar Listrik Grafit/Grafena ditunjukkan pada Tabel 6.6.

Tabel 6.6 Daya Hantar Listrik pada Grafit/Grafena

Tegangan (Volt)	Arus (MikroAmpere)	R	Daya Hantar Listrik (1/R) ( $\mu\text{S/cm}$ )
5	212	0,085	42,4
10	512	0,031	51,2
15	935	0,043	62,33
20	1314	0,021	65,7
25	2890	0,051	115,6
30	3620	0,087	120,67

Daya Hantar Listrik (DHL) yang diperoleh dari Grafit/Grafena sangat menarik dibandingkan dengan Grafit, Grafena dan N-Grafena. Dimana DHL Grafit/Grafena mengalami kenaikan dari 42,4-120,67  $\mu\text{S/cm}$  pada tegangan 5-30 volt. Susunan atom-atom yang teratur dapat memungkinkan elektron untuk dapat bergerak dengan cepat (Novoselov 2004). Hal ini membuktikan bahwa DHL yang mengalir pada Grafit/Grafena memiliki mobilitas elektron yang tinggi dan membuat DHL semakin meningkat. Kurva Grafit/Grafena dapat dilihat pada Gambar 6.7.



Gambar 6.7 Kurva Tegangan -vs Arus dari pada Grafit/Grafena

Gambar 6.7 menunjukkan kurva Daya Hantar Listrik (DHL) dari Grafit/Grafena yang memiliki DHL sebesar  $120,67 \mu\text{S}/\text{cm}$  pada tegangan 30 volt dan arus sebesar  $3620 \mu\text{A}$ . Kurva dari Grafit/Grafena juga menunjukkan arus yang meningkat terhadap variasi tegangan 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 Volt sehingga dapat memungkinkan Grafit/Grafena dapat berpotensi sebagai katoda baterai primer.

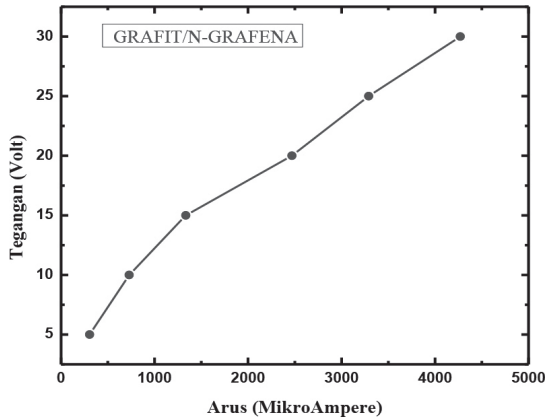
#### H. Grafit/N-Grafena

Hasil pengukuran Daya Hantar Listrik Grafit/Grafena ditunjukkan pada Tabel 6.7.

Tabel 6.7 Daya Hantar Listrik pada Grafit/N-Grafena

Tegangan (Volt)	Arus ( $\mu\text{A}$ )	R	DHL ( $1/R$ ) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
5	305	0,093	61
10	729	0,017	72,9
15	1334	0,044	88,93
20	2470	0,097	123,5
25	3290	0,099	131,6
30	4270	0,026	142,33

Daya Hantar Listrik (DHL) yang diperoleh dari Grafit/N-Grafena sebesar 142,33  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pada tegangan 30 volt dan arus sebesar 4270  $\mu\text{A}$  sangat berbeda jauh dengan kenaikan yang dimiliki oleh Grafit/Grafena dimana DHL yang diperoleh sebesar 120,67  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Hal ini terjadi karena N-Grafena terdeposit kedalam struktur Grafit sehingga nilai DHL semakin besar (Hu, 2014). Kurva Grafit/N-Grafena dapat dilihat pada Gambar 6.8.



Gambar 6.8 Kurva Tegangan -vs-Arus dari Grafit/ N-Grafena

Gambar 6.8 menunjukkan kurva Daya Hantar Listrik (DHL) pada Grafit/N-Grafena yang memiliki DHL sebesar 142,33  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pada tegangan 30 volt. DHL yang diperoleh juga mengalami kenaikan sama seperti pada Grafit/Grafena. Kenaikan DHL yang diperoleh Grafit/N-Grafena dipengaruhi oleh susunan struktur dari Grafit/N-Grafena. Susunan Struktur yang teratur dapat mempercepat mobilitas elektron (Novoselov, 2004).

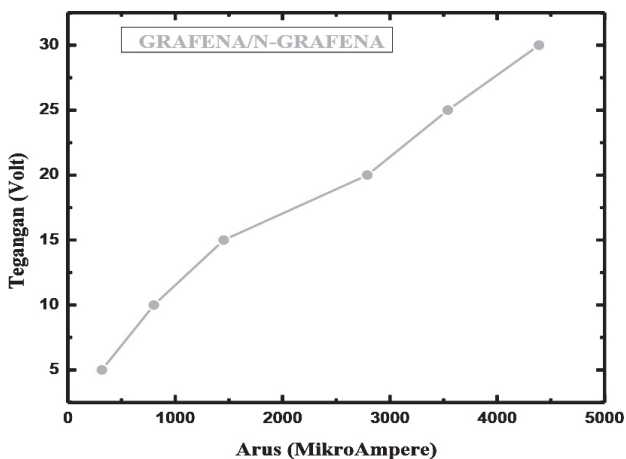
I. Grafena/N-Grafena

Hasil pengukuran Daya Hantar Listrik Grafena/N-Grafena ditunjukkan pada Tabel 6.8.

Tabel 6.8 Daya Hantar Listrik pada Grafena/N-Grafena

Tegangan (Volt)	Arus ( $\mu\text{A}$ )	R	Daya Hantar Listrik ( $1/R$ ) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
5	317	0,073	63,4
10	801	0,084	80,1
15	1452	0,031	96,8
20	2790	0,008	139,5
25	3540	0,062	141,6
30	4390	0,006	146,33

Daya Hantar Listrik (DHL) yang diperoleh dari Grafena/N-Grafena sebesar  $146,33 \mu\text{S}/\text{cm}$  pada tegangan 30 volt dan tidak terlalu berbeda jauh dengan kenaikan yang dimiliki oleh Grafit/N-Grafena dimana DHL yang diperoleh sebesar  $142,33 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Hal ini terjadi karena N-Grafena terdeposit kedalam struktur Grafena sehingga menyebabkan mobilitas elektron semakin cepat dan menyebabkan nilai DHL semakin besar (Novoselov, 2004). Kurva Grafena/N-Grafena dapat dilihat pada Gambar 6.9



Gambar 6.9 Kurva Tegangan -vs-Arus dari Grafena/N-Grafena

Gambar 6.9 menunjukkan Daya Hantar Listrik (DHL) yang diperoleh Grafena/N-Grafena sebesar  $146,33 \mu\text{S}/\text{cm}$  dengan tegangan 30 volt dan arus  $4390 \mu\text{A}$ . Dimana DHL yang dimiliki lebih besar dari Grafit/Grafena dan Grafena/N-Grafena. Tegangan yang divariasikan antara 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 volt memberikan nilai distribusi yang meningkat sehingga dapat berpotensi sebagai katoda baterai primer.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alvaro, 2019. *Icosahedral Transition Metal Cluster ( $M_{13}$ ,  $M=Fe, Ni$ , and  $Cu$ )* adsorbed on graphene quantum dots, a DFT study, *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 110, 52-58
- Buchmann, Isidor. *Baterai Statistik: Baterai* University. <http://www.google.com>. Tanggal akses 15 Maret 2019.
- Bourlinos AB, Gournis D, Petridis D, Szabo T, Szeri A, Dekany I, 2003. Graphite Oxide Chemical Reduction to Graphite and Surface Modification with Primary Aliphatic Amines and Amino Acids. *Langmuir*, 19 (15): 6050–6055.
- Casero E, Parra-Alfambra AM, Petit-Domínguez MD, Pariente F, Lorenzo E, Alonso C, 2012. Differentiation Between Graphene Oxide and Reduced Graphene by Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS), *Electrochemistry Communications*, 20: 63-66.
- Chen, 2018. *Long Term Electrical Conductivity Stability of Graphene Under Controlled ambient Conditions*. Carbon. Tsinghua University, Beijing. China
- Choi, S. M., Kim Seo., Kim, W. B, 2011. *Synthesis of Graphene and Their Applications to Methanol Electro Oxidation* Carbon. 21: 213-215
- Chang C, Chang Y, Tsai C, Liao, 2012. Electrochemically synthesized graphene/polypyrrole composites and their use in supercapacitor. *Carbon. Adv. Mater*, 22: 4872.
- CRU. 2015. *Technology Metals*. Chancery House: United Kingdom-London (*batterycouncil*). Tanggal akses 08 September 2019
- David L, 2002. *Handbook of Battery*. Mc Graw Hill.
- Dmitriy A, Dommett H G Kohlhaas M K Zimney J E, Stach A E, Piner D R, Nguyen T S Rouff S R, 2006. *Graphen Based Composit Material*. Nature Publishing Group
- Fan X, Peng W, Li Y, Li X, Wang SS, Zhang S, Zhang F, 2008. *Adv Mater*, 20: 4490-4493.
- Geim AK, Novoselov KS, 2007. The Rise of Graphene. *Nature Materials*, 6: 1-14.
- Hu T, Sun X, Sun HT, Xin GQ, Shao DL, Liu CS, Lian J, 2014. *Phys. Chem. Chem. Phys*, 16: 1060–1066.



- Hsieh Y, Liu AK, Roy, 2012. Pulse electro deposited Pd nanoclusters on graphene based electrodes for proton exchange membrane fuel cells, *Electrochim. Acta*, 19: 64.
- Hartomo AJ, Purba AV, 1986. *Penyelidikan Spektrometri Senyawa Organik*, Edisi keempat, Jakarta: Erlangga.
- Junaidi M, Susanti D, 2014. Pengaruh Variasi Waktu Ultrasonikasi dan Waktu Tahan Hidrotermal terhadap Struktur dan Konduktivitas Listrik Material Grafena. *Jurnal Teknik Pomits*, 3: 1-6.
- Kim – jin , 2019, *The Surface Modified Effects of Zn Anode with CuO in Zn-air Batteries*, Accepted Manuscript. University Of Ulsan. Korea
- Kakei, 2019. *Graphene Based Metal Particles*. Elsevier. *Graphene Surface: Particles and Catalysts*. [Http://doi.org/10.1016/8978-0-12-814523-4.000058](http://doi.org/10.1016/8978-0-12-814523-4.000058). Diakses 23 Maret 2019
- Kucinskis, G., Bajars, G., Kleperis, J. 2013. *Graphene In Lithium Ion Battery Cathode Materials*. University of Lavia. Riga
- Kwieceńska B, Petersen HJ, 2004. Graphite, Semi graphite, Natural Coke, and natural Char classification-ICCP system. *International Journal of Coal Geology*, 10: 99-116.
- Linden, David. 2002. *Handbook of Batteries*. Newyork: Mc-Graw-Hill. Third Edition..
- Li H, Bubeck C, 2013. Photoreduction Processes of Graphene Oxide and Related Applications. *Macromol. Research*, 21: 290-297.
- Liu Z, Zhang G, Lu Z, Jin X, Chang Z, 2013. One-step scalable preparation of N-doped nanoporous carbon as a high-performance electrocatalyst for the oxygen reduction reaction. *Nano Research*, 6 (4): 293-301.
- Lung HH, Wu FY, Lin CT, Khlobystov AN, Li LJ, 2013. Graphene-modified LiFePO<sub>4</sub> cathode for lithium ion battery beyond theoretical capacity. *Macmillan Publishers Limited. Nat. Commun*, 4:1687
- Marcinkoski, J., James, B.D., Kalinoski, J.A., Podolski, W., Benjamin, T., Kopasz, J., James, J.P., Kalinoski, B. J., and Baum, K. 2010. Power Sources. U. S Department Of *Energy Hydrogen Program Annual Merit Review Proceedings*. Washington DC
- Marsh H, Heintz EA, Rodriguez-Reinoso F, 1997. Introduction to Carbon Technologies. 4:521.

- Melki CB, 2018. Kinerja Grafit/Grafena, Mg/Grafit Dan Mg/Grafena Sebagai Elektroda Pada Katoda Baterai Primer. Skripsi. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Morozov, S.V., Novoselov, K.S., Katsnelson, M.I., Schedin, F., Elias, D.C., Jaszczak, J.A., Geim, A.K. 2011. *Giant Intrinsic Carrier Mobilities In Graphene and ItBilayer*. Phys.Rev. Lett., 100, 16602.
- Nigar, 2019, *Adsorption Mechanism of Ferrocene Molecule on Pristine and Function Alized Graphe*. Applied Surface Science, Shanghai University. China.  
www.Elsevier.Com/icoate/apsusc
- Nurdiansyah H, Susanti D, 2014. Pengaruh Temperatur Hidrotermal dan Waktu Ultrasonikasi Terhadap Nilai Kapasitansi Elektroda Electric Double Layer Capacitor (EDLC) dari Material Grafena, Surabaya: Tesis ITS.
- Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S. V., Grigorieva, I. V., Firsov, A.A. *Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films*. Science.
- Petek, T. 2015. Slurry Electrodes for Iron Plating in an All Iron Flow Battery. Elsevier.
- Pei S, Cheng HM, 2011. The reduction of graphene oxide. Carbon 3: 3210-3228.
- Phang SW, Tadakoro M, Watanabe J, Kuramoto N, 2008. Synthesis, Characterization and Microwave Absorption Property of Doped Polyaniline Nanocomposites Containing TiO<sub>2</sub> Nanoparticles and Carbon Nanotubes, *Synthetic Metals*, 158: 251-258.
- Prihandoko B, 2010. Pembuatan Nanomaterial Sebagai Bahan Komponen Baterai Lithium. Laporan Akhir. Serpong: LIPI Rahmawati.F. 2013. Elektrokimia Transformasi Energi kimia- listrik. Surakarta. Graha ilmu, (5) 47-49.
- Pinto H, Markevich A, 2014. Electronic and Electrochemical Doping of Graphene by Surface Adsorbates. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 6: 1842-1848.
- Rahmawati.F. 2013. Elektrokimia Transformasi Energi kimia- listrik. Surakarta. Graha ilmu, (5) 47-49.
- Rohith, V., et al, 2016. Large Scale Synthesis and Formation mechanism of GNS. India : Balakumar Press
- Ratih, Dwi.2017. Kinerja Grafit/N-Grafena dan Grafena/N-Grafena sebagai Katoda Sel Baterai Primer. Tesis. Medan:Universitas Sumatera Utara.
- Randviir EP, Brownson DAC, Banks CE, 2014. A Decade of Graphene Research: Production, Applications and Outlook. *Materials Today*, 17: 426-432.

- Sons, and John Wiley, 2012. *Patty's Toxicology*. New Jersey: Inc
- Sibirian, R.. 2014. *Support Material Effect for Pt Catalytic Activity at Cathode*. International Research Journal of Pure and Applied Chemistry, 541-550.
- Silva, R.A., Hashimoto,T., Thompson,G.E., and Rangel, C.M. 2012. *Characterization of Adegradation for an open air cathode PEM fuel cell*. *Int. J. Hydrogen Energy*. 37: 7299.
- Stankovich S, Dikin DA, Piner RD, Kohlhaas KA, Kleinhammes A, Jia Y, Wu Y, Nguyen ST, Ruoff RS. 2007. Synthesis of graphene-based nanosheet via chemical reduction of exfoliated graphite oxide. *Carbon*, 4: 1558-1565.
- Seger B, Kamat VP, 2009. Electrocatalytically active graphene–platinum nanocomposites. Role of 2 – D carbon support in PEM fuel cells. *J. Phys. Chem. C*, 19: 7990–7995.
- Stepanus KL, 2015. Kinerja grafit/oksida grafit, grafit/grafena, mangan/grafit dan mangan/grafena sebagai bahan sel baterai primer. Skripsi. Kupang: Universitas Nusa Cendana.
- Teng Z, Qingzhong X, 2012. Theoretical approaches to graphene and graphene-based materials. *Nano Today*, (7): 180-200.
- Titelman G, Gelman V, Bron S, Khalfin RL, Cohen Y, Bianco PH, 2005. Characteristics and microstructure of aqueous colloidal dispersions of graphite oxide. *Elsevier. Carbon*, 43: 641–649
- Tribowo. J, 2011. *Rekayasa Bahan  $LixTiMnyFez(PO_4)_3$  Sebagai Katoda Solid Polymer Battery (SPB) Lithium* [Tesis].Jakarta: Universitas Indonesia, Program Magister Ilmu Bahan Bertaraf Internasional.
- Werkeiser, 2018. *Mineral Commodity Summaries*.Virginia: U.S. Geological Survey, Reston.
- Wan,K., Long,G., Liu,M., Du,L., Liang, Z., and Tsiakaras, P. 2015.*Nitrogen-doped ordered mesoporous carbon: synthesis and active sites for electrocatalysis of oxygen reduction reaction*. *Applied Catalysis B: Environmental*. 165: 566–571.
- Wang D, Yan W, Vijapur SH, Botte GG, 2013. Electrochemically Reduced Graphene Oxide–Nickel Nanocomposites for Urea Electrolysis, *Electrochim. Acta*: p. 89.

- Walker PL, Thrower PA, 1981. Chemistry and Physics of Carbon. New York: Marcel Dekker, Inc, 14: 8-17.
- Widiatmoko, 2015. Graphene: Sifat, Farikasi, dan Aplikasinya. Bandung: Jurusan Fisika, Institut Teknologi Bandung.
- Wolf, E. L. 2013. *Mechanical and Physical Properties of Graphene*. Oxford University Press.
- Xin Y, Liu J, Zhou Y, Liu W, Gao J, Xie Y, Yin Y, Zou Z, 2011. Preparation and characterization of Pt on graphene, *J. Power Sources*, 196: 1012–1018.
- Yen B, Schwickert B, 2004. *Origin of low-friction behavior in graphite investigated by surface x-ray diffraction appl.* *Phys, Inc. lett* 84: 4702.
- Yoo EJ, Okata T, Akita T, Kohyama M, Nakamura J, Honma I, 2009. Enhanced electrocatalytic activity of Pt subnanoclusters on graphene nanosheet surface, *Nano Lett.*, 9: 2255–2259.
- Yoshio M, **Brodd M**, Ralph J, **Kozawa**, Akiya, 2009. Lithium-Ion Batteries. E Book. ISBN 978-0-387-34445-4. Springer Science Bussines Media: Japan.
- Yu J, Seongho Y, 2015. Coating of graphite anode with coal tar pitch as an effective precursor for enhancing the rate performance in Li-ion batteries: Effects of composition and softening points of coal tar pitch. Japan: *Science Direct*, 6: 356-341 .
- Yudha T, Irdhawati, Ida AR, Astiti A, 2016. Sintesis dan Karakterisasi Grafena dengan Metode Reduksi Grafit Oksida Menggunakan Pereduksi Zn. *Jurnal Kimia VALENSI*, 1: 17-23.
- Zhang S, Shao Y, Liao H, Engelhard MH, Geping GY, Yuehe YL, 2011. Synthesis of soluble graphene nanosheets, *ACS Nano*, 5: 1785–1791.
- Zhu J. 2014. *The Application Of Graphene In Lithium Ion Battery Electrode Materials*. Sringer plus a springer Open Journal.

## TENTANG PENULIS



Penulis bernama lengkap **Rikson Asman Fertiles Siburian, Ph.D** dilahirkan di Tapanuli Utara, Sumatera Utara, 4 September 1974. Penulis merupakan anak pertama dari enam bersaudara dari pasangan Bapak Pdt. Drs. R.A. Siburian, STh dan Ibu R. Silaban (Almarhumah). Penulis merupakan lulusan S1 Kimia-FMIPA USU (1998); S2 Kimia, Pascasarjana-USU (2001) dan S3 Pure and Applied Science-Tsukuba, Jepang (2013). Penulis saat ini sebagai staff pengajar di Kimia Analitik, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara (USU Medan, Indonesia). Penulis mengampuh berbagai mata kuliah yang berhubungan dengan Kimia Analitik antara lain Analisa Kualitatif, Kuantitatif, Instrumen, dan Analisa Otomatisasi. Penulis pernah memenangkan berbagai hibah penelitian DIKTI, diantaranya Hibah Bersaing, Hibah Pekerti, Hibah Fundamental dan Hibah Kompetensi. Penulis memiliki berbagai publikasi yang terpublikasi di ACS Journals dan terindeks scopus lainnya. Penulis juga memiliki buku yang telah terpublikasi secara nasional maupun internasional. Penulis menekuni bidang kimia analitik dan aplikasinya mulai sejak S1 (1998-saat ini), khususnya dibidang elektrokimia untuk material anoda dan katoda, misalnya grafena dan paduan logam/grafena. Grafena diyakini menjadi material yang akan banyak digunakan untuk masa depan. Penulis telah melakukan berbagai penelitian tentang grafena dan mengumpulkan data-data tersebut dalam publikasi diantaranya melalui buku dan jurnal. Penulis akan terus terinisiasi dan berperan aktif untuk melahirkan dan menciptakan karya-karya terbaik buat kemajuan IPTEK baik nasional maupun global. Penulis merupakan Editor dan Reviewer di berbagai Jurnal Bereputasi dan pernah mendapatkan berbagai penghargaan antara lain Dosen Berprestasi USU 2019, serta aktif diberbagai organisasi profesi yaitu Himpunan Kimia Indonesia, Himpunan Polimer Indonesia, Masyarakat Nano Indonesia, dan RSC. Penulis dapat dihubungi melalui email: riksonsiburian2000@yahoo.com dan rikson@usu.ac.id.



Kerista Tarigan lahir pada 3 Februari 1960 di Munte Kabupaten Karo. Anak ke-empat dari tujuh bersaudara dan satu-satunya pria dari pasangan keluarga Nampe Tarigan Sahing (almarhum) dengan ibu Naik beru Sitepu (almarhumah). Pendidikan, Sarjana (Drs.) lulusan dari Departemen Fisika USU thn 1984 bidang Energi, Magister Fisika (M.Eng.Sc.), lulusan dari Pascasarjana UI tahun 1989 program studi Opto Elektronika dan Aplikasi Laser (Kerjasama Universitas Indonesia dan TIT Jepang), dan Doktor (Dr.) lulusan USU dan kerjasama dengan Auburn University, USA dalam program Sandwich, lulus tahun 2009 dalam bidang Fisikokimia dengan topik Pembuatan dan Pembangkit Medan Elektrik Kuat Sebagai Sumber Pemicu Proses Electroporasi. Sampai sekarang, sudah mengabdikan selama 33 tahun sebagai staf pengajar di Departemen Fisika USU dan mengampu beberapa mata kuliah yakni, Elektronika Dasar, Sistem Kontrol, Fisika Matematik, Zat Padat, Fisika Komputasi serta sebagai staf ahli di Laboratorium Elektronika Dasar USU.

Keanggotaan organisasi profesi tercatat sebagai sekretaris Physical Society of Indonesia Cabang Sumut periode 2019-2024. Penghargaan yang telah diperoleh, sebagai Pemenang Pertama Pemakalah Fisika pada Semirata Tahun 2012 di Medan, sebagai *invited speaker* pada kegiatan ICTAP tahun 2019 dan sebagai anggota pada PUI Karbon USU periode 2019-2024. Penelitian yang telah dan akan di publikasi pada jurnal yang terindeks Scopus baik yang didanai oleh DRPM maupun Talenta USU dengan topik yang berorientasi pada pembuatan Instrumentasi, Komputasi dengan e-learning, Material dan Energi. Penelitian ke depan lebih mengkonstrasikan pemanfaatan grafene sebagai elektroda pada superkapasitor dan yang berhubungan dengan *renewable energy*.

*Pilar*

Jl. Pakisaji Gang 2A No 1 Denpasar  
Bali - Indonesia  
Tel. : +62-851-0122-4046  
Surel : pilarpublisher@gmail.com  
Situs : www.pilarpublisher.com

ISBN 978-623-91531-7-5



9 786239 153175