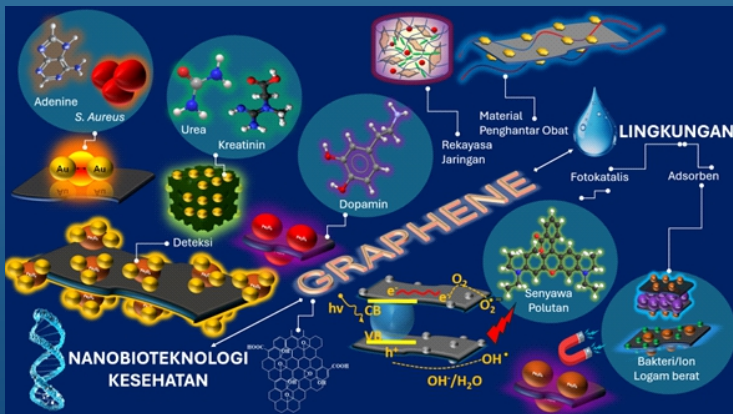




BRIN
BADAN RISET
DAN INOVASI NASIONAL

APLIKASI MATERIAL KOMPOSIT *NANOGRAPHENE* DALAM BIDANG **NANOBIOTEKNOLOGI** **KESEHATAN DAN LINGKUNGAN**

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU TEKNIK
BIDANG TEKNIK MATERIAL
KEPAKARAN NANOMATERIAL FUNGSIONAL**



OLEH:

ANDRI HARDIANSYAH

BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

**APLIKASI MATERIAL KOMPOSIT
NANOGRAPHENE DALAM BIDANG
NANOBIOTEKNOLOGI KESEHATAN
DAN LINGKUNGAN**

Diterbitkan pertama pada 2024 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: penerbit.brin.go.id



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution Non-commercial Share Alike 4.0 International license (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**APLIKASI MATERIAL KOMPOSIT
NANOGRAPHENE DALAM BIDANG
NANOBIOTEKNOLOGI KESEHATAN
DAN LINGKUNGAN**

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU TEKNIK
BIDANG TEKNIK MATERIAL
KEPAKARAN NANOMATERIAL FUNGSIONAL**

OLEH:
ANDRI HARDIANSYAH

Reviewer:
Prof. Dr. Yenny Meliana, M.Si.
Prof. Dr. Isnaeni, M.Sc.
Prof. Brian Yulianto, Ph.D.

Penerbit BRIN

© 2024 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Aplikasi Material Komposit *Nanographene* dalam Bidang Nanobioteknologi Kesehatan dan Lingkungan/Andri Hardiansyah–Jakarta: Penerbit BRIN, 2024.

ix + 111 hlm.; 14,8 × 21 cm

ISBN (e-book)

1. Nanomaterial
2. *Graphene*
3. Nanobioteknologi

620.118

Copy editor : Annisa' Eskahita Azizah
Proofreader : Rina Kamila
Penata Isi : Rina Kamila & Imam Setyawan
Desainer Sampul : S. Imam Setyawan & Rina Kamila

Cetakan : Desember 2024




Diterbitkan oleh:

Penerbit BRIN, Anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B. J. Habibie, Lt. 8, Jl. M.H. Thamrin No.8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340


Whatsapp: +62 811-1064-6770

E-mail: penerbit@brin.go.id

Website: penerbit.brin.go.id

 PenerbitBRIN

 @Penerbit_BRIN

 @penerbit.brin

DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS	1
PRAKATA PENGUKUHAN	5
I. PENDAHULUAN.....	7
II. PERKEMBANGAN SAINS DAN TEKNOLOGI MATERIAL KOMPOSIT <i>NANOGRAPHENE</i>	13
A. Sejarah dan Perkembangan Sains dan Teknologi Material berbasis <i>Graphene</i>	13
B. Karakteristik Material Berbasis <i>Graphene</i> , <i>Graphene</i> Oksida, <i>Reduced Graphene</i> Oksida dan Komposit <i>Nanographene</i>	16
C. Perkembangan dan Potensi Material Komposit <i>Nanographene</i> di Bidang Sensor	20
D. Perkembangan dan Potensi Material Komposit <i>Nanographene</i> di Bidang <i>Scaffolds</i> Rekayasa Jaringan.....	22
E. Perkembangan dan Potensi Material Komposit <i>Nanographene</i> di Bidang Material Pembawa Obat untuk Sistem Pengantaran Obat Tertarget	24
F. Perkembangan dan Potensi Material Komposit <i>Nanographene</i> di Bidang Lingkungan	26
III. RISET DAN PENGEMBANGAN MATERIAL KOMPOSIT <i>NANOGRAPHENE</i>	29
A. Riset Material Komposit <i>Nanographene</i> sebagai Sensor Molekul Penyusun DNA dan Bakteri	30
B. Riset Material Komposit <i>Nanographene</i> sebagai Sensor Molekul Penanda Penyakit	35
C. Riset Material Komposit <i>Nanographene</i> sebagai Material <i>Scaffolds</i> Rekayasa Jaringan untuk Penyembuhan Luka	39

D. Riset Material Komposit <i>Nanographene</i> sebagai Material Pembawa Obat untuk Sistem Pengantaran Obat Tertarget	44
E. Riset Material Komposit <i>Nanographene</i> sebagai Material Fotokatalis, Adsorben Ion Logam Berat dan Bakteri untuk Aplikasi Lingkungan.....	47
IV. PELUANG, PEMANFAATAN DAN TANTANGAN MATERIAL KOMPOSIT <i>NANOGRAPHENE</i> DI INDONESIA.....	57
A. Peluang dan Pemanfaatan	57
B. Tantangan.....	58
C. Rekomendasi Kebijakan dan Teknis.....	59
V. KESIMPULAN.....	61
VI. PENUTUP.....	63
UCAPAN TERIMA KASIH	67
DAFTAR PUSTAKA.....	71
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	83
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA.....	99
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur kimia <i>graphene</i> , <i>graphene</i> oksida, dan <i>reduced graphene</i> oksida	14
Gambar 3.1	Nanomaterial SERS berbasis (a) silika, emas, dan besi platina; (b) Komposit <i>nanographene</i> /PDDA; (c) spektrum deteksi bakteri <i>S. aureus</i> ; dan (d) spektrum deteksi adenin.....	33
Gambar 3.2	Skema (a) reaksi, (b) komposit <i>nanographene</i> variasi rasio Fe_3O_4 -Au 20:1, dan (c) spektrum sinyal Raman dari adenin, dan (d) spektrum sinyal <i>S. aureus</i>	34
Gambar 3.3	Skema (a) pereaksian komposit nano, (b) material komposit <i>nanographene</i> dengan Fe_3O_4 , (c) kurva siklik voltametri, dan (d) kurva kronoamperometri.....	37
Gambar 3.4	Material komposit <i>nanographene</i> dengan (a) PVA dan Aloe dan (b) SEM hidrogel	42
Gambar 3.5	(a) Material komposit <i>nanographene</i> dengan pluronik dan kitosan sebagai material pembawa obat (<i>drug carrier</i>), (b) sel MCF-7 yang telah diberikan komposit nano PF-127-Chi@MRGO.	46
Gambar 3.6	Skema pereaksian (a) komposit <i>nanographene</i> , (b) TEM GO, (c) TEM material komposit nano <i>graphene</i> - TiO_2 , (d) Variasi degradasi pada senyawa rhodamine 6G dan (e) skema proses fotokatali	50
Gambar 3.7	(a) Material GO, (b) material komposit nano <i>graphene</i> dengan Fe_3O_4 (MRGO), (c) Citra SEM material adsorben bakteri <i>S. aureus</i>) dan (d) efek HFMF terhadap bakteri.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Fisikokimia dari <i>graphene</i> , GO dan RGO.....	18
-----------	--	----

BIODATA RINGKAS



Andri Hardiansyah, lahir di Bandung, pada tanggal 13 November 1988 adalah anak ke 2 dari Bapak H. Herry Heryadi S.H (Alm) dan Ibu Hj. Ani Suryani, S.Pd.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 60/M Tahun 2023 tanggal 27 Desember 2023 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama terhitung mulai 1 Februari 2024.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor Nomor 247/I/HK/2024 tanggal 8 November 2024 yang bersangkutan melakukan orasi pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar SD Nugraha tahun 2000, Sekolah Menengah Pertama Negeri 3 Bandung tahun 2003, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 8 Bandung tahun 2006. Memperoleh gelar Sarjana Teknik Material dari Institut Teknologi Bandung tahun 2010 gelar Magister Ilmu dan Teknik Material dari Institut Teknologi Bandung tahun 2011 dan gelar Doktor bidang *Materials Science and Engineering College of Engineering* dari *National Taiwan University of Science and Technology* tahun 2015.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain: *Sakura Science Program*, Osaka, Jepang (2019), *Korean Insitute of Material Science* di Changwon, Korea Selatan (2019), *International Research Organization for Advanced Science and Technology* (IROAST), IROAST di Kumamoto, Jepang (2020), dan *Sejour Scientifique de Haut Niveau* (SSHN) di Rennes, Perancis (2021-2022).

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Muda golongan III/c tahun 2019, Peneliti Ahli Madya golongan IV/b tahun 2021, dan memperoleh jabatan Peneliti Ahli Utama bidang Material *Graphene* dan Nanomaterial Fungsional tahun 2024.

Menghasilkan 73 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak 73 KTI ditulis dalam Bahasa Inggris.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing jabatan fungsional peneliti pada Pusat Riset Sistem Nanoteknologi, pembimbing skripsi (S-1) pada Institut Teknologi Bandung, Universitas Padjajaran, Universitas Jendral Soedirman, Universitas Pertahanan, Universitas Pertamina, Universitas Prasetya Mulya, dan Institut Teknologi Sepuluh November, pembimbing tesis (S-2) pada Institut Teknologi Bandung, Institut Teknologi Sepuluh November, dan Universitas Padjajaran; pembimbing disertasi (S-3) pada Institut Teknologi Bandung.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu sebagai anggota Himpunan Peneliti Indonesia (2018-2021) dan Perhimpunan Periset Indonesia (2021 – sekarang).

Menerima tanda penghargaan *Merck Young Scientist Award* tahun 2021.

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assalaamu 'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional yang mulia dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah SWT atas orasi ilmiah pengukuhan Profesor Riset di Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya pada tanggal 11 Desember 2024 menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

**“APLIKASI MATERIAL KOMPOSIT
NANOGRAPHENE DALAM BIDANG
NANOBIOTEKNOLOGI KESEHATAN DAN
LINGKUNGAN”**

Pada orasi ini, akan disampaikan *state of the art* tentang perkembangan, peluang, pemanfaatan, dan tantangan aplikasi material komposit *nanographene* khususnya pada bidang nanobioteknologi kesehatan sebagai sensor molekul DNA,

bakteri, molekul penanda penyakit, rekayasa jaringan, material pembawa obat dan material untuk merehabilitasi lingkungan. Penemuan tersebut dapat memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai eksplorasi sifat material komposit *nanographene* sehingga bisa dimanfaatkan untuk pengembangan dan hilirisasi sistem dan perangkat nanoteknologi berbasis material komposit *nanographene*.

I. PENDAHULUAN

Peningkatan kompleksitas masalah dan tantangan di bidang kesehatan dan lingkungan meliputi bidang nanobioteknologi kesehatan seperti peningkatan kebutuhan material dan perangkat untuk pendeteksian molekul penyusun DNA, bakteri dan molekul penanda penyakit secara cepat dan efektif; material *scaffolds* untuk rekayasa jaringan yang dapat merekonstruksi sel dan jaringan dengan efisien; material pembawa obat untuk sistem penghantaran obat tertarget; dan material untuk merehabilitasi lingkungan memerlukan riset dan inovasi yang tepat. Penemuan dan pengembangan metode serta teknologi di bidang tersebut sampai saat ini masih didominasi oleh material serta metode konvensional. Sedangkan untuk material maju fungsional khususnya nanomaterial masih belum banyak dieksplorasi dan diaplikasikan ke arah hilirisasi untuk dijadikan material maupun perangkat teknologi. Padahal, nanomaterial fungsional memiliki variasi bentuk dan karakteristik yang beragam dan unggul.

Nanomaterial merupakan material dengan dimensi 1-100 nanometer yang terbagi menjadi beberapa dimensi diantaranya bentuk tiga dimensi seperti struktur nano (*nanostructures*) (Hermawan et al., 2023; Septiani et al., 2022; Wulan Septiani et al., 2024), dua dimensi seperti lapisan, *graphene*, maupun *nanoplatelet*, satu dimensi seperti serat nano (*nanofibers*) (Cheng et al., 2024), *nanotube*, dan *nanowire* serta nol dimensi

seperti *quantum dots*. Jenis nanomaterial dapat dibagi menjadi nanomaterial organik, inorganik dan karbon (Baig et al., 2021).

Nanomaterial karbon mendapat perhatian khusus karena memiliki karakter unik dan potensial seperti sifat fisikokimia yang unggul, luas permukaan yang tinggi dan dapat difungsionalisasi oleh beragam gugus fungsi, potensi sumber prekursor yang dapat diperbaharui, serta memiliki kadar toksisitas yang relatif rendah. Beberapa jenis nanomaterial karbon diantaranya adalah karbon *quantum dot*, grafit, *carbon nanotube*, dan *graphene* (X. Huang et al., 2011).

Material berbasis *graphene* merupakan contoh nanomaterial karbon dua dimensi dengan morfologi berbentuk lembaran tipis. Material ini dapat difabrikasi dari material grafit yang sehari-hari ditemui sebagai bahan pengisi pensil. Beberapa jenis material berbasis *graphene* diantaranya adalah *graphene* oksida (GO), *reduced graphene* oksida (RGO), *graphene quantum dots*, *graphene nanoplatelets* dan material komposit *nanographene* (Aditya & Hardiansyah, 2022; Hardiansyah, Aditya, et al., 2022; Harito, Zaidi, et al., 2022).

Material komposit *nanographene* adalah material berbasis *graphene* seperti GO atau RGO yang dimodifikasi dengan penambahan material atau molekul lain (Smith et al., 2019) untuk meningkatkan sifat dan performanya. Penambahan material bisa dilakukan melalui pereaksian dengan nanomaterial lain seperti nanomaterial plasmonik (nanomaterial emas maupun perak),

nanomaterial magnetik seperti besi oksida (Fe_3O_4), maupun nanomaterial semikonduktor. Pereaksian juga dapat dilakukan dengan teknik doping atom (*atomic doping*) maupun modifikasi dengan material polimer (Hardiansyah, Budiman, Yudasari, et al., 2021; Hardiansyah et al., 2023, 2024; Hardiansyah, Randy, et al., 2022; Sonda et al., 2023).

Aplikasi material komposit *nanographene* untuk nanobioteknologi kesehatan dan lingkungan dapat menjadi salah satu pilar pendukung sistem kesehatan dan lingkungan di Indonesia yang secara regulatif telah diamankan oleh Pemerintah Indonesia melalui Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2023 tentang kesehatan pada Pasal 3 huruf f yang mengamanatkan bahwa penyelenggaraan kesehatan bertujuan mewujudkan pengembangan dan pemanfaatan teknologi kesehatan meliputi segala bentuk alat, produk, dan/atau metode yang ditujukan untuk membantu menegakkan diagnosis, pencegahan, dan penanganan permasalahan kesehatan manusia yang berkelanjutan. Hal ini juga sejalan dengan fokus riset dalam Rencana Induk Riset Nasional (RIRN) tahun 2017-2045 yang dijabarkan dalam perencanaan teknis pada Prioritas Riset Nasional (PRN) 2020-2024 terkait fokus riset rekayasa keteknikan yang mencakup pengembangan material maju untuk kesehatan dan fokus riset multidisiplin dan lintas sektoral yang ditujukan untuk melakukan kegiatan riset yang dinilai penting untuk menjawab beragam persoalan dan isu-isu strategis nasional yang membutuhkan pendekatan dari berbagai disiplin ilmu dan sektor.

Di bidang lingkungan, secara regulatif Pemerintah Indonesia telah menerbitkan berbagai regulasi dan undang-undang lingkungan diantaranya Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yang mengatur secara tegas mengenai pengelolaan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), termasuk zat warna, serta sanksi yang akan dikenakan bagi yang melanggar ketentuan tersebut.

Berdasarkan hal tersebut, kelompok penelitian material fungsional dimensi rendah LIPI yang kemudian bertransformasi menjadi Pusat Riset Sistem Nanoteknologi BRIN, memfokuskan kegiatan risetnya pada eksplorasi struktur, sifat dan pemrosesan nanomaterial fungsional maju. Kelompok Riset Nanokarbon Fungsional secara khusus melakukan eksplorasi nanomaterial berbasis karbon yaitu *graphene* dan turunannya melalui beragam teknik sintesis untuk beragam aplikasi.

Berdasarkan latar belakang permasalahan serta potensi komposit *nanographene*, dalam satu dekade terakhir beragam material berbasis *graphene* dan turunannya telah berhasil disintesis dan dikembangkan dengan beragam teknik untuk membentuk material komposit *nanographene* sebagai sensor molekul penyusun DNA, bakteri dan molekul penanda penyakit, material *scaffolds* rekayasa jaringan, material pembawa obat untuk sistem pengantaran obat tertarget, dan material fotokatalis dan adsorben limbah atau bakteri untuk aplikasi lingkungan.

Riset serta inovasi dalam pengaplikasian material komposit *nanographene* diharapkan bisa menjadi strategi dan solusi untuk mendapatkan kandidat nanomaterial fungsional dengan karakteristik dan performa unggul serta dapat digunakan sebagai komponen perangkat maupun sistem teknologi untuk mengatasi permasalahan di bidang nanobioteknologi kesehatan dan lingkungan.

Naskah orasi ini memaparkan perkembangan sains dan teknologi material komposit *nanographene*, riset dan aplikasi material komposit *nanographene* untuk sensor, material *scaffolds*, material pembawa obat, dan material untuk rehabilitasi lingkungan, serta peluang, pemanfaatan, tantangan serta rekomendasi kebijakan dan teknis terkait dengan pengembangan material komposit *nanographene* di Indonesia, yang akan disampaikan pada Bab II-IV.

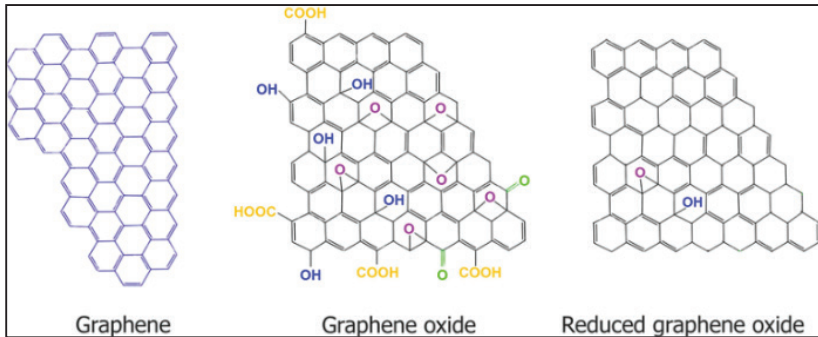
II. PERKEMBANGAN SAINS DAN TEKNOLOGI MATERIAL KOMPOSIT *NANOGRAPHENE*

Pada Bab II ini akan disampaikan sejarah dan perkembangan sains dan teknologi material komposit *nanographene*, sifat dan karakteristik material komposit *nanographene*, riset yang sudah dilakukan di masa lalu, masa kini dan prospeknya di masa mendatang khususnya pada aplikasi bidang nanobioteknologi kesehatan dan lingkungan.

A. Sejarah dan Perkembangan Sains dan Teknologi Material berbasis *Graphene*

Perkembangan aktivitas saintifik terkait riset material komposit *nanographene* merupakan bagian integral yang tidak terpisahkan dari perkembangan nanomaterial karbon. Secara umum, material berbasis *graphene* dapat diklasifikasikan menjadi *graphene*, *graphene* oksida (GO) maupun *reduced graphene* oksida (RGO) (Geim & Novoselov, 2007; Singh et al., 2011). Pada Gambar 2.1 ditunjukkan bahwa *graphene* tersusun atas atom karbon heksagonal, GO terdapat banyak gugus fungsi berbasis oksigen, sedangkan pada RGO hanya terdapat sedikit gugus fungsi berbasis oksigen.

Pengembangan awal terkait GO dan *graphite intercalation compound* (GIC) dapat ditelusuri kembali pada tahun 1840. Saat itu, ilmuwan Jerman Schafhaeutl melaporkan interkalasi yaitu penyisipan spesies molekul kecil, seperti logam asam atau alkali



Sumber: Fallahazad (2023)

Gambar 2.1 Struktur kimia *graphene*, *graphene* oksida, dan *reduced graphene* oksida

di antara lamela karbon dan pengelupasan grafit dengan asam sulfat dan nitrat yang dikemudian hari dikenal dengan grafit oksida yang merupakan salah satu bentuk turunan material berbasis *graphene* (Dimiev, 2016).

Pembentukan grafit oksida pertama kali dideskripsikan oleh Brodie tahun 1855 dalam *Annales de Chimie* di Perancis yang kemudian dilanjutkan pada tahun 1859, dengan mensintesis grafit oksida untuk memastikan berat molekul grafit. Pada 1865, Gottschalk mendeskripsikan grafitik asam sebagai konfirmasi atas riset Brodie dan pada 1898, Staudenmaier melakukan invensi untuk mendapatkan metode yang lebih aman dalam preparasi grafit oksida. Selanjutnya, tahun 1918, Kohlschütter dan Haenni melakukan analisis mengenai perilaku reaksi pada grafit oksida serta membahas korelasi struktur antara grafit dan GO, data mengenai pembentukan GO, dekomposisi termal dan reduksi kimia dan produk yang dihasilkannya (Dimiev, 2016; Eigler & Dimiev, 2016).

Perkembangan riset GO memasuki periode baru seiring dengan perkembangan teknik karakterisasi yang lebih mutakhir. Investigasi pada sifat struktural grafit oksida dilakukan oleh Bernal menggunakan pengukuran difraksi kristal tunggal pada tahun 1924. Pada 1928 dan 1930, Hofmann dan Frenzel menggunakan teknik *X-Ray Diffraction* (XRD) yang kemudian merekonstruksi model struktur GO. Analisis mengenai model struktur GO juga dilakukan oleh Thiele, Scholz, dan Boehm. Sifat elektronik grafit pertama kali diselidiki oleh Wallace dan dia memperkenalkan ide *graphene* pada tahun 1947. Ruess dan Vogt berhasil mendeteksi beberapa lapisan grafit melalui *Transmission Electron Microscope* (TEM). Pada tahun 1957, Hummers dan Offeman mengembangkan metode baru yang lebih aman dan efisien daripada metode Brodie, dalam pembuatan grafit oksida. Selanjutnya, dikembangkan gagasan tentang lembaran grafit satu lapis, yang awalnya dijelaskan oleh Boehm pada tahun 1962 dan oleh beberapa fisikawan teoretis. Lebih lanjut, pada tahun 1969, terdapat perkembangan model struktur *graphene* oksida oleh Scholz dan Boehm, serta pada 1989-1991 dilakukan pengembangan analisis dengan menggunakan *magic angle spinning nuclear magnetic resonance* (MAS NMR) (Dimiev, 2016; Eigler & Dimiev, 2016; Lerf, 2016).

Perkembangan pesat riset material berbasis *graphene* menguat pada tahun 2004-2010 dengan penemuan proses pengelupasan (eksfoliasi) dan isolasi *graphene* lapisan tunggal (*monolayer*) yang stabil oleh Andre Geim dan Konstantin Novoselov (Geim & Novoselov, 2007) yang kemudian dikenal dengan Era *Graphene*. Penemuannya berhasil membuat lembaran *graphene*

melalui teknik selotip atau *scotch-tape* dengan menggunakan selotip yang ditempelkan pada *highly oriented pyrolytic graphite* (HPOG) dan dilepaskan secara berulang hingga menghasilkan lembaran *graphene* dengan ketebalan satu atau beberapa lapisan. Penemuan material dua dimensi *graphene* dan teknik pembuatannya ini membuat Geim dan Novoselov diberi Penghargaan Nobel pada tahun 2010. Penemuan ini kemudian menginspirasi rekonstruksi dan pendekatan baru terkait proses reduksi GO menjadi lembaran *graphene* dengan teknik yang murah dan mudah (Geim & Novoselov, 2007).

Saat ini pengembangan material berbasis komposit *nanographene* berfokus pada penggunaan GO, RGO, maupun *graphene quantum dots* sebagai prekursor melalui eksplorasi teknik pemrosesan, jenis prekursor, penggunaan nanomaterial lainnya, serta perkembangan dan penggalian potensi material komposit *nanographene* termasuk aplikasinya pada berbagai bidang termasuk di bidang nanobioteknologi kesehatan dan lingkungan (Ahmad et al., 2024; Chen et al., 2012; Thomas et al., 2013).

B. Karakteristik Material Berbasis *Graphene*, *Graphene* Oksida, *Reduced Graphene* Oksida dan Komposit *NanoGraphene*

Graphene merupakan nanomaterial karbon dua dimensi yang terdiri atas atom-atom karbon yang membentuk lapisan tipis setebal satu atom dengan susunan membentuk pola segi enam. *Graphene* memiliki karakter unggul seperti konduktivitas termal yang tinggi ($\sim 5000 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$), efek ruang kuantum (*quantum-hall effect*), sifat mekanis yang baik dengan modulus *Young* (1

TPa) dan kekuatan intrinsik sebesar 130 GPa, transmitansi optik yang tinggi (~2,3% terhadap cahaya tampak), serta transpor elektronik yang tinggi (Huang et al., 2011; Mohan et al., 2018; Singh et al., 2011).

Produksi *graphene* satu lapisan (*monolayer*) dapat dilakukan dengan eksfoliasi mekanik dari grafit. Namun, metode ini kurang cocok untuk produksi skala besar karena hasil yang didapatkan sangat terbatas (Mohan et al., 2018). Untuk itu, pada saat ini, pengembangan *graphene* berfokus pada pengembangan material turunan dari *graphene* seperti GO dan RGO dengan beragam cara seperti teknik interkalasi kimia, reduksi kimiawi, ekspansi termal, reaksi oksidasi-reduksi, penggunaan surfaktan, dan teknik gabungan lainnya yang dapat menghasilkan hasil sintesis yang jauh lebih banyak (Geim & Novoselov, 2007; Hardiansyah, Aditya, et al., 2022)

GO merupakan hasil oksidasi dari grafit yang memiliki struktur karbon segienam yang mirip dengan *graphene* dengan tambahan gugus fungsi oksigen seperti epoksi, hidroksil, alkoksi, karbonil, dan karboksil yang tersebar pada permukaannya. Model struktur kimia GO telah banyak diusulkan diantaranya model Lerf–Klinowski dan Dékány, Nakajima–Matsuo, Hofmann, Ruess, dan Scholz–Boehm (Chua & Pumera, 2014). GO memiliki sifat seperti kelarutan yang tinggi pada air, bersifat resistif dengan konduktivitas listrik sebesar , dan konduktivitas panas sebesar . GO dapat disintesis secara *bottom-up* dan *top-down* (Dreyer et al., 2010; Hardiansyah, Aditya, et al., 2022; Zhu et al., 2010).

Untuk melakukan modifikasi sifat GO terutama konduktivitas, dikembangkan teknik reduksi GO menjadi RGO. Reduksi secara termal, kimia, atau elektrokimia menyebabkan gugus fungsi oksigen akan terlepas dari struktur GO. Faktor-faktor yang dipertimbangkan dalam mendesain reduksi GO adalah rasio karbon dengan oksigen dari RGO, selektivitas pada penghilangan gugus oksigen tertentu, pemulihan cacat akibat oksidasi, serta fisis dan kimia dari GO.

Tabel 2.1 menunjukkan karakteristik fisikokimia dari *graphene*, GO dan RGO.

Tabel 2.1 Karakteristik Fisikokimia dari *graphene*, GO dan RGO

Sifat	<i>Graphene</i>	GO	RGO
Mobilitas elektron (pada temperatur ruang) ($\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$)	~200.000– 250.000	0.1–10	2–200
Luas Permukaan ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)	2.630	736,6	466–758
Konduktivitas Termal ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	~5.000	0.5–18	1.390– 2.275
Kapasitansi Spesifik (Tergantung pada Voltametri Siklik) (F g^{-1})	550	215–255	210–425
Konduktivitas Elektrik (tergantung pada teknik reduksi) (S m^{-1})	~ 6×10^8	Homoptera, Hemiptera	102–103

Sumber: Fahmi et al (2020)

GO dan RGO memiliki struktur dan morfologi yang berpotensi untuk dijadikan sebagai prekursor komposit *nanographene* (Aditya & Hardiansyah, 2022) serta memiliki banyak situs aktif gugus fungsional dan luas area yang tinggi sehingga dapat dieksplorasi sebagai situs reaksi atau untuk penambatan nanopartikel, molekul, bahan nano anorganik, partikel polimer atau biomolekul. (Aditya & Hardiansyah, 2022; Smith et al., 2019).

Pada material komposit *nanographene*, material berbasis *graphene* seperti GO maupun RGO direaksikan maupun dimodifikasi dengan beragam material dan nanomaterial sehingga memiliki fungsionalitas yang lebih luas (Harito, Zaidi, et al., 2022). Sifat dan karakter material komposit *nanographene* akan sangat ditentukan oleh material-material penyusun dari komposit *nanographene* tersebut. Hal ini kemudian akan dijadikan dasar penggunaan aplikasi dari material komposit *nanographene* tersebut.

Pendekatan rekayasa pada sifat dan karakter material GO dan RGO terutama dilakukan pada permukaan dan gugus kimia fungsionalnya sehingga membuka peluang dan potensi pengembangan material berbasis komposit *nanographene* (Hardiansyah et al., 2018, 2024), untuk beragam aplikasi seperti katalis (Hardiansyah, Budiman, Utomo, et al., 2021; Peng et al., 2022; Yudasari et al., 2023), sensor (Hardiansyah et al., 2023; Juang et al., 2024; Mevold et al., 2015; Sonda et al., 2023) dan biomaterial (Hanif et al., 2021; Hardiansyah, Randy, et al., 2022; Harito, Khalil, et al., 2022).

C. Perkembangan dan Potensi Material Komposit *Nanographene* di Bidang Sensor

Perkembangan dan penggalian potensi material komposit *nanographene* di bidang sensor erat kaitannya dengan eksplorasi struktur dan permukaannya yang mudah difungsionalisasi, sifat optik, elektrik dan listrik sehingga menampilkan potensi strategis pada bidang deteksi (sensor) kesehatan (biosensor) terutama untuk material sensor DNA, bakteri dan molekul penanda penyakit.

Pengembangan sensor di masa lalu dimulai dengan pengembangan elektrode berbasis enzim yang dimulai oleh Leland C. Clark tahun 1962. Pengembangan selanjutnya mengarah pada sensor non-enzim yang salah satunya berbasis elektrokimia. Biosensor berbasis elektrokimia menarik perhatian karena tidak membutuhkan reagen enzim dan dapat mendeteksi analit uji tanpa merusak sistem. Fokus utama dari biosensor ini adalah interaksi antara permukaan elektrode dengan analit (Kuila et al., 2011).

Beragam nanomaterial seperti nanopartikel logam, nanopartikel paduan logam, nanopartikel magnet, *nanowires*, *carbon nanotube* (CNT), dan *carbon nanofibers* telah digunakan sebagai konektor elektrik antara elektrode dan pusat redoks dari biomolekul. Namun demikian, penggunaan nanopartikel logam sebagai biosensor adalah problematik karena inkonsistensi dari amplifikasi sinyal. Sedangkan, penggunaan *CNT* memiliki permasalahan akibat adanya pengotor logam pada *CNT* yang memiliki efek pada reaksi elektrokimia (Kuila et al., 2011).

Eksplorasi *graphene* pada tahun 2004 membuka era baru pada pengembangan biosensor berbasis elektrokimia yang dapat menjadi solusi atas penggunaan material sebelumnya. Material *graphene* memiliki sifat unik seperti proses transportasi elektron yang cepat, konduktivitas termal yang tinggi, fleksibilitas mekanik yang baik, biokompatibilitas yang baik (Kuila et al., 2011), serta struktur dan luas permukaan yang tinggi sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi molekul aromatik dan DNA untai tunggal secara selektif melalui interaksi penumpukan π - π dengan memanfaatkan luas permukaannya yang besar dan atom karbon berikatan sp^2 . Hal ini dapat memfasilitasi sensitivitas yang tinggi dan miniaturisasi perangkat (Chen et al., 2012).

Selain biosensor berbasis elektrokimia, teknik lainnya yang mendapat perhatian dewasa ini adalah teknik *Surface-enhanced Raman scattering* (SERS). Di masa awal pengembangannya pada tahun 1977, teknik SERS menggunakan material substrat berupa permukaan perak yang kasar. Teknik ini sangat sensitif untuk mendeteksi molekul dengan konsentrasi rendah, termasuk DNA, mikroRNA, protein, darah, dan bakteri; deteksi dan identifikasi sel tunggal; pencitraan biologi; dan diagnosis penyakit, sehingga memberikan banyak informasi struktural untuk analit biologis (Liang et al., 2021). Teknik ini memanfaatkan hamburan sinyal Raman dari suatu molekul pada suatu sistem substrat material tertentu (Hardiansyah, Chen, et al., 2015; M.-C. Yang et al., 2022).

Perkembangan teknologi deteksi berbasis SERS saat ini bergerak pada penggunaan material komposit *nanographene*

sebagai substrat dari nano logam emas maupun perak yang digunakan untuk mengoptimasi sifat optik pada *electromagnetic mechanism* (EM) dan *chemical mechanism* (CM) dalam meningkatkan kinerja sinyal Raman pada sistem deteksi berbasis SERS (Juang et al., 2024; Mevold et al., 2015; Peng et al., 2022).

Perkembangan di masa depan untuk material komposit *nanographene* untuk aplikasi pada bidang sensor adalah dengan melakukan modikasi dan penelusuran material dengan sensitivitas yang tinggi untuk dikompositkan dengan material berbasis *graphene*.

D. Perkembangan dan Potensi Material Komposit *Nanographene* di Bidang *Scaffolds* Rekayasa Jaringan

Perkembangan dan penggalan potensi material komposit *nanographene* di bidang *scaffolds* rekayasa jaringan erat kaitannya dengan eksplorasi struktur serta modifikasi permukaan dengan material polimer serta sifat biologi sehingga menampilkan potensi strategis pada bidang *scaffolds* rekayasa jaringan.

Perkembangan rekayasa jaringan (*tissue engineering*) di masa lalu tidak bisa terlepas dari penelitian yang dilakukan oleh Dr. Vacanti pada pertengahan tahun 1980 yang menggunakan polimer sintetik yang *biocompatible* dan *biodegradable* untuk rekayasa jaringan (Vacanti, 2006). Namun demikian, masih terdapat tantangan akan pemenuhan kebutuhan *scaffolds* dengan karakteristik yang menyerupai matriks jaringan sesungguhnya (X. Zheng et al., 2021).

Nanomaterial karbon seperti CNT maupun material berbasis *graphene* merupakan kandidat penting untuk pengembangan *scaffolds* dalam rekayasa jaringan. Secara umum, *scaffolds* buatan harus memiliki karakter fisikokimia yang mirip dengan *extracellular matrix* (ECM). Nanomaterial karbon memiliki karakter fisik yang analog dengan ECM yang didukung oleh karakter mekanik dan elektrik dari nanomaterial karbon (Ku et al., 2013).

Penelitian terkait material berbasis *graphene* seperti GO dan RGO, yang telah dilakukan saat ini membuktikan sistem adhesi dan pertumbuhan sel mamalia seperti *human mesenchymal stem cells* (hMSCs), *human osteoblasts*, *fibroblasts*, dan *adenocalcinoma cells* (Ku et al., 2013). GO secara umum meningkatkan regulasi proliferasi dan diferensiasi sel sekunder dan sel induk (*stem cells*) yang dikultur. Pada aspek mekanis, gugus karboksil, hidroksil, dan epoksi akan meningkatkan interaksi antarmuka antara GO dan matriks polimer yang memfasilitasi transfer tegangan dari matriks polimer ke GO. Rasio aspek yang besar, kekuatan tinggi, dan modulus GO yang tinggi juga berkontribusi terhadap sifat mekanik komposit *nanographene* dengan modifikasi polimer. Hal ini akan meningkatkan performa komposit *nanographene* terutama untuk aplikasi *scaffolds* rekayasa jaringan (Amiryaghoubi et al., 2022).

Perkembangan saat ini menunjukkan bahwa material komposit *nanographene* yang termodifikasi polimer akan menampilkan kenaikan sifat biokompatibilitas dan mekaniknya

sehingga berpotensi besar digunakan pada bidang rekayasa jaringan (Hanif et al., 2021). Polimer alam merupakan polimer yang tersedia dari alam yang bersifat *biodegradable*, tidak beracun, kemampuan proses yang baik, dan sifat terbarukan dibandingkan dengan polimer sintetik (Ege et al., 2017).

Perkembangan di masa depan untuk material komposit *nanographene* untuk aplikasi pada bidang *scaffolds* rekayasa jaringan adalah dibutuhkan modifikasi serta perekayasaan struktur dan morfologi yang menyerupai dengan jaringan tubuh. Selain itu aspek toksisitas dari nanomaterial perlu untuk dilakukan pengkajian lebih intensif.

E. Perkembangan dan Potensi Material Komposit *Nanographene* di Bidang Material Pembawa Obat untuk Sistem Pengantaran Obat Tertarget

Perkembangan dan penggalan potensi material komposit *nanographene* di bidang material pembawa obat erat kaitannya dengan eksplorasi struktur permukaan, gugus fungsi, serta sifat biologi sehingga menampilkan potensi strategis pada bidang material pembawa obat.

Perkembangan sistem penghantaran obat di masa lalu didominasi oleh nanomaterial berbasis lemak, seperti liposomes dan turunannya, mikro gel serta polimer (Hardiansyah et al., 2017, 2019; Hardiansyah, Huang, et al., 2015; Kuo et al., 2017; Kuo, Liu, Chan, et al., 2016).

Material GO merupakan bentuk teroksidasi dari *graphene* dengan gugus fungsi hidroksil, epoksida, diol, keton, dan karboksil pada permukaannya. Kehadiran oksigen pada tepi dan bidang GO meningkatkan sifat hidrofilisitasnya dan dispersibilitas airnya dibandingkan dengan *graphene*. Sifat unggul inilah yang menjadikan material berbasis *graphene* berpotensi digunakan dalam sistem penghantaran obat (Dreyer et al., 2010; Zhu et al., 2010).

Perkembangan material komposit nano di bidang *drug carrier* mengalami kemajuan signifikan sejak laporan penting tentang penggunaan GO sebagai *nanocarrier* yang efisien untuk penghantaran obat oleh Dai dkk tahun 2008 (Sun et al., 2008), yang merupakan studi pertama tentang *graphene* untuk aplikasi biomedis. Terinspirasi oleh ide pemberian obat berbasis karbon *nanotube* Dai et al. mengeksplorasi untuk pertama kalinya GO skala nano sebagai *nanocarrier* baru yang efisien untuk pengiriman obat antikanker aromatik yang tidak larut dalam air ke dalam sel. Beragam jenis obat juga sudah dimasukkan ke dalam sistem berbasis *nanographene* seperti *doxorubicin* (DOX), *camptothecin* (CPT), SN38, *ellagic acid*, β -*lapachone* (β -*lapachone*) dan *3-bis-(chloroethyl)-1-nitrosoreta* (BCNU)(S. Zheng et al., 2022).

Material GO juga memiliki karakter tidak beracun dan bersifat biokompatibel pada konsentrasi rendah. Luas permukaan yang tinggi dan area karbon hibridisasi sp^2 menjadikannya pembawa obat yang efisien untuk memuat sejumlah besar molekul obat di kedua sisi lembaran sehingga menawarkan kapasitas dan

fleksibilitas untuk keperluan *drug loading*, *drug transport*, dan *targeted drug* (Liu et al., 2013). Selain itu, gugus-gugus fungsi yang mengandung oksigen membuatnya bersifat lebih hidrofilik sehingga memiliki tingkat dispersibilitas yang baik di lingkungan air. Gugus fungsi tersebut juga akan mempermudah modifikasi dengan *targeting ligand* yang memfasilitasi untuk *bio-imaging* dan sistem penghantaran obat (Y. Yang et al., 2013).

Perkembangan di masa depan untuk material komposit *nanographene* untuk aplikasi pada bidang biomedik maupun biomaterial, diperlukan suatu pendekatan modifikasi dengan material lain seperti polimer alam maupun sintetik dapat dilakukan terhadap *graphene* untuk dapat meningkatkan biokompatibilitasnya, mengurangi sitotoksitas, meningkatkan efek diagnosis, meningkatkan efek dalam pemberian obat, *bio-imaging*, terapi fototermal dan *chemotherapy* (Hardiansyah, Randy, et al., 2022).

F. Perkembangan dan Potensi Material Komposit *Nanographene* di Bidang Lingkungan

Perkembangan dan penggalan potensi material komposit *nanographene* di bidang lingkungan erat kaitannya dengan eksplorasi struktur permukaan, gugus fungsi, serta sifat optik sehingga menampilkan potensi strategis pada bidang lingkungan.

Perkembangan fotokatalis dimulai pada periode 1960an melalui penemuan penghilangan polutan secara fotokatalitik, peristiwa penting dalam teknologi fotokatalitik, dan mekanisme fotokatalis untuk menghilangkan polutan air. Pada periode 1994-

2000, perkembangan mengarah pada mekanisme degradasi fotokatalitik, studi pendahuluan pada titanium dioksida yang dimodifikasi (misalnya, sensitisasi pewarna, doping ion logam, fotokatalis komposit), dan permasalahannya (misalnya, aktivitas fotokatalitik yang rendah dan pemanfaatan tenaga surya (Long et al., 2020).

Pada periode 2001-2010, terdapat penerapan nanoteknologi, pengembangan metode modifikasi berbasis TiO_2 (misalnya doping non-logam, kontrol morfologi, dan heterojungsi semikonduktor) dan fotokatalis berbasis non- TiO_2 (misalnya ZnO , WO_3 , BiVO_4 , BiOCl , $g\text{-C}_3\text{N}_4$), serta masalah dan peluang (misalnya daur ulang, fotokatalis yang digerakkan oleh cahaya tampak, dan polutan yang muncul) yang timbul dari pengembangan tersebut. Pada periode 2011-sekarang, perkembangannya mengarah pada fotokatalis berbasis plasmon, fotokatalis kerangka logam-organik, desain fotokatalis, sistem penggabungan fotokatalitik (misalnya fotoelektron-katalitik), dan permasalahan yang ada (misalnya toksisitas produk antara serta aplikasi praktis) (Long et al., 2020).

Material komposit nano GO memiliki karakter permukaan dan sifat optik yang menjadikannya berpotensi untuk meningkatkan kapasitas reaksi adsorpsi dan fotokatalis. Interaksi yang terjadi antara adsorbat misalnya ion logam beracun, zat warna, organik, bakteri maupun molekul dengan GO meliputi interaksi fisik, elektrostatis, kimia, interaksi berbasis gugus fungsi, serta interaksi penumpukan $\pi\text{-}\pi$ antara lembaran *graphene* dengan polutan organik yang mengandung struktur aromatik, yang

dapat berkontribusi terhadap peningkatan adsorpsi substrat reaksi (Hardiansyah, Budiman, Yudasari, et al., 2021; Sampora et al., 2022).

Perkembangan saat ini dalam bidang fotokatalis diantaranya adalah dengan mengelaborasi komposit *nanographene* dengan bahan semikonduktor seperti titanium oksida (TiO_2) berpotensi untuk meningkatkan efek fotokatalis dan efek penyerapan (absorpsi) pada reaksi penyerapan dan penguraian senyawa atau molekul organik berbahaya. (Hardiansyah, Budiman, Utomo, et al., 2021).

Perkembangan di masa depan untuk material komposit *nanographene* untuk aplikasi pada bidang lingkungan, diperlukan suatu pendekatan modifikasi dengan material lain (Hardiansyah, Budiman, Utomo, et al., 2021; Sampora et al., 2022).

III. RISET DAN PENGEMBANGAN MATERIAL KOMPOSIT *NANOGRAPHENE*

Riset dan pengembangan nanomaterial dan material komposit *nanographene* telah menjadi bagian dari perjalanan riset sejak tahun 2012. Berbagai pendekatan sumber prekursor, dan teknik pemrosesan telah dilakukan diantaranya eksplorasi sumber prekursor baik dari sumber bahan sintetik, biomassa maupun limbah industri (Hardiansyah et al., 2018) sehingga dapat dimodifikasi menjadi berbagai variasi *graphene* lainnya (Lesiak et al., 2021).

Penelitian dan pengembangan juga telah dilakukan melalui eksplorasi teknik sintesis yang mudah dan efisien. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknik sintesis berpengaruh pada karakter struktur, morfologi, dan kondisi kompartemen di permukaan material seperti jenis, jumlah dan lokasi gugus fungsi (Hardiansyah, Aditya, et al., 2022). Penelitian dan pengembangan riset juga telah dilakukan melalui rekayasa gugus fungsionalitas terutama yang berbasis oksigen sehingga dapat diatur sesuai dengan kebutuhan dan aplikasi melalui pereaksian ataupun modifikasi dengan material lainnya (Aditya & Hardiansyah, 2022).

Penelitian dan pengembangan material komposit *nanographene* dilakukan untuk dapat menjadi strategi solusi atas beragam tantangan di bidang kesehatan dan lingkungan. Pengembangan material dan perangkat yang berbasis

nanoteknologi merupakan salah satu upaya strategis dalam mengantisipasi dan mengatasi permasalahan yang dihadapi.

Berkaitan dengan hal tersebut, Kelompok Riset Nanokarbon Fungsional yang berada di bawah Pusat Riset Sistem Nanoteknologi sudah banyak melakukan penelitian mengenai material komposit *nanographene* serta penggalan potensinya untuk bidang nanobioteknologi kesehatan dan lingkungan.

Riset-riset tersebut terbagi menjadi lima kelompok besar, yaitu (1) riset material komposit *nanographene* sebagai sensor molekul penyusun DNA dan bakteri; (2) riset material komposit *nanographene* sebagai sensor molekul penanda penyakit; (3) riset material komposit *nanographene* sebagai material *scaffolds* rekayasa jaringan untuk penyembuhan luka; (4) riset material komposit *nanographene* sebagai material pembawa obat untuk sistem pengantaran obat tertarget, dan (5) riset material komposit *nanographene* sebagai material fotokatalis dan adsorben limbah dan bakteri untuk lingkungan.

Berikut ini disampaikan saripati hasil riset tersebut beserta peluang pemanfaatannya di masa mendatang.

A. Riset Material Komposit *Nanographene* sebagai Sensor Molekul Penyusun DNA dan Bakteri

Pada subbab ini akan dibahas mengenai beragam nanomaterial dan komposit *nanographene* yang sudah dikembangkan dan digunakan untuk mendeteksi molekul penyusun DNA (adenin)

dan bakteri (Hardiansyah, Chen, et al., 2015; Juang et al., 2024; Mevold et al., 2015; Peng et al., 2022)

Pada penelitian bidang sensor molekul penyusun DNA (adenin) dan bakteri, pendekatan metode deteksi berbasis SERS telah dikembangkan karena sensitivitasnya yang tinggi, biaya rendah, respon cepat dan pengoperasian mudah. Salah satu nanomaterial yang sudah dikembangkan adalah gabungan nanopartikel silika, emas dan besi platina (FePt) seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1a. Pengembangan teknik deteksi ini diiringi dengan pengembangan material fungsionalnya termasuk material berbasis *graphene* (Aditya & Hardiansyah, 2022; Hardiansyah, Aditya, et al., 2022). Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakter struktur dan sifat elektrokimia dari nanomaterial seperti nanomaterial emas-silika-FePt dan komposit *nanographene*-besi oksida-emas menjadikan material tersebut sebagai material sensor yang potensial untuk mendeteksi molekul penyusun DNA dan bakteri (Hardiansyah, Chen, et al., 2015; Yang et al., 2013).

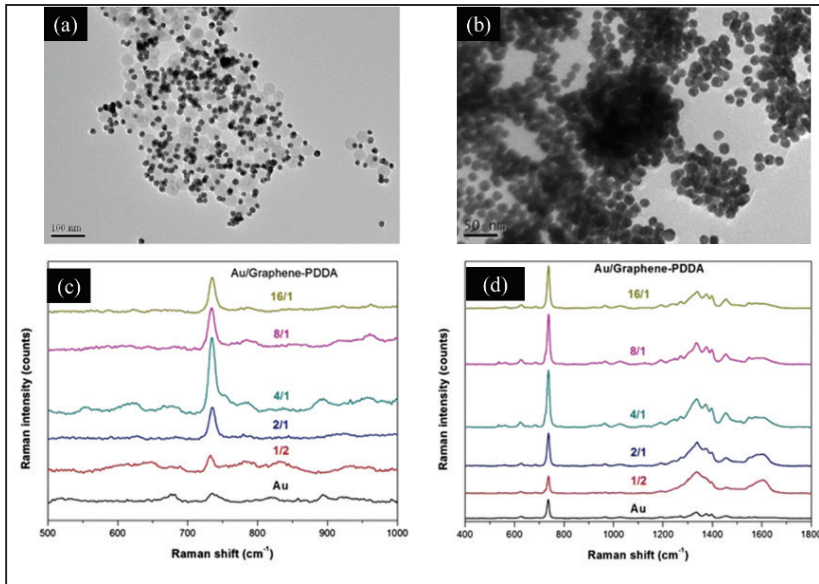
Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa material dan teknologi ini menawarkan strategi baru untuk meningkatkan sinyal Raman pada teknik SERS dari bakteri patogen, bagian DNA/RNA, tumor dan protein. Dua mekanisme telah diusulkan dalam peningkatan sinyal SERS yaitu peningkatan secara elektromagnetik dan kimia (Hardiansyah, Chen, et al., 2015). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan sinyal Raman yang dihasilkan dengan metode SERS sangat luar

biasa, sehingga memungkinkan untuk mengidentifikasi molekul tunggal. (Mevold et al., 2015; Rowley-Neale et al., 2018).

Pembuatan dan pengembangan material fungsional komposit *nanographene* telah dilakukan dengan penambahan material plasmonik (nanopartikel emas (Au), nanopartikel perak (Ag), maupun material magnetik (Fe_3O_4), yang dilakukan untuk memodifikasi dan menambah karakteristik dari material komposit *nanographene* sebagai sensor molekul penyusun DNA dan bakteri (Hardiansyah, Chen, et al., 2015).

Hasil penelitian dan pengembangan komposit *nanographene/Poly(diallyldimethylammonium chloride)* (PDDA dengan imobilisasi nanopartikel emas menunjukkan bahwa lembaran *nanographene*-PDDA adalah substrat yang baik untuk nanopartikel emas sebagaimana ditunjukkan Gambar 3.1b sehingga dapat menciptakan “*hot spot*” yang homogen dan mengendalikan kontak antar nanopartikel emas sehingga menghasilkan efek peningkatan sinyal Raman.

Hasil penelitian juga menunjukkan pengaruh rasio nanopartikel emas/*graphene*-PDDA terhadap hamburan sinyal Raman. Komposit nano nanopartikel emas/*graphene*-PDDA dengan rasio nanopartikel emas terhadap *graphene*-PDDA yaitu 4:1 menunjukkan sinyal SERS terkuat terhadap *S. aureus* (Gambar 3.1) dan adenin (Gambar 3.1d). Capaian penelitian ini membuktikan bahwa teknik deteksi SERS dikombinasikan dengan material komposit *nanographene* menghasilkan efek deteksi yang spesifik dan cepat sehingga dapat diterapkan lebih lanjut sebagai sensor biomolekul dan bakteri. Hal ini akan

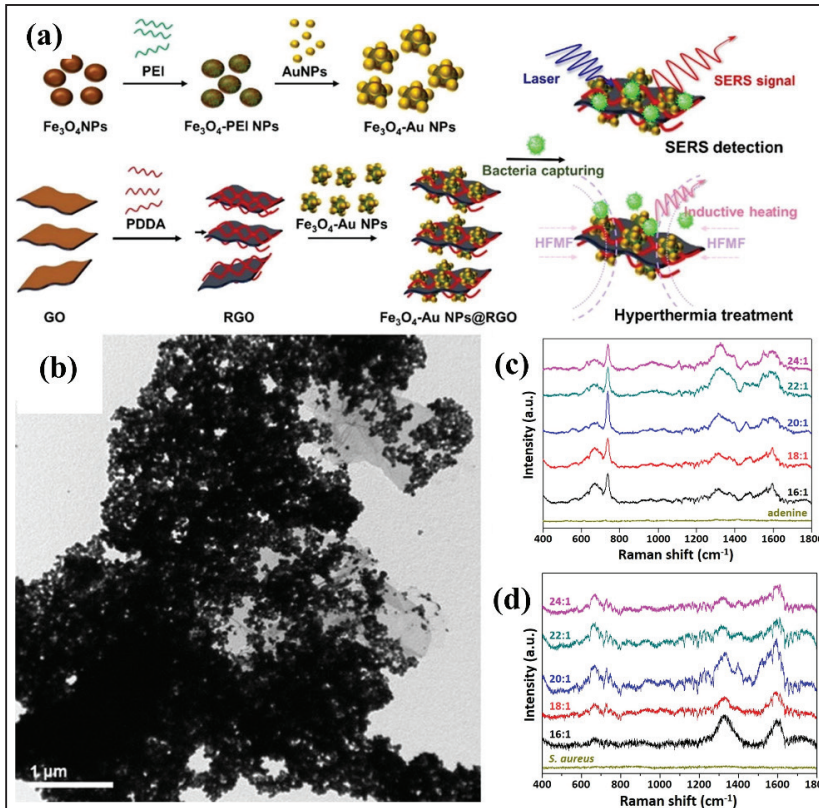


Sumber: Hardiansyah, Chen et al. (2015); Mevold et al. (2015)

Gambar 3.1 Nanomaterial SERS berbasis (a) silika, emas, dan besi platina; (b) Komposit *nanographene*/PDDA; (c) spektrum deteksi bakteri *S. aureus*; dan (d) spektrum deteksi adenin

mempercepat para pengambil kebijakan khususnya di bidang medis untuk merumuskan keputusan.

Pengembangan selanjutnya yang dilakukan untuk sensor molekul penyusun DNA (adenin) dan bakteri *S. aureus* dilakukan melalui fabrikasi komposit nano berbasis *graphene* dengan menambahkan besi oksida (Fe_3O_4) dan nanopartikel emas seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2a. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanomaterial Fe_3O_4 yang telah dikembangkan sebagai *ferrofluida* dengan sifat superparamagnetik dapat digunakan di berbagai aplikasi termasuk aplikasi nanobioteknologi dan sistem



Sumber: Yang et al. (2022)

Gambar 3.2 Skema (a) reaksi, (b) komposit *nanographene* variasi rasio Fe_3O_4 -Au 20:1, dan (c) spektrum sinyal Raman dari adenin, dan (d) spektrum sinyal *S. aureus*

penghantaran obat tertarget (Hardiansyah et al., 2014, 2019) serta menghasilkan panas di bawah paparan medan magnet eksternal misalnya di bawah medan magnet frekuensi tinggi (*high frequency magnetic field*, HFMMF) (Yang et al., 2022).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit nano $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Au@RGO}$ berhasil dikembangkan sebagai sensor molekul penyusun DNA dan bakteri dengan teknik SERS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa luas permukaan *graphene* yang tinggi berfungsi sebagai substrat utama untuk imobilisasi nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Au}$ dengan ukuran sekitar 73 nm (Gambar 3.2b) yang menunjukkan peningkatan sinyal SERS yang sangat baik dari adenin (Gambar 3.2c) dan *S. aureus* (Gambar 3.2d), terutama oleh sistem dengan rasio berat komposit nano $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Au/RGO}$ sebesar 20:1 yang dapat mendeteksi adenin dan *S. aureus* dengan konsentrasi terendah berturut-turut sebesar 10^{-5} M dan 1×10^4 CFU. Menariknya, komposit nano $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Au@RGO}$ ini juga dapat menghasilkan panas di bawah paparan HFMF untuk membunuh lebih dari 90% *S. aureus* dalam waktu 10 menit, yang akan memperluas penggunaannya untuk aplikasi hipertermia (M.-C. Yang et al., 2022).

Kontribusi dan capaian pengembangan komposit nano ini menunjukkan bahwa komposit *nanographene* yang digunakan pada teknik deteksi SERS dapat dikembangkan sebagai perangkat potensial untuk deteksi substansi secara cepat dalam aplikasi medis. Selain itu, adanya karakter magnetik juga memperluas peluang penggunaan material ini di bidang lainnya.

B. Riset Material Komposit *Nanographene* sebagai Sensor Molekul Penanda Penyakit

Pada subbab ini akan dibahas mengenai beragam nanomaterial dan komposit *nanographene* yang sudah dikembangkan dan

digunakan untuk mendeteksi molekul penanda penyakit yang dilakukan melalui fabrikasi komposit *nanographene* dengan nanopartikel emas berbentuk pulau nano Au (*Au nanoislands*) yang diimobilisasi pada pada substrat 3D *laser-scribed graphene* (LSG) yang digunakan untuk pendeteksian racun uremik dengan teknik SERS yang dimodifikasi penambahan arus listrik (Juang et al., 2024).

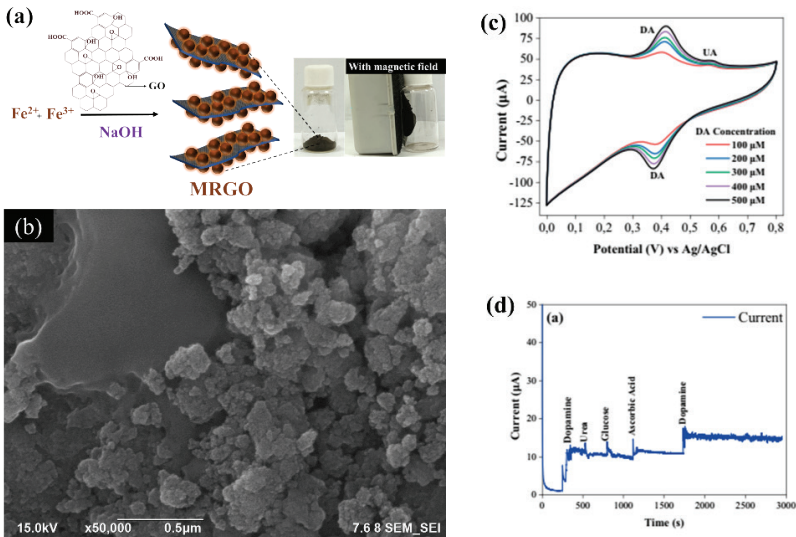
Pada penelitian ini, teknik SERS masih digunakan untuk melakukan proses deteksi dengan beberapa kebaruan yakni dengan diinduksi oleh medan listrik (EC-SERS). Pada penelitian ini, berbagai ketebalan (5-25 nm) pulau nano Au diendapkan pada LSG menjadi komposit *nanographene*-Au dengan tujuan untuk meningkatkan sensitivitas dan reproduktivitas deteksi SERS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan stimulus medan listrik pada substrat SERS Au-LSG memperkuat sinyal SERS sehingga bisa digunakan untuk mengukur sinyal biomolekul.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pulau nano Au dengan ukuran 20 nm yang dilapisi pada substrat LSG memberikan efek peningkatan SERS tertinggi, dan berhasil mendeteksi molekul pewarna (rhodamine 6G, R6G) dan racun uremik (urea dan kreatinin). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sinyal EC-SERS dari R6G meningkat 17 kali lipat pada potensial $-1,3$ V, dibandingkan dengan sinyal SERS tanpa menerapkan medan listrik. Selain itu, deteksi urea juga menampilkan potensi 4 kali lebih tinggi pada $-0,2$ V. Substrat SERS Au-LSG mempunyai limit deteksi (LOD) kreatin dan urea berturut-turut sebesar 10^{-3} dan 10^{-4} M dengan rentang deteksi sebesar $1 - 10^{-3}$ M untuk kreatin

dan $1 - 10^{-4}$ M untuk urea. LOD yang rendah menunjukkan nilai sensitivitas yang tinggi. (Juang et al., 2024).

Capaian pada pengembangan ini menunjukkan kebaruan pada rekayasa teknik deteksi SERS serta membuktikan efek induksi medan listrik sangat bermanfaat untuk mengoptimalkan penggunaan teknik SERS sehingga dapat digunakan sebagai sensor molekul penanda penyakit lebih presisi dan akurat.

Penelitian dan pengembangan selanjutnya dilakukan melalui fabrikasi komposit *nanographene* dengan material magnetik (MRGO) (Gambar 3.3a) sebagai elektrode elektrokatalis untuk mendeteksi molekul dopamin (penanda penyakit parkinson)



Sumber: Hardiansyah et al. (2023).

Gambar 3.3 Skema (a) pereaksian komposit nano, (b) material komposit *nanographene* dengan Fe_3O_4 , (c) kurva siklik voltametri, dan (d) kurva kronoamperometri

dengan teknik elektrokimia (Hardiansyah et al., 2023). Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit nano MRGO (Gambar 3.3b) telah terbukti menjadi *modifier* pada *glassy carbon electrode* (GCE) yang efektif dengan luas permukaan elektroaktif yang sekitar $0,0104 \text{ cm}^2$, serta menunjukkan kinerja elektrokimia yang stabil dan sensitif terhadap dopamin. GCE yang dimodifikasi dengan *nanosheet* MRGO telah menunjukkan kinerja elektrokimia yang sensitif, stabil, dan spesifik dengan secara efektif membedakan dopamin dengan asam urat dan senyawa biomolekul lainnya (Gambar 3.3c) (Hardiansyah et al., 2023).

Penelitian dan pengembangan juga dilanjutkan dengan teknik kronoamperometri yang digunakan untuk mendeteksi dopamin dalam kondisi *real time* dengan adanya molekul interferensi lain seperti glukosa, asam askorbat, dan urea (Gambar 3.3d). Pengukurannya adalah dilakukan pada potensial 4,7 V dan dalam NaCl 0,5 M. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus oksidasi meningkat secara signifikan setelah penambahan dopamin. Sementara itu perubahan arus setelah penambahan glukosa, asam askorbat, dan urea terdeteksi dapat diabaikan menunjukkan potensi MRGO dalam membedakan dopamin dengan adanya molekul interferensi lain terutama pada serum darah manusia (Hardiansyah et al., 2023).

Penelitian dan pengembangan selanjutnya dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan MRGO yang memodifikasi GCE untuk mendeteksi dopamin dalam kondisi praktis, pengukuran penginderaan dilakukan dengan menggunakan serum manusia sebagai elektrolit dengan tiga konsentrasi berbeda dipilih yaitu

200, 400, dan 500 μM . Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan teknik voltametri siklik, ditemukan bahwa oksidasi mencapai puncaknya pada sekitar 0,3 V terutama pada 200 μM , yang mirip dengan potensi di PBS larutan. Selain itu, arus meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi dopamin meningkat di mana pemulihan 200, 400, dan 500 μM masing-masing adalah 96%, 75%, dan 77%.

Kontribusi dan capaian pengembangan material komposit *nanographene* ini menunjukkan bahwa kombinasi material komposit nano MRGO dengan teknik deteksi berbasis elektrokimia menunjukkan kemampuan yang baik dalam mendeteksi dopamin dalam sampel nyata (*real sample*), terutama dalam sampel dengan konsentrasi rendah. Hal ini tentunya akan meningkatkan tingkat akurasi dan selektivitas dalam pendeteksian biomolekul. Namun demikian, berbagai pendekatan multidisiplin dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan batas deteksi kemampuan dopamin.

C. Riset Material Komposit *Nanographene* sebagai Material *Scaffolds* Rekayasa Jaringan untuk Penyembuhan Luka

Pada subbab ini akan dibahas mengenai pengembangan material komposit *nanographene* sebagai material *scaffolds* rekayasa jaringan untuk penyembuhan luka.

Beragam nanomaterial telah dikembangkan untuk aplikasi material *scaffolds* rekayasa jaringan untuk penyembuhan luka diantaranya adalah serat nano (Hardiansyah, Tanadi, et al., 2015;

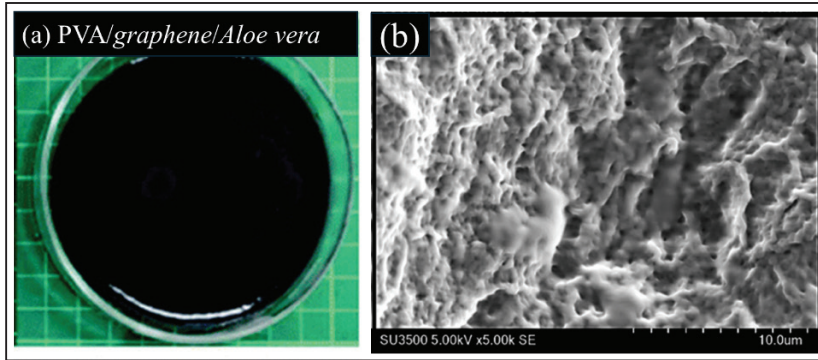
Raharjo et al., 2020; Wardhani et al., 2022) dan material berbasis hidrogel (Hanif et al., 2021).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa material komposit *nanographene* saat ini mendapatkan fokus yang besar dalam dunia rekayasa jaringan karena dapat diimplementasikan sebagai *scaffolds* yang kuat karena interaksi antarmolekul yang tinggi antara GO dan bahan polimer. Hal ini terjadi karena GO memiliki gugus hidroksil dan karboksil serta luas permukaan besar yang mendukung interaksi polimer dengan GO. Penelitian juga menunjukkan bahwa sifat mekanik, karakteristik permukaan, dan kapasitas pemuatan polimer dapat dimodifikasi atau ditingkatkan dengan penambahan turunan GO (Amiryaghoubi et al., 2022).

Penelitian dan pengembangan material komposit *nanographene* sebagai material *scaffolds* rekayasa jaringan untuk penyembuhan luka dilakukan melalui fabrikasi hidrogel berbahan dasar komposit *nanographene* dan polimer (Hanif et al., 2021). Beragam polimer telah dikembangkan untuk aplikasi nanobioteknologi. Pada penelitian ini, polivinil alkohol (PVA) dipilih dan dikembangkan sebagai prekursor polimer yang telah banyak dieksploitasi dalam berbagai aplikasi biomedis termasuk perbaikan tulang rawan tulang, perancah kulit, pembawa obat, dan pembalut luka. Selain itu, kemampuannya untuk disintesis melalui berbagai metode ikatan silang serta kemudahan untuk digabungkan dengan bahan lain yang menghasilkan sifat yang diinginkan menjadikannya lebih disukai sebagai bahan utama hidrogel (Raharjo et al., 2020).

Pada penelitian ini juga dilakukan penambahan senyawa ekstrak untuk meningkatkan efek biologis dari komposit nano yang difabrikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produk alami dan tanaman obat yang diintegrasikan dengan nanomaterial fungsional untuk merancang biomaterial lebih disukai karena dapat mengurangi toksisitas dan memiliki bioaktivitas yang berguna untuk mengobati penyakit. Beberapa produk alami dan ekstrak telah banyak digunakan terutama dalam pengembangan nanobioteknologi seperti ekstrak kunyit (kurkumin) (Hardiansyah et al., 2017; Kuo, Liu, Hardiansyah, et al., 2016), maupun lidah buaya (*Aloe vera*) (Hanif et al., 2021). Secara khusus, lidah buaya (*Aloe vera*) telah lama diyakini memiliki khasiat penyembuhan luka dan mengandung banyak manfaat yaitu molekul alami termasuk polisakarida dan glikoprotein, yang merupakan dua sumber utama aktivitas biologisnya (Hanif et al., 2021).

Pengembangan material komposit *nanographene* dilakukan melalui fabrikasi hidrogel PVA/*graphene/Aloe vera* dan menguji potensinya sebagai material *scaffolds* rekayasa jaringan untuk penyembuhan luka (Gambar 3.4a). Hasil penelitian menunjukkan bahwa material komposit *nanographene* ini menunjukkan struktur berpori (Gambar 3.4b), hidrofilisitas yang sangat baik dengan sudut kontak antara 15 dan 31 derajat dan konduktivitas listrik dalam kisaran 0,0102–0,0154 S m⁻¹, yang sebanding dengan jaringan kulit manusia serta memiliki kekuatan tarik hingga 1,5 MPa dengan perpanjangan 405% (Hanif et al., 2021).



Sumber: Hanif et al. (2021)

Gambar 3.4 Material komposit *nanographene* dengan (a) PVA dan Aloe dan (b) SEM hidrogel

Hasil penelitian menunjukkan bahwa material komposit *nanographene* yang dikembangkan juga menunjukkan stabilitas yang baik dalam larutan penyangga fosfat dengan rasio berat 73%–80% setelah 14 hari perendaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *graphene* dan GO menghambat pertumbuhan *Staphylococcus aureus* Gram-positif ATCC 6538 dengan populasi bakteri terendah yang diamati pada PVA/GO, yaitu $1,74 \times 10^7$ CFU mL⁻¹ setelah inkubasi 1 hari dengan persentase pengurangan bakteri sebesar 99,94 %.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa material komposit *nanographene* ini juga tidak menunjukkan racun (toksisitas) terhadap sel fibroblas 3T3 setelah 48 jam dengan viabilitas hingga 295% untuk material komposit *nanographene* PVA/GO/*Aloe vera*. Hidrogel sebagai pembalut luka harus bersifat biokompatibel karena akan menempel pada dasar luka dan bersentuhan langsung dengan jaringan di sekitarnya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa menunjukkan bahwa semua hidrogel komposit *nanographene* ini tidak menunjukkan toksisitas terhadap sel fibroblast 3T3, dibandingkan dengan kelompok yang diberi DMSO 5% untuk menginduksi toksisitas. Semua hidrogel mempertahankan jumlah sel yang layak sebagai kontrol setelah 1 jam sekitar 100% kecuali untuk PVA/GO, yang memiliki viabilitas sel 40% lebih tinggi daripada kontrol. Setelah 48 jam, PVA/GO/Av menunjukkan persentase tertinggi, yaitu 295% (40–50% lebih tinggi dibandingkan yang lain) setelah 2 hari.

Hasil penelitian menunjukkan persentase viabilitas sel pada seluruh hidrogel mengalami peningkatan yang menunjukkan bahwa sel mampu berkembang biak. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi material komposit *nanographene* yaitu material berbasis *graphene* dengan PVA dan *Aloe vera* dapat menghasilkan bahan antibakteri dan non-sitotoksik. Uji *in-vivo* dan uji klinis tambahan pada akhirnya harus dilakukan untuk mendapatkan representasi yang lebih baik dari bahan biokompatibel.

Pengembangan hidrogel dengan bahan material komposit *nanographene* telah menunjukkan potensinya sebagai pembalut luka dengan sifat antibakteri dan non-sitotoksik (Hanif et al., 2021).

Kontribusi dan capaian pengembangan material komposit *nanographene* ini menunjukkan bahwa kombinasi material komposit *nanographene* dengan PVA dan *Aloe vera* dapat menjadi kandidat material *scaffolds* untuk rekayasa jaringan.

Hal ini akan membuka peluang pengaplikasian yang sangat tinggi terutama untuk bahan penutup luka bakar. Pengujian *in vivo* dan pengujian klinis dapat dilakukan sebagai rangkaian tahap hilirisasi hidrogel komposit *nanographene* dengan PVA dan *Aloe vera*.

D. Riset Material Komposit *Nanographene* sebagai Material Pembawa Obat untuk Sistem Pengantaran Obat Tertarget

Pada subbab ini akan dibahas mengenai pengembangan nanomaterial dan komposit *nanographene* untuk sistem pengantaran obat tertarget pada terapi kanker *in vitro*. Dewasa ini, nanoteknologi memiliki potensi untuk merevolusi diagnosis dan terapi kanker. Kemajuan dalam bidang rekayasa molekuler serta sains dan teknik material telah berkontribusi pada pendekatan penargetan skala nano baru yang dapat membawa harapan baru bagi pasien kanker (Hardiansyah et al., 2014, 2017, 2019; Hardiansyah, Randy, et al., 2022; L.-Y. Huang et al., 2013; Kuo et al., 2014). Kelompok riset nanokarbon fungsional telah mengembangkan beberapa *nanocarrier* (pembawa obat berukuran nanometer) dan melakukan pengujian baik *in-vitro* maupun *in-vivo* seperti nanosfer, nanokapsul, misel, liposom dan komposit *nanographene* (Hardiansyah et al., 2014, 2019; Hardiansyah, Huang, et al., 2015; Kuo et al., 2014).

Penelitian menunjukkan bahwa material *graphene* memiliki potensi tinggi untuk dijadikan material pembawa obat (*drug carrier*) karena berukuran nanometer hingga ratusan nanometer serta memiliki berbagai fitur unik serta biokompatibilitas dan

kelarutan fisiologis yang sesuai, terutama dalam pemuatan obat/gen melalui konjugasi kimia atau respons fisisorpsi. Lebih lanjut, gugus fungsi karboksi ($-\text{COOH}$) dan hidroksi ($-\text{OH}$) pada permukaan GO menarik untuk berbagai aplikasi biomedis (Laraba et al., 2022; Liu et al., 2013).

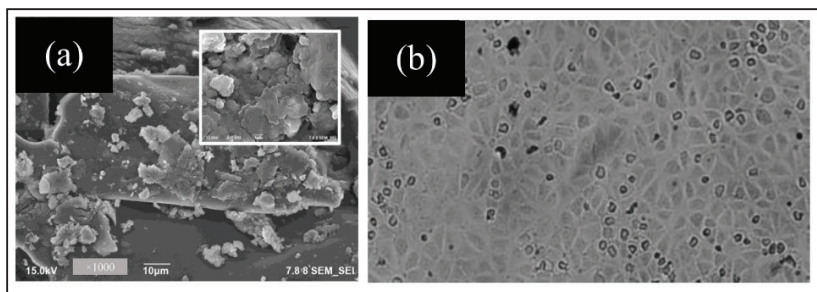
Pengembangan material pembawa obat (*drug carrier*) untuk sistem pengantaran obat tertarget pada terapi kanker *in-vitro* telah dilakukan melalui penggunaan kombinasi nanomaterial maju dengan bahan-bahan alam dan ekstrak Indonesia seperti ekstrak manggis (Hardiansyah, Randy, et al., 2022), kunyit (Hardiansyah et al., 2017; Kuo, Liu, Hardiansyah, et al., 2016), maupun sarang semut.

Pengembangan material komposit *nanographene* sebagai material pembawa obat (*drug carrier*) untuk sistem pengantaran obat tertarget pada terapi kanker *in-vitro* telah dilakukan melalui fabrikasi komposit nano berbasis *graphene* (*magnetic reduced graphene oxide*, MRGO) dengan kombinasi polimer pluronik (PF-127) dan kitosan (Chi) (PF127-Chi@MRGO) yang mengandung ekstrak kulit manggis (α -manggosteen) (Hardiansyah, Randy, et al., 2022).

Penelitian menunjukkan bahwa *Garcinia mangostana L.* yang dikenal dengan nama manggis merupakan anggota keluarga Clusiaceae dan dari genus *Garcinia* memiliki kulit yang banyak digunakan dalam pengobatan tradisional. Senyawa polifenol “*xanthone*” merupakan komponen utama kulit manggis. Penelitian menunjukkan bahwa senyawa *xanthone* yang dominan pada kulit manggis adalah α -mangostin (69,01%),

γ -mangostin (17,86%), dan disusul senyawa lain seperti gartanin, 8-deoxygartanin, dan garcinon. α -manggis, turunan xanthone dari kulit buah *Garcinia mangostana* L., telah terbukti mengurangi kelangsungan hidup dan proliferasi sel kanker serta mendorong apoptosis tanpa mempercepat timbulnya efek samping. α -manggis terbukti memblokir sejumlah jalur sinyal sel, termasuk jalur yang mengontrol apoptosis, proliferasi, invasi, angiogenesis, metastasis, dan peradangan. Aktivitas α -manggis yang dilaporkan terhadap berbagai jenis kanker mencerminkan kemampuannya untuk mempengaruhi banyak target (Hardiansyah, Randy, et al., 2022; Wardhani et al., 2022).

Hasil penelitian dengan menggunakan *field emission scanning electron microscopy* (FESEM) menunjukkan komposit nano terdiri dari nanopartikel magnetik yang tertambat pada permukaan PF-127-Chi@MRGO sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.5a.



Sumber: Hardiansyah, Randy, et al., (2022).

Gambar 3.5 (a) Material komposit *nanographene* dengan pluronik dan kitosan sebagai material pembawa obat (*drug carrier*), (b) sel MCF-7 yang telah diberikan komposit nano PF-127-Chi@MRGO.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa material komposit *nanographene* ini menunjukkan dispersi yang baik dalam pada pelarut air dan menunjukkan respon terhadap paparan medan magnet eksternal. Hasil uji sitotoksisitas berbasis resazurin membuktikan bahwa PF127 yang mengandung α -manggis dapat mengurangi proliferasi sel MCF-7 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.5b. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat potensi dari komposit nano PF127-Chi@MRGO yang mengandung α -manggis untuk dapat digunakan sebagai pembawa obat yang menjanjikan untuk pengobatan kanker melalui kombinasi kemoterapi alami dan bahan biokompatibel untuk sistem penghantaran obat yang ditargetkan (Hardiansyah, Randy, et al., 2022).

Capaian pengembangan material komposit nano yang telah dilakukan memberikan peluang pengembangan material fungsional baru yang lebih luas untuk aplikasi di bidang biomedik. Namun demikian, pengujian dalam tahapan *in-vivo* lanjutan serta dilanjutkan dengan uji klinis menjadi sangat diperlukan dan krusial untuk mempersiapkan nanomaterial tersebut menuju tahap hilirisasi produk.

E. Riset Material Komposit *Nanographene* sebagai Material Fotokatalis, Adsorben Ion Logam Berat dan Bakteri untuk Aplikasi Lingkungan

Pada subbab ini akan dibahas mengenai riset material komposit *nanographene* sebagai material fotokatalis, adsorben ion logam

berat dan bakteri yang telah dilakukan di Kelompok Riset Nanokarbon Fungsional BRIN.

Dalam beberapa dekade terakhir, limbah pewarna maupun polutan industri yang dibuang ke lingkungan perairan telah memberikan kontribusi besar terhadap pencemaran air. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode serta strategi yang efektif untuk mengatasi permasalahan tersebut (Hardiansyah, Budiman, Utomo, et al., 2021; Sampora et al., 2022; Setiawan et al., 2021; Yudasari et al., 2023).

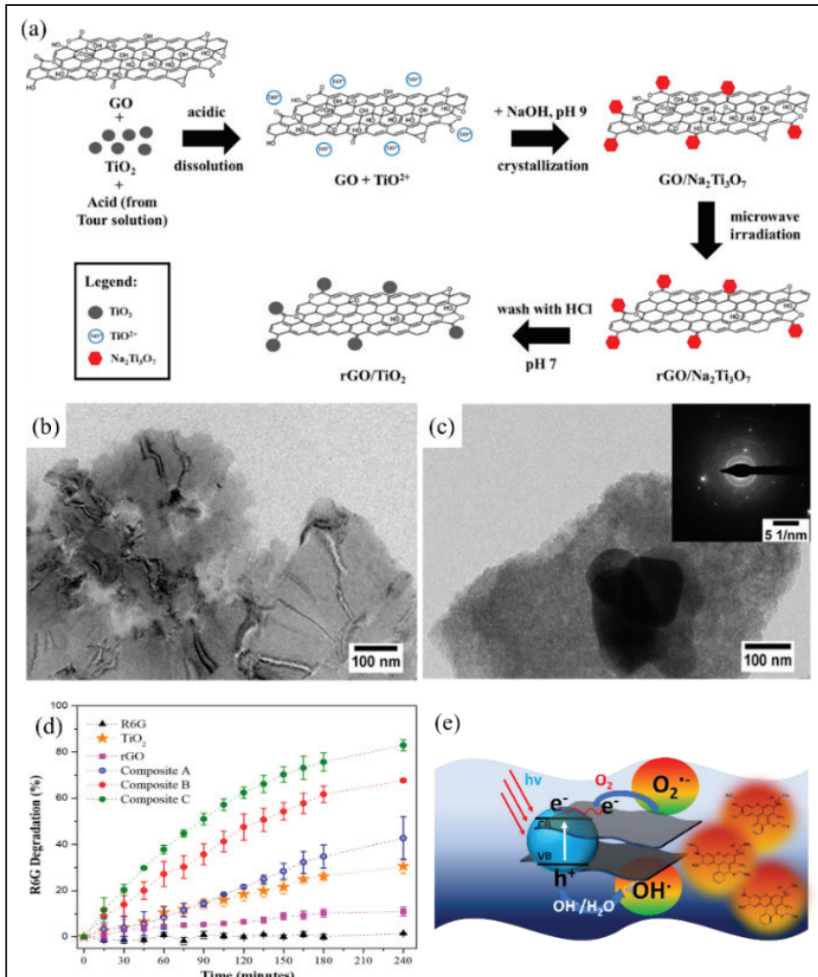
Berbagai riset telah dilakukan sebagai strategi untuk menyelesaikan masalah tersebut diantaranya dengan menggunakan teknologi proses oksidasi lanjutan (*advanced oxidation process*, AOP) seperti katalis berbasis Fenton dan fotokatalis yang dapat menghilangkan polutan organik yang persisten melalui mineralisasi total menjadi CO_2 dan H_2O (Hardiansyah, Budiman, Utomo, et al., 2021; Hardiansyah, Budiman, Yudasari, et al., 2021).

Penelitian menunjukkan bahwa degradasi fotokatalitik dapat menjadi strategi untuk menghilangkan pewarna sintetik dalam air karena tidak diperlukan bahan kimia lain sehingga lebih murah dan mudah dibandingkan metode lainnya. Sampai saat ini, berbagai bahan struktur nanomaterial telah dieksplorasi sebagai fotokatalis seperti komposit berbasis karbon nitrida grafit, selenida, diselenida logam transisi, PrVO_4 , Tl_4CdI_6 dan $\text{Nd}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$.

Riset material komposit *nanographene* sebagai material fotokatalis dilakukan melalui pengembangan nanopartikel titanium oksida (TiO_2) (Gambar 3.6a) maupun seng oksida (ZnO) yang dikompositkan dengan GO menjadi komposit nano TiO_2 -*reduced graphene* oksida (RGO/ TiO_2) maupun komposit nano ZnO -*reduced graphene* oksida (RGO/ ZnO) (Ezra et al., 2023; Hardiansyah, Budiman, Utomo, et al., 2021; Hardiansyah, Budiman, Yudasari, et al., 2021).

Hasil penelitian dengan observasi TEM menunjukkan bahwa lembaran RGO (Gambar 3.6b) telah terdekorasi oleh TiO_2 pada RGO/ TiO_2 (Gambar 3.6c). Hasil penelitian fotokatalitik menunjukkan komposit *nanographene* dengan rasio RGO/ TiO_2 1:2 merupakan komposisi optimal dan mampu mendegradasi $82,9 \pm 2,4\%$ rhodamin 6G setelah penyinaran UV selama 4 jam sebagaimana tercantum pada Gambar 3.6.d. Hasil penelitian melalui studi fotoluminesensi dengan resolusi waktu pada emisi panjang gelombang 500 nm, menunjukkan rata-rata masa peluruhan komposit rodamin (R6G)-RGO/ TiO_2 (2,91 ns) lebih lama dibandingkan dengan sampel R6G- TiO_2 (2,05 ns), yang membuktikan bahwa kehadiran RGO dalam komposit *nanographene* RGO/ TiO_2 berhasil menekan proses rekombinasi elektron-lubang (*electron-hole*) di TiO_2 dan secara signifikan meningkatkan kinerja fotokatalitik (Gambar 3.6e) (Hardiansyah, Budiman, Yudasari, et al., 2021).

Kontribusi dan capaian pada penelitian ini menunjukkan bahwa komposit *nanographene* yaitu RGO/ TiO_2 yang disintesis



Sumber: Hardiansyah, Budiman, Yudasari, et al., (2021).

Gambar 3.6 Skema pereaksian (a) komposit *nanographene*, (b) TEM GO, (c) TEM material komposit *nanographene*-TiO₂, (d) Variasi degradasi pada senyawa rhodamine 6G dan (e) skema proses fotokatali

melalui proses yang relatif sederhana dan ramah lingkungan telah berhasil untuk meningkatkan performa material TiO_2 serta menunjukkan prospek yang menjanjikan untuk degradasi fotokatalitik pewarna dan polutan lainnya dalam lingkungan perairan (Hardiansyah, Budiman, Yudasari, et al., 2021). Di masa mendatang teknik ini diharapkan dapat diaplikasikan secara langsung untuk mengatasi pencemaran ekosistem atau lingkungan perairan seperti sungai.

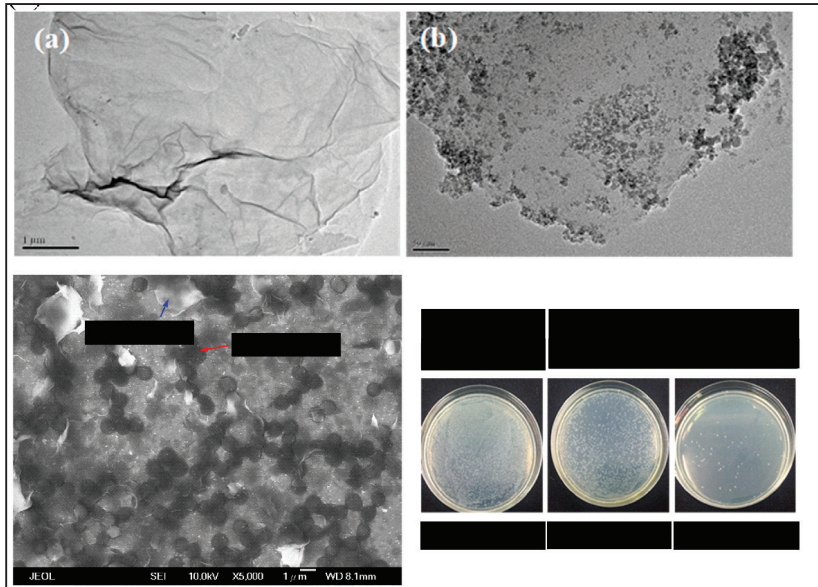
Penelitian dan pengembangan selanjutnya dilakukan melalui fabrikasi komposit nano berbasis *graphene* antara *graphene* oksida dan *graphitic carbon nitride* ($\text{g-C}_3\text{N}_4$, GCN) sehingga menjadi lembaran nano GCN/GO melalui interaksi penumpukan (*stacking*) π - π (Peng et al., 2022). Pada material ini nanopartikel perak (Ag) diimobilisasi sehingga menjadi material komposit *nanographene* Ag@GCN/GO.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit *nanographene* Ag@GCN/GO berhasil memberikan fungsi ganda yaitu sebagai agen degradasi fotokatalitik dan deteksi SERS untuk mendeteksi biomolekul (adenin) dan polutan organik (metilen biru). Penelitian menunjukkan bahwa komposit *nanographene* Ag@GCN/GO menunjukkan kemampuan fotokatalitik terhadap polutan dalam air melalui iradiasi dengan cahaya tampak (405 nm), sehingga substrat dapat dibersihkan sendiri dan dapat digunakan kembali.

Kontribusi dan capaian riset ini membuktikan bahwa komposit *nanographene* Ag@GCN/GO memiliki potensi ganda untuk diterapkan dalam degradasi fotokatalitik polutan air dan juga deteksi biomolekul (Peng et al., 2022). Di masa depan diharapkan sistem deteksi molekul dapat terintegrasi dengan sistem pengelolaan limbah sehingga bisa tercipta suatu sistem yang terintegrasi yang lebih efektif dan efisien.

Penelitian dan pengembangan selanjutnya dari komposit *nanographene* adalah fabrikasi MRGO sebagai adsorben bakteri *Staphylococcus aureus* dan mengevaluasi perilakunya pada paparan *high-frequency magnetic field* (HFMF). Penelitian ini menggunakan polimer *polivinilpirolidon* (PVP) dan *poly(diallyldimetilamonium klorida)* (PDDA) untuk memodifikasi permukaan GO (Gambar 3.7a) dan selanjutnya digunakan sebagai substrat untuk imobilisasi nanopartikel besi oksida (Fe_3O_4) dengan ukuran 8-10 nm (MRGO) (Gambar 3.7b) (Hardiansyah et al., 2020). Hasil penelitian dengan pengukuran *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) menunjukkan bahwa material komposit *nanographene* MRGO memiliki kekuatan magnet sebesar 20 emu/gram.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa material komposit *nanographene* ini memiliki hasil adsorpsi yang baik karena adanya kepadatan gugus fungsi dan luas permukaan MRGO yang tinggi sehingga dapat meningkatkan potensi kontak dan interaksi dengan *S. aureus*. Observasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) menunjukkan morfologi lembaran MRGO dan bakteri (*S. aureus*) yang terperangkap di



Sumber: Hardiansyah et al. (2020).

Gambar 3.7 (a) Material GO, (b) material komposit *nanographene* dengan Fe_3O_4 (MRGO), (c) Citra SEM material adsorben bakteri *S. aureus* dan (d) efek HFMF terhadap bakteri

permukaan MRGO (Gambar 3.7c). Di sisi lain, paparan magnet dapat memisahkan secara langsung bakteri yang ditangkap pada MRGO di medan magnet luar (Hardiansyah et al., 2020). Uji antibakteri membuktikan bahwa pada konsentrasi MRGO yang lebih tinggi akan menangkap lebih banyak bakteri *S. aureus*. Konsentrasi MRGO yang lebih tinggi dari 2,4 mg/mL sudah cukup untuk mengumpulkan semua bakteri (10^5 CFU/mL) sebagaimana tercantum pada Gambar 3.7d.

Kontribusi dan capaian riset ini membuktikan bahwa material komposit *nanographene* MRGO dapat digunakan

sebagai adsorben bakteri serta dapat secara langsung digunakan untuk menghilangkan bakterinya. Hal ini memberikan prospek penggunaan sebagai material yang dapat digunakan untuk menghilangkan bakteri pada peralatan atau sistem tertentu.

Riset lainnya dari material komposit *nanographene* MRGO adalah sebagai material adsorben limbah dengan menggunakan nanopartikel magnetite dengan ukuran kristal 9,8 nm. Nanopartikel ini memiliki sifat sebagai material superparamagnetik sebagaimana dikarakterisasi dengan VSM dimana material ini akan sangat responsif jika diberikan medan magnet dari luar (Sampora et al., 2022).

Hasil penelitian dengan menggunakan *Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectrometry* (ICP–OES) membuktikan bahwa nanopartikel magnetite memiliki kemampuan menyerap ion logam berat seperti kadmium, arsenik, kromium, selenium, titanium, nikel, timbal, dan berilium dengan persentase efisiensi pada rentang 3-64%. Nanopartikel yang diproduksi juga menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan dengan nanopartikel magnetik yang berada di pasaran sehingga membuka peluang hilirisasi nanopartikel ini (Sampora et al., 2022). Nanopartikel magnetite juga telah dikembangkan dalam bentuk serat nano melalui proses pemintalan elektrik (*electrospinning*) dalam sistem Fe_3O_4 -*polyvinylidene fluoride* dengan diameter serat pada rentang 120-400 nm yang dapat diaplikasikan untuk sistem absorpsi berbasis membran berukuran nano (Putri et al., 2024).

Selanjutnya, telah dikembangkan pula komposit *nanographene* MRGO untuk penyerapan ion logam berat (Fikriyyah et al., 2018). Hasil penelitian menunjukkan bahwa material ini memiliki karakter superparamagnetik serta kemampuan penyerapan terhadap ion dan molekul. Karakter adsorpsi diuji dengan menggunakan ion logam nikel dengan kemampuan adsorpsi sebesar 78,24%.

Capaian hasil pengembangan material komposit nano ini menunjukkan bahwa MRGO memiliki prospek yang potensial sebagai kandidat material untuk menyerap ion logam yang efektif dan sangat berpotensi untuk digunakan pada sistem penyerapan ion logam pada ekosistem perairan maupun instalasi air.

IV. PELUANG, PEMANFAATAN DAN TANTANGAN MATERIAL KOMPOSIT *NANOGRAPHENE* DI INDONESIA

Indonesia sebagai negara yang sangat besar memiliki peluang untuk memanfaatkan nanomaterial khususnya komposit *nanographene* sebagai bagian dari perkembangan sains dan teknologi nano sebagai strategi dan solusi penyelesaian permasalahan terutama di bidang kesehatan dan lingkungan. Namun demikian dalam pengembangannya masih terdapat tantangan yang perlu dihadapi dan diselesaikan oleh para *stakeholders* terkait.

A. Peluang dan Pemanfaatan

Material komposit *nanographene* sebagai material maju fungsional memiliki peluang pemanfaatan yang sangat luas. Peluang ini didukung oleh beberapa faktor diantaranya potensi sifat unggul dari material berbasis *graphene*, dan potensi pemanfaatan sumber prekursor berbasis biomassa dari Indonesia yang akan meningkatkan kinerja material komposit *nanographene*. Pengembangan komposit *nanographene* bisa meningkatkan karakter fisika/kimia material konvensional sehingga performa material dan perangkat yang dibuat dapat meningkat.

Potensi yang ada tidak hanya ada pada bidang nanobioteknologi kesehatan dan lingkungan tetapi juga pada bidang energi baru

dan terbarukan. Pemanfaatan material komposit nano berbasis *graphene* juga akan sangat berkaitan dengan pengembangan material berbasis karbon lainnya dan untuk aplikasi-aplikasi fungsional lainnya (Destyorini et al., 2021, 2022; Irmawati et al., 2022; Khaerudini et al., 2019; Nugroho et al., 2022; Yulianti et al., 2020, 2021).

Peluang pemanfaatan sains dan teknologi nanomaterial khususnya komposit *nanographene* tidak hanya akan berdampak pada perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, tetapi juga mempunyai efek terhadap industri dan ekonomi secara luas di masa mendatang.

Komposit *nanographene* beserta nanomaterial fungsional lainnya juga memiliki peluang hilirisasi yang luas. Peluang hilirisasi yang dimanfaatkan akan berdampak luas pada perkembangan divais dan teknologi serta memperkuat kemandirian bangsa di bidang nanomaterial dan nanoteknologi.

B. Tantangan

Pengembangan material komposit *nanographene* memiliki beberapa tantangan diantaranya adalah :

- 1) Pemahaman atas terminologi struktur material berbasis *graphene* yang masih rendah
- 2) Konsistensi hasil sintesis material komposit *nanographene* terutama *graphene* oksida yang perlu ditingkatkan menjadi kunci utama keberhasilan pengembangan material ini

sehingga pengontrolan terhadap pereaksian dan sintesis menjadi hal yang harus diperhatikan.

- 3) Semakin meningkatnya kompleksitas permasalahan yang dihadapi dalam bidang sensor DNA, bakteri maupun penanda penyakit misalnya kehadiran beragam penyakit/bakteri/virus secara tiba-tiba dan masif. Semakin kompleks permasalahan di bidang rekayasa jaringan dan sistem penghantaran obat serta kompleksitas masalah lingkungan.
- 4) Upaya hilirisasi sains dan teknologi nano untuk produksi dan pengaplikasian dalam skala besar masih menghadapi tantangan diantaranya penggunaan teknologi dan teknik konvensional yang masih banyak digunakan serta masih terbatasnya perusahaan maupun pabrik-pabrik nasional hilirisasi sains dan teknologi nano di Indonesia. Namun demikian tantangan yang ada sudah semestinya dijadikan peluang dan potensi untuk dimanfaatkan terlebih mulai meningkatnya kesadaran dan kebutuhan akan teknologi-teknologi terbarukan dalam rangka memenuhi kebutuhan dan mengatasi permasalahan yang semakin kompleks khususnya di bidang nanobioteknologi kesehatan dan lingkungan.

C. Rekomendasi Kebijakan dan Teknis

Untuk menghadapi dan menyelesaikan tantangan tersebut maka diberikan beberapa rekomendasi sebagai strategi solusi dan penyelesaian yang efektif diantaranya adalah :

- 1) Percepatan *scale-up* produksi komposit *nanographene* dari skala kecil menjadi skala yang lebih besar dengan

menerapkan prinsip standarisasi hasil produksi misalnya dengan menggunakan reaktor-reaktor yang berukuran lebih besar.

- 2) Optimalisasi peran dan fungsi Pusat Riset Sistem Nanoteknologi (PRSN) dibawah Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material (ORNM) - Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) sebagai pusat riset yang bertanggungjawab atas riset dan inovasi di bidang sistem nanoteknologi di Indonesia. Pembentukan PRSN sendiri sudah membuktikan komitmen pemerintah Indonesia dalam pengembangan sains dan teknologi nano serta potensi nanoteknologi di Indonesia terutama dalam mendukung pengembangan revolusi industri 4.0 dan Society 5.0. Namun demikian diperlukan upaya optimalisasi riset yang masif terutama di bidang nanoteknologi khususnya komposit *nanographene* baik dari bidang sumberdaya manusia maupun infrastruktur pendukung riset baik dengan internal BRIN maupun eksternal BRIN seperti mitra dari perguruan tinggi dan industri.
- 3) Sinergi dengan industri berbasis nanomaterial dan nanoteknologi merupakan kunci dari proses hilirisasi teknologi dan material komposit *nanographene* yang bisa dilakukan melalui pembinaan perusahaan-perusahaan di bidang nanoteknologi sehingga akselerasi industrialisasi nanomaterial bisa dilakukan dengan efektif dan efisien.

Kemandirian bangsa Indonesia pada sains dan teknologi nano akan menjadi titik awal hilirisasi industri nano yang selanjutnya akan membawa potensi dan peluang peningkatan ekonomi nasional.

V. KESIMPULAN

Pengembangan komposit *nanographene* sebagai nanomaterial maju telah berhasil memberikan kontribusi pada peningkatan sifat dan performa material konvensional sehingga bisa memperluas spektrum pengaplikasiannya untuk menjadi strategi dan solusi atas permasalahan di bidang nanobioteknologi kesehatan dan lingkungan.

Pada aplikasi sensor molekul penyusun DNA, bakteri dan molekul penanda penyakit, komposit *nanographene* yang dikombinasikan dengan teknologi SERS dan elektrokimia telah berhasil meningkatkan performa deteksi adenin (DNA), bakteri, dopamin dan ureum pada sistem yang kompleks melalui cara yang mudah dan efisien. Komposit *nanographene* juga memiliki potensi aplikasi sebagai *scaffolds* untuk rekayasa jaringan untuk penyembuhan luka serta platform penghantar obat tertarget yang efektif dan bermanfaat pada bidang kesehatan.

Pada aplikasi lingkungan, komposit *nanographene* telah berhasil meningkatkan performa reaksi fotokatalis dan adsorpsi menjadi lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan agen fotokatalis konvensional berbasis titanium dioksida (TiO_2) maupun seng oksida (ZnO) sehingga bisa mempercepat reaksi penguraian polutan dan zat limbah pewarna pada lingkungan.

Hasil penelitian ini telah menunjukkan pengembangan dan peluang pemanfaatan komposit *nanographene* sebagai material fungsional maju yang bermanfaat dalam bidang nanobioteknologi kesehatan dan lingkungan. Selain itu, potensi besar juga dimiliki oleh material komposit *nanographene* untuk aplikasi komponen energi seperti menjadi komponen anoda baterai ion litium maupun superkapasitor.

VI. PENUTUP

Peningkatan kebutuhan akan material dan perangkat teknologi yang tepat dan efektif sebagai strategi untuk memecahkan permasalahan dan tantangan di bidang kesehatan dan lingkungan akan semakin meningkat di masa mendatang. Beberapa masalah tersebut diantaranya kemunculan berbagai virus, bakteri dan penyakit baru yang membutuhkan sistem deteksi yang cepat dan akurat, tuntutan peningkatan efektivitas terapi pada rekayasa jaringan dan sistem penghantaran obat, maupun masalah pencemaran lingkungan yang semakin mengkhawatirkan.

Penanganan masalah tersebut memerlukan pendekatan rekayasa material dan teknologi yang tepat. Sensor yang cepat dibutuhkan untuk mendeteksi molekul DNA, bakteri, maupun molekul penanda penyakit seperti sensor dopamin untuk penyakit parkinson dan sensor uremik untuk penyakit ginjal. Keberadaan sensor yang sensitif tentu akan sangat membantu paramedis dalam mengambil kebijakan pengobatan. Material fungsional baru juga sangat dibutuhkan untuk aplikasi *scaffolds* dan material *drug carrier* yang juga akan merevolusi dunia pengobatan dan kedokteran. Material fungsional baru yang tepat juga dibutuhkan untuk proses rehabilitasi lingkungan.

Material komposit *nanographene* yang telah dikembangkan memiliki peran dan peluang besar untuk dimanfaatkan dan dikomersialisasikan terutama sebagai material dan perangkat

dalam bidang nanobioteknologi kesehatan dan lingkungan seperti untuk nano-biosensor, *scaffolds* untuk rekayasa jaringan, nanomaterial pembawa obat serta sebagai nanomaterial untuk proses fotokatalis dan adsorben. Peluang tersebut dimiliki karena adanya potensi sifat yang unggul dari material tersebut. Peluang besar juga dimiliki oleh material komposit *nanographene* sebagai material untuk aplikasi perangkat penyimpan energi seperti baterai ion litium maupun superkapasitor.

Tantangan yang dihadapi dalam hilirisasi sekaligus standarisasi hasil riset material komposit *nanographene* menuju komersialisasi dan industrialisasi ini menuntut sinergi semua pihak untuk dapat berkolaborasi secara terstruktur mulai dari *scale-up* produksi komposit *nanographene* menuju skala produksi yang lebih besar serta memastikan standar hasil dan kualitas komposit *nanographene* yang dihasilkan. Institusi riset dan pendidikan yang bergerak di bidang nanoteknologi harus memperkuat upaya sinergi dan kolaborasi dalam upaya akselerasi riset nanoteknologi di Indonesia.

Pemerintah Indonesia melalui Badan Riset dan Inovasi Nasional sudah mulai merestrukturisasi sarana dan fasilitas pendukung riset nanoteknologi terutama dengan pembentukan Pusat Riset Sistem Nanoteknologi. Upaya akselerasi harus terus dilakukan diantaranya melakukan ekspansi kegiatan kolaboratif terutama universitas dan kementerian terkait seperti Kementerian Kesehatan, Kementerian Perindustrian, Badan Standardisasi Nasional, kerjasama internasional dan industri terkait sehingga

diharapkan dapat terbangun suatu ekosistem dukung yang baik dalam rangka mendukung pemanfaatan material komposit *nanographene* dalam bidang nanobioteknologi kesehatan dan lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama ucapan rasa syukur yang tak terhingga ke hadirat Allah SWT karena atas segala perkenan rahmat dan karunia-Nyalah saya dapat menyampaikan orasi pengukuhan profesor riset pada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Republik Indonesia ini dan acara orasi ini dapat berjalan dengan lancar. Acara orasi ini juga dapat terselenggara atas kontribusi besar dari banyak pihak.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Yang Terhormat, Presiden Republik Indonesia, Bapak Prabowo Subianto, dan Presiden Republik Indonesia periode 2014 - 2024 Bapak Ir. H. Joko Widodo atas penetapan Keputusan Presiden tentang Peneliti Ahli Utama pada Badan Riset dan Inovasi Nasional. Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc., Wakil Kepala BRIN, Bapak Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian, ST., M.Sc., DESD., IPU., ASEAN.Eng. atas perkenan dukungan dan motivasinya. Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset BRIN, Prof Dr. Gadis Sri Haryani; Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset BRIN, Prof. Dr. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, MSCE., Ph.D.; Tim Penelaah Naskah Orasi Ilmiah; Prof. Yenny Meiliana, Prof. Dr. Isnaeni dan Prof. Brian Yulianto, S.T., M.Eng., Ph.D., Penelaah Naskah Orasi tingkat Organisasi Riset Prof. Dr. Ratno Nuryadi, Prof. Rike Yudianti, Prof. Dr. Setyo Purwanto, Sekretaris Utama BRIN, Ibu Nur Tri Aries Suestiningtyas, M.A,

Kepala Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material, Prof. Dr. Ratno Nuryadi; Kepala Biro Organisasi dan Sumber Daya Manusia, Ratih Retno Wulandari, S.Sos., M.Si.; Kepala Pusat Riset Sistem Nanoteknologi, Dr. Murni Handayani; serta Panitia Pelaksana Pengukuhan; dan pihak-pihak lain yang berkenaan sehingga naskah orasi ini layak disampaikan pada sidang terbuka pengukuhan ini.

Perjalanan karier saya tidak terlepas dari dukungan dan kesempatan yang diberikan oleh banyak pihak. Penghormatan dan penghargaan yang setinggi-tingginya saya sampaikan kepada para guru dari SD, SMP, SMA, dosen dan profesor saya, Prof. H. Rochim Suratman (Alm), Prof. Dr. Bambang Sunendar Purwasasmita (Alm), Prof. Ming-Chien Yang, dan Prof. Ting-Yu Liu atas segala ilmu yang diberikan. Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada para kolega dan mitra dari dalam dan luar negeri, Prof. Tetsuya Kida (Kumamoto University, Jepang), Prof. Patrice Estelle (Universite de Rennes, Perancis), Prof. Shigeru Fujino (Kyushu University, Jepang), Prof. Yu-Wei Cheng (Ming-Chi University of Technology, Taiwan), Prof. Chih-Yu Kuo (National Taipei University of Technology, Taiwan), Dr. Lina Djaya Diguna (Universitas Prasetya Mulya), dan Dr. Silvia Ayu (Universitas Pertamina) atas kerjasama luar biasa yang diberikan. Ucapan terimakasih juga saya sampaikan kepada seluruh anggota kelompok riset Material Fungsional Dimensi Rendah Pusat Riset Material Maju dan Nanokarbon Fungsional Pusat Riset Sistem Nanoteknologi, Dr. Angga Hermawan, Dr. Murni Handayani, Dr. Riesca Ayu, Dr. Ni Luh Wulan, Dr. Sri

Rahayu, serta kepada para mahasiswa dan asisten riset atas kerjasamanya yang membangun.

Pencapaian sampai saat ini tidak terlepas dari dukungan keluarga saya. Saya mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada orang tua yang telah mendidik saya sampai saat ini, kepada Bapak Alm. H. Herry Heryadi, S.H dan Ibu Hj. Ani Suryani, atas segala pengorbanan yang telah diberikan. Semoga amal ibadah dan pengorbanan tulusnya digantikan pahala berlipat ganda oleh Allah SWT. Ucapan terima kasih kepada kakak dan adik saya, Irma Indriyani, S.Si., Irfan Riyadi, S.T, dan Anna Refiyani, S.Tr.Ak, atas dukungan dan semangatnya yang tidak pernah putus.

Terakhir, terima kasih saya sampaikan kepada panitia penyelenggara Orasi Pengukuhan Profesor Riset dan seluruh undangan sehingga acara ini dapat terselenggara dengan baik, lancar, dan penuh hikmat. Dengan mengucapkan alhamdulillah, saya akhiri orasi ilmiah ini. Terima kasih atas perhatian hadirin semua. Mohon maaf atas kekurangan dan kekhilafan dalam penyampaian orasi ilmiah ini.

Wa billaahittaufiq wal hidaayah.

Wassalaamualaikum wa rahmatullaahi wa barakaatuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, D. M., & **Hardiansyah, A.** (2022). Spectroscopic studies on reduced *graphene* oxide behaviour in multi-step thermal reduction. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 13(1), 015008. <https://doi.org/10.1088/2043-6262/ac5dc9>
- Ahmad, M. S., Nishina, Y., Inomata, Y., **Hardiansyah, A.**, & Kida, T. (2024). Synergistic Functionalization of *Graphene* Oxide: Electrochemical Devices and Ritter Catalysis. *The Journal of Physical Chemistry C*, 128(14), 5860–5866. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.3c07871>
- Amiryaghoubi, N., Fathi, M., Barar, J., Omidian, H., & Omidi, Y. (2022). Recent advances in *graphene*-based polymer composite scaffolds for bone/cartilage tissue engineering. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 72, 103360. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jddst.2022.103360>
- Baig, N., Kammakakam, I., & Falath, W. (2021). Nanomaterials: a review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges. *Materials Advances*, 2(6), 1821–1871. <https://doi.org/10.1039/D0MA00807A>
- Chen, D., Feng, H., & Li, J. (2012). *Graphene* Oxide: Preparation, Functionalization, and Electrochemical Applications. *Chemical Reviews*, 112(11), 6027–6053. <https://doi.org/10.1021/cr300115g>
- Cheng, Y.-W., Lin, Y.-Y., Liu, C.-L., Hung, K.-Y., Barveen, N.R., Tseng, C.-H., Cheng, P.-Y., & **Hardiansyah, A.** (2024). Zwitterionic functional layer modified electrospun polyurethane nanofiber membrane incorporating silver nanoparticles for enhanced antibacterial applications. *Surface and Coatings Technology*, 484, 130865. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.130865>

- Chua, C. K., & Pumera, M. (2014). Chemical reduction of *graphene* oxide: a synthetic chemistry viewpoint. *Chemical Society Reviews*, 43(1), 291–312. <https://doi.org/10.1039/C3CS60303B>
- Destyorini, F., Amalia, W. C., Irmawati, Y., **Hardiansyah, A.**, Priyono, S., Aulia, F., Oktaviano, H. S., Hsu, Y.-I., Yudianti, R., & Uyama, H. (2022). High Graphitic Carbon Derived from Coconut Coir Waste by Promoting Potassium Hydroxide in the Catalytic Graphitization Process for Lithium-Ion Battery Anodes. *Energy & Fuels*, 36(10), 5444–5455. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.2c00632>
- Destyorini, F., Yudianti, R., Irmawati, Y., **Hardiansyah, A.**, Hsu, Y.-I., & Uyama, H. (2021). Temperature driven structural transition in the nickel-based catalytic graphitization of coconut coir. *Diamond and Related Materials*, 117, 108443. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.diamond.2021.108443>
- Dimiev, A. M. (2016). Mechanism of Formation and Chemical Structure of *Graphene* Oxide. In *Graphene Oxide* (pp. 36–84). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119069447.ch2>
- Dreyer, D. R., Park, S., Bielawski, C. W., & Ruoff, R. S. (2010). The chemistry of *graphene* oxide. *Chemical Society Reviews*, 39(1), 228–240. <https://doi.org/10.1039/B917103G>
- Ege, D., Kamali, A. R., & Boccaccini, A. R. (2017). *Graphene* Oxide/Polymer-Based Biomaterials. *Advanced Engineering Materials*, 19(12), 1700627. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/adem.201700627>
- Eigler, S., & Dimiev, A. M. (2016). Characterization Techniques. In *Graphene Oxide* (pp. 85–120). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119069447.ch3>
- Ezra, Krismastuti, F. S. H., Arutanti, O., Aryana, N., **Hardiansyah, A.**, & Nugroho, A. (2023). Irradiation time dependent of the ZnO/GO composite formation on the photodegradation of Rhodamine B. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1201(1), 012083. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1201/1/012083>

- Fahmy Taha, M. H., Ashraf, H., & Caesarendra, W. (2020). A brief description of cyclic voltammetry transducer-based non-enzymatic glucose biosensor using synthesized graphene electrodes. *Applied System Innovation*, 3(3), 32.
- Fallahazad, P. (2023). Rational and key strategies toward enhancing the performance of *graphene*/silicon solar cells. *Materials Advances*, 4(8), 1876–1899. <https://doi.org/10.1039/D2MA00955B>
- Fikriyyah, A. K., Chaldun, E. R., & **Hardiansyah, A.** (2018). Utilization of soybean curd residue for carbon-based adsorbent material and its characterization. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 160(1), 012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/160/1/012008>
- Geim, A. K., & Novoselov, K. S. (2007). The rise of *graphene*. *Nature Materials*, 6(3), 183–191. <https://doi.org/10.1038/nmat1849>
- Hanif, W., **Hardiansyah, A.**, Randy, A., & Asri, L. A. T. W. (2021). Physically crosslinked PVA/*graphene*-based materials/aloë vera hydrogel with antibacterial activity. *RSC Advances*, 11(46), 29029–29041. <https://doi.org/10.1039/D1RA04992E>
- Hardiansyah, A.**, Aditya, D. M., Budiman, W. J., Rahayu, S., Alvan, F. M., & Karim, G. (2022). Fabrication and evaluation of *graphene*-based materials through electrochemical exfoliation and expansion mechanism. *AIP Conference Proceedings*, 2652(1), 050016. <https://doi.org/10.1063/5.0107096>
- Hardiansyah, A.**, Budiman, W. J., Utomo, M. S., Yudasari, N., Suhandi, A., Arutanti, O., Irmawati, Y., & Destyorini, F. (2021). Characterization of microwave irradiation-assisted transformation of reduced *graphene* oxide for photocatalytic material-based water treatment application. *AIP Conference Proceedings*, 2382(1), 040001. <https://doi.org/10.1063/5.0060027>
- Hardiansyah, A.**, Budiman, W. J., Yudasari, N., Isnaeni, Kida, T., & Wibowo, A. (2021). Facile and Green Fabrication of Microwave-Assisted Reduced *Graphene* Oxide/Titanium Dioxide Nanocomposites as Photocatalysts for Rhodamine 6G Degradation. *ACS Omega*, 6(47), 32166–32177. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c04966>

- Hardiansyah, A.,** Chaldun, E. R., Nuryadin, B. W., Fikriyyah, A. K., Subhan, A., Ghozali, M., & Purwasasmita, B. S. (2018). Preparation and Characterization of Biomass-Derived Advanced Carbon Materials for Lithium-Ion Battery Applications. *Journal of Electronic Materials*, 47(7), 4028–4037. <https://doi.org/10.1007/s11664-018-6289-3>
- Hardiansyah, A.,** Chen, A.-Y., Liao, H.-L., Yang, M.-C., Liu, T.-Y., Chan, T.-Y., Tsou, H.-M., Kuo, C.-Y., Wang, J.-K., & Wang, Y.-L. (2015). Core-shell of FePt@SiO₂-Au magnetic nanoparticles for rapid SERS detection. *Nanoscale Research Letters*, 10(1), 412. <https://doi.org/10.1186/s11671-015-1111-0>
- Hardiansyah, A.,** Destyorini, F., Irmawati, Y., Yang, M.-C., Liu, C.-M., Chaldun, E. R., Yung, M.-C., & Liu, T. Y. (2019). Characterizations of doxorubicin-loaded PEGylated magnetic liposomes for cancer cells therapy. *Journal of Polymer Research*, 26(12), 282. <https://doi.org/10.1007/s10965-019-1964-5>
- Hardiansyah, A.,** Huang, L.-Y., Yang, M.-C., Liu, T.-Y., Tsai, S.-C., Yang, C.-Y., Kuo, C.-Y., Chan, T.-Y., Zou, H.-M., Lian, W.-N., & Lin, C.-H. (2014). Magnetic liposomes for colorectal cancer cells therapy by high-frequency magnetic field treatment. *Nanoscale Research Letters*, 9(1), 497. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-497>
- Hardiansyah, A.,** Huang, L.-Y., Yang, M.-C., Purwasasmita, B. S., Liu, T.-Y., Kuo, C.-Y., Liao, H.-L., Chan, T.-Y., Tzou, H.-M., & Chiu, W.-Y. (2015). Novel pH-sensitive drug carriers of carboxymethyl-hexanoyl chitosan (Chitosonic® Acid) modified liposomes. *RSC Advances*, 5(30), 23134–23143. <https://doi.org/10.1039/C4RA14834G>
- Hardiansyah, A.,** Randy, A., Dewi, R. T., Angelina, M., Yudasari, N., Rahayu, S., Ulfah, I. M., Maryani, F., Cheng, Y.-W., & Liu, T.-Y. (2022). Magnetic *Graphene*-Based Nanosheets with Pluronic F127-Chitosan Biopolymers Encapsulated α -Mangosteen Drugs for Breast Cancer Cells Therapy. *Polymers*, 14(15). <https://doi.org/10.3390/polym14153163>

- Hardiansyah, A.**, Saputra, G. M. A., Hikmat, H., Kusfarida, Y. E., Septiani, N. L. W., Randy, A., Hermawan, A., Yulianto, B., Liu, T.-Y., & Kida, T. (2023). Electrochemical evaluation of magnetic reduced *graphene* oxide nanosheet-modified glassy carbon electrode on dopamine electrochemical sensor for Parkinson's diagnostic application. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 70(8), 1665–1682. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jccs.202300197>
- Hardiansyah, A.**, Sunnardianto, G. K., Pradanawati, S. A., Aditya, D. M., Kida, T., & Liu, T.-Y. (2024). Investigating the impact of nitrogen-doping on the characteristics and performance of reduced *graphene* oxide for lithium-ion batteries anode through experimental and theoretical study. *Materials Today Communications*, 38, 107740. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.107740>
- Hardiansyah, A.**, Tanadi, H., Yang, M.-C., & Liu, T.-Y. (2015). Electrospinning and antibacterial activity of chitosan-blended poly(lactic acid) nanofibers. *Journal of Polymer Research*, 22(4), 59. <https://doi.org/10.1007/s10965-015-0704-8>
- Hardiansyah, A.**, Yang, M.-C., Liao, H.-L., Cheng, Y.-W., Destyorini, F., Irmawati, Y., Liu, C.-M., Yung, M.-C., Hsu, C.-C., & Liu, T.-Y. (2020). Magnetic *Graphene*-Based Sheets for Bacteria Capture and Destruction Using a High-Frequency Magnetic Field. *Nanomaterials*, 10(4), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nano10040674>
- Hardiansyah, A.**, Yang, M.-C., Liu, T.-Y., Kuo, C.-Y., Huang, L.-Y., & Chan, T.-Y. (2017). Hydrophobic Drug-Loaded PEGylated Magnetic Liposomes for Drug-Controlled Release. *Nanoscale Research Letters*, 12(1), 355. <https://doi.org/10.1186/s11671-017-2119-4>
- Harito, C., Khalil, M., Septiani, N. L. W., Dewi, K. K., **Hardiansyah, A.**, Yulianto, B., & Walsh, F. C. (2022). Trends in nanomaterial-based biosensors for viral detection. *Nano Futures*, 6(2), 022005. <https://doi.org/10.1088/2399-1984/ac701d>

- Harito, C., Zaidi, S. Z. J., Putra, B. R., **Hardiansyah, A.**, Khalil, M., & Yulianto, B. (2022). 2 - Synthesis of *graphene* polymer composites having high filler content. In S. M. Rangappa, J. Parameswaranpillai, V. Ayyappan, M. G. Motappa, S. Siengchin, & C. Soutis (Eds.), *Innovations in Graphene-Based Polymer Composites* (pp. 49–60). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823789-2.00002-9>
- Hermawan, A., Destyorini, F., **Hardiansyah, A.**, Alviani, V. N., Mayangsari, W., Wibisono, Septiani, N. L. W., Yudianti, R., & Yulianto, B. (2023). High energy density asymmetric supercapacitors enabled by La-induced defective MnO₂ and biomass-derived activated carbon. *Materials Letters*, 351, 135031. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2023.135031>
- Huang, L.-Y., Liu, T.-Y., Liu, T.-Y., Mevold, A., **Hardiansyah, A.**, Liao, H.-C., Lin, C.-C., & Yang, M.-C. (2013). Nanohybrid structure analysis and biomolecule release behavior of polysaccharide-CDHA drug carriers. *Nanoscale Research Letters*, 8(1), 417. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-8-417>
- Huang, X., Yin, Z., Wu, S., Qi, X., He, Q., Zhang, Q., Yan, Q., Boey, F., & Zhang, H. (2011). *Graphene-Based Materials: Synthesis, Characterization, Properties, and Applications*. *Small*, 7(14), 1876–1902. <https://doi.org/10.1002/sml.201002009>
- Irmawati, Y., Mauludi, E. M., Destyorini, F., **Hardiansyah, A.**, Oktaviano, H. S., Nugroho, A., & Yudianti, R. (2022). One-pot synthesis of CoFe alloy supported on N-doped carbon as Pt-free oxygen reduction catalysts. *AIP Conference Proceedings*, 2652(1), 040002. <https://doi.org/10.1063/5.0106430>
- Juang, R.-S., Wang, K.-S., Kuan, T.-Y., Chu, Y.-J., Jeng, R.-J., **Hardiansyah, A.**, Liu, S.-H., & Liu, T.-Y. (2024). Electric field-stimulated Raman scattering enhancing biochips fabricated by Au nano-islands deposited on laser-scribed 3D *graphene* for uremic toxins detection. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 154, 105115. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2023.105115>

- Khaerudini, D. S., Winarto, H., **Hardiansyah, A.**, Alva, S., Khaerudini, D. S., Rustana, C. E., Junia, D., & Dirgantara, F. D. (2019). New and Renewable Catalyst Based on Electro-Activated Carbon for Hydrogen Generation. 2019 International Conference on Technologies and Policies in Electric Power & Energy, 1–6. <https://doi.org/10.1109/IEEECONF48524.2019.9102628>
- Ku, S. H., Lee, M., & Park, C. B. (2013). Carbon-Based Nanomaterials for Tissue Engineering. *Advanced Healthcare Materials*, 2(2), 244–260. <https://doi.org/10.1002/adhm.201200307>
- Kuila, T., Bose, S., Khanra, P., Mishra, A. K., Kim, N. H., & Lee, J. H. (2011). Recent advances in *graphene*-based biosensors. *Biosensors and Bioelectronics*, 26(12), 4637–4648. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2011.05.039>
- Kuo, C.-Y., Liu, T.-Y., Chan, T.-Y., Tsai, S.-C., **Hardiansyah, A.**, Huang, L.-Y., Yang, M.-C., Lu, R.-H., Jiang, J.-K., Yang, C.-Y., Lin, C.-H., & Chiu, W.-Y. (2016). Magnetically triggered nanovehicles for controlled drug release as a colorectal cancer therapy. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 140, 567–573. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2015.11.008>
- Kuo, C.-Y., Liu, T.-Y., **Hardiansyah, A.**, & Chiu, W.-Y. (2016). Magnetically polymeric nanocarriers for targeting delivery of curcumin and hyperthermia treatments toward cancer cells. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 54(17), 2706–2713. <https://doi.org/10.1002/pola.28150>
- Kuo, C.-Y., Liu, T.-Y., **Hardiansyah, A.**, Lee, C.-F., Wang, M.-S., & Chiu, W.-Y. (2014). Self-assembly behaviors of thermal- and pH- sensitive magnetic nanocarriers for stimuli-triggered release. *Nanoscale Research Letters*, 9(1), 520. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-520>
- Kuo, C.-Y., Liu, T.-Y., Wang, K.-S., **Hardiansyah, A.**, Lin, Y.-T., Chen, H.-Y., & Chiu, W.-Y. (2017). Magnetic and Thermal-sensitive Poly(N-isopropylacrylamide)-based Microgels for Magnetically Triggered Controlled Release. *JoVE*, 125, e55648. <https://doi.org/10.3791/55648>

- Laraba, S. R., Luo, W., Rezzoug, A., Zahra, Q. ul ain, Zhang, S., Wu, B., Chen, W., Xiao, L., Yang, Y., Wei, J., & Li, Y. (2022). *Graphene*-based composites for biomedical applications. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 15(3), 724–748. <https://doi.org/10.1080/17518253.2022.2128698>
- Lerf, A. (2016). Graphite Oxide Story – From the Beginning Till the *Graphene* Hype. In *Graphene Oxide* (pp. 1–35). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119069447.ch1>
- Lesiak, B., Trykowski, G., Tóth, J., Biniak, S., Kövér, L., Rangan, N., Stobinski, L., & Malolepszy, A. (2021). Chemical and structural properties of reduced *graphene* oxide—dependence on the reducing agent. *Journal of Materials Science*, 56(5), 3738–3754. <https://doi.org/10.1007/s10853-020-05461-1>
- Liang, X., Li, N., Zhang, R., Yin, P., Zhang, C., Yang, N., Liang, K., & Kong, B. (2021). Carbon-based SERS biosensor: from substrate design to sensing and bioapplication. *NPG Asia Materials*, 13(1), 8. <https://doi.org/10.1038/s41427-020-00278-5>
- Liu, J., Cui, L., & Losic, D. (2013). *Graphene* and *graphene* oxide as new nanocarriers for drug delivery applications. *Acta Biomaterialia*, 9(12), 9243–9257. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.actbio.2013.08.016>
- Long, Z., Li, Q., Wei, T., Zhang, G., & Ren, Z. (2020). Historical development and prospects of photocatalysts for pollutant removal in water. *Journal of Hazardous Materials*, 395, 122599. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122599>
- Mevold, A. H. H., Hsu, W.-W., **Hardiansyah, A.**, Huang, L.-Y., Yang, M.-C., Liu, T.-Y., Chan, T.-Y., Wang, K.-S., Su, Y.-A., Jeng, R.-J., Wang, J.-K., & Wang, Y.-L. (2015). Fabrication of Gold Nanoparticles/*Graphene*-PDDA Nanohybrids for Bio-detection by SERS Nanotechnology. *Nanoscale Research Letters*, 10(1), 397. <https://doi.org/10.1186/s11671-015-1101-2>
- Mohan, V. B., Lau, K., Hui, D., & Bhattacharyya, D. (2018). *Graphene*-based materials and their composites: A review on production, applications and product limitations. *Composites*

- Part B: Engineering, 142, 200–220. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.01.013>
- Nugroho, A., Wahyudhi, A., Oktaviano, H. S., Yudianti, R., **Hardiansyah, A.**, Destyorini, F., & Irmawati, Y. (2022). Effect of Iron Loading on Controlling Fe/N–C Electrocatalyst Structure for Oxygen Reduction Reaction. *ChemistrySelect*, 7(45), e202202042. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/slct.202202042>
- Peng, G.-Z., **Hardiansyah, A.**, Lin, H.-T., Lee, R.-Y., Kuo, C.-Y., Pu, Y.-C., & Liu, T.-Y. (2022). Photocatalytic degradation and reusable SERS detection by Ag nanoparticles immobilized on g-C₃N₄/graphene oxide nanosheets. *Surface and Coatings Technology*, 435, 128212. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128212>
- Putri, W. B. K., Sausan, Z. N., Estri, A. N., Asri, N. S., & **Hardiansyah, A.** (2024). Morphological and magnetic properties of electrospun Fe₃O₄-polyvinylidene fluoride. *AIP Conference Proceedings*, 3003(1), 020102. <https://doi.org/10.1063/5.0186303>
- Raharjo, A. B., Putra, R. D. A., Indayaningsih, N., Srifiana, Y., **Hardiansyah, A.**, Irmawati, Y., Widodo, H., & Destyorini, F. (2020). Preparation of polyvinyl alcohol/asiaticoside/chitosan membrane nano-composite using electrospinning technique for wound dressing. *AIP Conference Proceedings*, 2256(1), 030023. <https://doi.org/10.1063/5.0014545>
- Rowley-Neale, S. J., Randviir, E. P., Abo Dena, A. S., & Banks, C. E. (2018). An overview of recent applications of reduced graphene oxide as a basis of electroanalytical sensing platforms. *Applied Materials Today*, 10, 218–226. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apmt.2017.11.010>
- Sampora, Y., **Hardiansyah, A.**, Hikmat, Khaerudini, D. S., Burhani, D., Sondari, D., Septiyanti, M., & Septevani, A. A. (2022). Synthesis and characterization of magnetite nanoparticle for removal of heavy metal ions from aqueous solutions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1017(1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1017/1/012017>

- Septiani, N. L. W., Shukri, G., Saputro, A. G., Nugraha, Karim, M. R., Al-Mubaddel, F., **Hardiansyah, A.**, Yamauchi, Y., Kaneti, Y. V., & Yulianto, B. (2022). Palm Sugar-Induced Formation of Hexagonal Tungsten Oxide with Nanorod-Assembled Three-Dimensional Hierarchical Frameworks for Nitrogen Dioxide Sensing. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 10(46), 15035–15045. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c03315>
- Setiawan, S., **Hardiansyah, A.**, Kartikowati, C. W., Arif, A. F., Priatmoko, S., & Arutanti, O. (2021). Microwave-Assisted Synthesis of TiO₂/GO Composite and Its Adsorption-Photocatalysis Property under Visible Light. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1143(1), 012055. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1143/1/012055>
- Singh, V., Joung, D., Zhai, L., Das, S., Khondaker, S. I., & Seal, S. (2011). *Graphene* based materials: Past, present and future. *Progress in Materials Science*, 56(8), 1178–1271. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2011.03.003>
- Smith, A. T., LaChance, A. M., Zeng, S., Liu, B., & Sun, L. (2019). Synthesis, properties, and applications of *graphene* oxide/reduced *graphene* oxide and their nanocomposites. *Nano Materials Science*, 1(1), 31–47. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nanoms.2019.02.004>
- Sonda, K., Kodama, T., Wea Siga, M. D., Masumoto, K., Iwai, M., Fadil, M., Ahmad, M. S., Christopher Agutaya, J. K., Inomata, Y., Quitain, A. T., **Hardiansyah, A.**, & Kida, T. (2023). Selective Detection of CO Using Proton-Conducting *Graphene* Oxide Membranes with Pt-Doped SnO₂ Electrocatalysts: Mechanistic Study by Operando DRIFTS. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 15(45), 52724–52734. <https://doi.org/10.1021/acsami.3c10349>
- Sun, X., Liu, Z., Welsher, K., Robinson, J. T., Goodwin, A., Zanic, S., & Dai, H. (2008). Nano-*graphene* oxide for cellular imaging and drug delivery. *Nano Research*, 1(3), 203–212. <https://doi.org/10.1007/s12274-008-8021-8>

- Thomas, H. R., Day, S. P., Woodruff, W. E., Vallés, C., Young, R. J., Kinloch, I. A., Morley, G. W., Hanna, J. V, Wilson, N. R., & Rourke, J. P. (2013). Deoxygenation of *Graphene* Oxide: Reduction or Cleaning? *Chemistry of Materials*, 25(18), 3580–3588. <https://doi.org/10.1021/cm401922e>
- Vacanti, C. A. (2006). The history of tissue engineering. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 10(3), 569–576. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1582-4934.2006.tb00421.x>
- Wardhani, R. A. K., Primadona, I., & **Hardiansyah, A.** (2022). Electrospun α -mangosteen–chitosan–poly(ethylene oxide) nanofibers. *Materials Research Express*, 9(11), 115005. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac9de2>
- Wulan Septiani, N. L., Chowdhury, S., **Hardiansyah, A.**, Rinawati, M., Yeh, M.-H., Nara, H., Yamauchi, Y., Kaneti, Y. V., & Yulianto, B. (2024). Selective synthesis of monodisperse bimetallic nickel–cobalt phosphates with different nanoarchitectures for battery-like supercapacitors. *Journal of Materials Chemistry A*, 12(23), 14045–14058. <https://doi.org/10.1039/D3TA06584G>
- Yang, M.-C., **Hardiansyah, A.**, Cheng, Y.-W., Liao, H.-L., Wang, K.-S., Randy, A., Harito, C., Chen, J.-S., Jeng, R.-J., & Liu, T.-Y. (2022). Reduced *graphene* oxide nanosheets decorated with core-shell of Fe₃O₄-Au nanoparticles for rapid SERS detection and hyperthermia treatment of bacteria. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 281, 121578. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.saa.2022.121578>
- Yang, Y., Asiri, A. M., Tang, Z., Du, D., & Lin, Y. (2013). *Graphene* based materials for biomedical applications. *Materials Today*, 16(10), 365–373. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mattod.2013.09.004>
- Yudasari, N., **Hardiansyah, A.**, Herbani, Y., Isnaeni, Suliyanti, M. M., & Djuhana, D. (2023). Single-step laser ablation synthesis of ZnO–Ag nanocomposites for broad-spectrum dye photodegradation and bacterial photoinactivation. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 441, 114717. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2023.114717>

- Yulianti, R. T., Irmawati, Y., Destyorini, F., Ghozali, M., Suhandi, A., Kartolo, S., **Hardiansyah, A.**, Byun, J.-H., Fauzi, M. H., & Yudianti, R. (2021). Highly Stretchable and Sensitive Single-Walled Carbon Nanotube-Based Sensor Decorated on a Polyether Ester Urethane Substrate by a Low Hydrothermal Process. *ACS Omega*, 6(50), 34866–34875. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05543>
- Yulianti, R. T., Irmawati, Y., Destyorini, F., **Hardiansyah, A.**, Yudianti, R., & Oktaviano, H. S. (2020). Facile Glycine-Assisted Synthesis of Non-Noble Metal Fe-N/C Electrocatalyst for Oxygen Reduction Reaction. *ECS Meeting Abstracts*, MA2020-02(53), 3850. <https://doi.org/10.1149/MA2020-02533850mtgabs>
- Zheng, S., Tian, Y., Ouyang, J., Shen, Y., Wang, X., & Luan, J. (2022). Carbon nanomaterials for drug delivery and tissue engineering. *Frontiers in Chemistry*, 10. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.990362>
- Zheng, X., Zhang, P., Fu, Z., Meng, S., Dai, L., & Yang, H. (2021). Applications of nanomaterials in tissue engineering. *RSC Advances*, 11(31), 19041–19058. <https://doi.org/10.1039/D1RA01849C>
- Zhu, Y., Murali, S., Cai, W., Li, X., Suk, J. W., Potts, J. R., & Ruoff, R. S. (2010). *Graphene and Graphene Oxide: Synthesis, Properties, and Applications*. *Advanced Materials*, 22(35), 3906–3924. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/adma.201001068>

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Bagian dari Buku Internasional

1. **Hardiansyah, A.**, Septiani, N.L.W., Farandy, A.R., Meiliana, R., & Febrian, R. (2024). Development of *Graphene* as Advanced Functional Material for Carbon Capture Technology: A Membrane Technology Approach for CCUS. *Energy Transition and Carbon Neutrality in ASEAN* (pp. 149-172). World Scientific. https://doi.org/10.1142/9789811288050_0006
2. Harito, C., Zaidi, S. Z. J., Putra, B. R., **Hardiansyah, A.**, Khalil, M., & Yulianto, B. (2022). 2 - Synthesis of *graphene* polymer composites having high filler content. In S. M. Rangappa, J. Parameswaranpillai, V. Ayyappan, M. G. Motappa, S. Siengchin, & C. Soutis (Eds.), *Innovations in Graphene-Based Polymer Composites* (pp. 49-60). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823789-2.00002-9>

Jurnal Internasional

3. Aditya, D. M., & **Hardiansyah, A.** (2022). Spectroscopic studies on reduced *graphene* oxide behaviour in multi-step thermal reduction. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 13(015008). <https://doi.org/10.1088/2043-6262/ac5dc9>
4. Ahmad, M. S., Nishina, Y., Inomata, Y., **Hardiansyah, A.**, & Kida, T. (2024). Synergistic Functionalization of *Graphene* Oxide: Electrochemical Devices and Ritter Catalysis. *The Journal of Physical Chemistry C*, 128(14), 5860–5866. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.3c07871>

5. Cheng, Y.-W., Lin, Y.-Y., Liu, C.-L., Hung, K.-Y., Barveen, N. R., Tseng, C.-H., Cheng, P.-Y., & **Hardiansyah, A.** (2024). Zwitterionic functional layer modified electrospun polyurethane nanofiber membrane incorporating silver nanoparticles for enhanced antibacterial applications. *Surface and Coatings Technology*, 484, 130865. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.130865>
6. Destyorini, F., Amalia, W. C., Irmawati, Y., **Hardiansyah, A.**, Priyono, S., Aulia, F., Oktaviano, H. S., Hsu, Y.-I., Yudianti, R., & Uyama, H. (2022). High Graphitic Carbon Derived from Coconut Coir Waste by Promoting Potassium Hydroxide in the Catalytic Graphitization Process for Lithium-Ion Battery Anodes. *Energy & Fuels*, 36(10), 5444-5455. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.2c00632>
7. Destyorini, F., Irmawati, Y., **Hardiansyah, A.**, Widodo, H., Yahya, I. N. D., Indayaningsih, N., Yudianti, R., Hsu, Y.-I., & Uyama, H. (2021). Formation of nanostructured graphitic carbon from coconut waste via low-temperature catalytic graphitisation. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 24(2), 514-523. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.06.011>
8. Destyorini, F., Yudianti, R., Irmawati, Y., **Hardiansyah, A.**, Hsu, Y.-I., & Uyama, H. (2021). Temperature driven structural transition in the nickel-based catalytic graphitization of coconut coir. *Diamond and Related Materials*, 117, 108443. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.diamond.2021.108443>
9. Djustiana, N., Hasratiningsih, Z., Karlina, E., Febrida, R., Takarini, V., Cahyanto, A., **Hardiansyah, A.**, & Sunendar, B. (2016). Hardness Evaluation of Dental Composite with Ceramic Fillers. *Key Engineering Materials*, 696, 74-79. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.696.74>
10. Hanif, W., **Hardiansyah, A.**, Randy, A., & Asri, L. A. T. W. (2021). Physically crosslinked PVA/*graphene*-based materials/aloë vera hydrogel with antibacterial activity [10.1039/D1RA04992E]. *RSC Advances*, 11(46), 29029-29041. <https://doi.org/10.1039/D1RA04992E>

11. **Hardiansyah, A.**, Budiman, W. J., Yudasari, N., Isnaeni, Kida, T., & Wibowo, A. (2021). Facile and Green Fabrication of Microwave-Assisted Reduced *Graphene* Oxide/Titanium Dioxide Nanocomposites as Photocatalysts for Rhodamine 6G Degradation. *ACS Omega*, 6(47), 32166-32177. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c04966>
12. **Hardiansyah, A.**, Chaldun, E. R., Nuryadin, B. W., Fikriyyah, A. K., Subhan, A., Ghozali, M., & Purwasasmita, B. S. (2018). Preparation and Characterization of Biomass-Derived Advanced Carbon Materials for Lithium-Ion Battery Applications. *Journal of Electronic Materials*, 47(7), 4028-4037. <https://doi.org/10.1007/s11664-018-6289-3>
13. **Hardiansyah, A.**, Chen, A.-Y., Liao, H.-L., Yang, M.-C., Liu, T.-Y., Chan, T.-Y., Tsou, H.-M., Kuo, C.-Y., Wang, J.-K., & Wang, Y.-L. (2015). Core-shell of FePt@SiO₂-Au magnetic nanoparticles for rapid SERS detection. *Nanoscale Research Letters*, 10(1), 412. <https://doi.org/10.1186/s11671-015-1111-0>
14. **Hardiansyah, A.**, Destyorini, F., Irmawati, Y., Yang, M.-C., Liu, C.-M., Chaldun, E. R., Yung, M.-C., & Liu, T. Y. (2019). Characterizations of doxorubicin-loaded PEGylated magnetic liposomes for cancer cells therapy. *Journal of Polymer Research*, 26(12), 282. <https://doi.org/10.1007/s10965-019-1964-5>
15. **Hardiansyah, A.**, Huang, L.-Y., Yang, M.-C., Liu, T.-Y., Tsai, S.-C., Yang, C.-Y., Kuo, C.-Y., Chan, T.-Y., Zou, H.-M., Lian, W.-N., & Lin, C.-H. (2014). Magnetic liposomes for colorectal cancer cells therapy by high-frequency magnetic field treatment. *Nanoscale Research Letters*, 9(1), 497. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-497>
16. **Hardiansyah, A.**, Huang, L.-Y., Yang, M.-C., Purwasasmita, B. S., Liu, T.-Y., Kuo, C.-Y., Liao, H.-L., Chan, T.-Y., Tzou, H.-M., & Chiu, W.-Y. (2015). Novel pH-sensitive drug carriers of carboxymethyl-hexanoyl chitosan (Chitosonic® Acid) modified liposomes [10.1039/C4RA14834G]. *RSC Advances*, 5(30), 23134-23143. <https://doi.org/10.1039/C4RA14834G>

17. **Hardiansyah, A.**, Randy, A., Dewi, R. T., Angelina, M., Yudasari, N., Rahayu, S., Ulfah, I. M., Maryani, F., Cheng, Y.-W., & Liu, T.-Y. (2022). Magnetic *Graphene*-Based Nanosheets with Pluronic F127-Chitosan Biopolymers Encapsulated α -Mangosteen Drugs for Breast Cancer Cells Therapy. *Polymers*, 14(15).
18. **Hardiansyah, A.**, Saputra, G. M. A., Hikmat, H., Kusfarida, Y. E., Septiani, N. L. W., Randy, A., Hermawan, A., Yulianto, B., Liu, T.-Y., & Kida, T. (2023). Electrochemical evaluation of magnetic reduced *graphene* oxide nanosheet-modified glassy carbon electrode on dopamine electrochemical sensor for Parkinson's diagnostic application. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 70(8), 1665-1682. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jccs.202300197>
19. **Hardiansyah, A.**, Sunnardianto, G. K., Pradanawati, S. A., Aditya, D. M., Kida, T., & Liu, T.-Y. (2024). Investigating the impact of nitrogen-doping on the characteristics and performance of reduced *graphene* oxide for lithium-ion batteries anode through experimental and theoretical study. *Materials Today Communications*, 38. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.107740>
20. **Hardiansyah, A.**, Tanadi, H., Yang, M.-C., & Liu, T.-Y. (2015). Electrospinning and antibacterial activity of chitosan-blended poly(lactic acid) nanofibers. *Journal of Polymer Research*, 22(4), 59. <https://doi.org/10.1007/s10965-015-0704-8>
21. **Hardiansyah, A.**, Yang, M.-C., Liao, H.-L., Cheng, Y.-W., Destyorini, F., Irmawati, Y., Liu, C.-M., Yung, M.-C., Hsu, C.-C., & Liu, T.-Y. (2020). Magnetic *Graphene*-Based Sheets for Bacteria Capture and Destruction Using a High-Frequency Magnetic Field. *Nanomaterials*, 10(4).
22. **Hardiansyah, A.**, Yang, M.-C., Liu, T.-Y., Kuo, C.-Y., Huang, L.-Y., & Chan, T.-Y. (2017). Hydrophobic Drug-Loaded PEGylated Magnetic Liposomes for Drug-Controlled Release. *Nanoscale Research Letters*, 12(1), 355. <https://doi.org/10.1186/s11671-017-2119-4>

23. Harito, C., Khalil, M., Septiani, N. L. W., Dewi, K. K., **Hardiansyah, A.**, Yulianto, B., & Walsh, F. C. (2022). Trends in nano-material-based biosensors for viral detection. *Nano Futures*, 6(2), 022005. <https://doi.org/10.1088/2399-1984/ac701d>
24. Harmaji, A., **Hardiansyah, A.**, Widianingsih, N. A., Jannah, R. M., Soepriyanto, S. (2022). The effect of Basic Oxygen Furnace, Blast Furnace, and Kanbara Reactor Slag as Reinforcement to Cement Based Mortar. *Journal of Physical Science and Engineering*. <https://doi.org/10.17977/um024v7i12022p056>
25. Hasratiningsih, Z., Cahyanto, A., Takarini, V., Karlina, E., Djustiana, N., Febrida, R., Usri, K., Faza, Y., **Hardiansyah, A.**, & Purwasasmita, B. S. (2016). Basic Properties of PMMA Reinforced Using Ceramics Particles of ZrO₂-Al₂O₃-SiO₂ Coated with Two Types of Coupling Agents. *Key Engineering Materials*, 696, 93-98. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.696.93>
26. Hermawan, A., Destyorini, F., **Hardiansyah, A.**, Alviani, V. N., Mayangsari, W., Wibisono, Septiani, N. L. W., Yudianti, R., & Yulianto, B. (2023). High energy density asymmetric supercapacitors enabled by La-induced defective MnO₂ and biomass-derived activated carbon. *Materials Letters*, 351, 135031. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2023.135031>
27. Hermawan, A., Kinasih, N.S.R., Radiana, R., Nursyahid, A., Rahayu, S., Saputra, D.A., Puspasari, V., Septiani, N.L.W., **Hardiansyah, A.**, Gumelar, M.D., Dewi, E.L., Aziz, A., Yin, S. (2024). Quaternary layered double hydroxides from spent battery as electrocatalysts for the oxygen evolution reaction. *International Journal of Hydrogen Energy*, 89, 254-263. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.09.344>
28. Hermawan, A., Salsabilla, Z., Prasetyo, V. G., Irmawati, Y., Septiani, N. L. W., **Hardiansyah, A.**, Wismogroho, A. S., & Handayani, M. (2024). Molten salt synthesis of cobalt-based electrodes: investigating the effect of the salt on phase, morphology, and electrochemical properties. *Journal of Solid State Electrochemistry*. <https://doi.org/10.1007/s10008-024-05945-z>

29. Hidayat, M. I., Adlim, M., Suhartono, S., Hayati, Z., Bakar, N. H. H. A., Ilham, Z., & **Hardiansyah, A.** (2024). Reusability and regeneration of antibacterial filter immobilized zinc oxide nanoparticles on white silica gel beads coated with chitosan. *South African Journal of Chemical Engineering*, 50, 200–208. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2024.08.007>
30. Huang, L.-Y., Liu, T.-Y., Liu, T.-Y., Mevold, A., **Hardiansyah, A.**, Liao, H.-C., Lin, C.-C., & Yang, M.-C. (2013). Nanohybrid structure analysis and biomolecule release behavior of polysaccharide-CDHA drug carriers. *Nanoscale Research Letters*, 8(1), 417. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-8-417>
31. John, R. A. B., Vijayan, K., Septiani, N. L., **Hardiansyah, A.**, Kumar, A. R., Yulianto, B., & Hermawan, A. (2023). Gas-Sensing Mechanisms and Performances of MXenes and MXene-Based Heterostructures. *Sensors*, 23(21).
32. Juang, R.-S., Wang, K.-S., Kuan, T.-Y., Chu, Y.-J., Jeng, R.-J., **Hardiansyah, A.**, Liu, S.-H., & Liu, T.-Y. (2024). Electric field-stimulated Raman scattering enhancing biochips fabricated by Au nano-islands deposited on laser-scribed 3D *graphene* for uremic toxins detection. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 154, 105115. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtice.2023.105115>
33. Kuo, C.-Y., Liu, T.-Y., Wang, K.-S., **Hardiansyah, A.**, Lin, Y.-T., Chen, H.-Y., & Chiu, W.-Y. (2017). Magnetic and Thermal-sensitive Poly(N-isopropylacrylamide)-based Microgels for Magnetically Triggered Controlled Release. *JoVE*(125), e55648. <https://doi.org/doi:10.3791/55648>
34. Kuo, C.-Y., Liu, T.-Y., Chan, T.-Y., Tsai, S.-C., **Hardiansyah, A.**, Huang, L.-Y., Yang, M.-C., Lu, R.-H., Jiang, J.-K., Yang, C.-Y., Lin, C.-H., & Chiu, W.-Y. (2016). Magnetically triggered nanovehicles for controlled drug release as a colorectal cancer therapy. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 140, 567-573. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2015.11.008>

35. Kuo, C.-Y., Liu, T.-Y., **Hardiansyah, A.**, & Chiu, W.-Y. (2016). Magnetically polymeric nanocarriers for targeting delivery of curcumin and hyperthermia treatments toward cancer cells. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 54(17), 2706-2713. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pola.28150>
36. Kuo, C.-Y., Liu, T.-Y., **Hardiansyah, A.**, Lee, C.-F., Wang, M.-S., & Chiu, W.-Y. (2014). Self-assembly behaviors of thermal- and pH- sensitive magnetic nanocarriers for stimuli-triggered release. *Nanoscale Research Letters*, 9(1), 520. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-520>
37. Mevold, A. H. H., Hsu, W.-W., **Hardiansyah, A.**, Huang, L.-Y., Yang, M.-C., Liu, T.-Y., Chan, T.-Y., Wang, K.-S., Su, Y.-A., Jeng, R.-J., Wang, J.-K., & Wang, Y.-L. (2015). Fabrication of Gold Nanoparticles/*Graphene*-PDDA Nanohybrids for Bio-detection by SERS Nanotechnology. *Nanoscale Research Letters*, 10(1), 397. <https://doi.org/10.1186/s11671-015-1101-2>
38. Ni'mah, Y. L., Hidayatullah, N. A. K., Suprpto, S., Subhan, A., **Hardiansyah, A.** (2022). Recovery of Graphite from Lithium-Ion Batteries Leaching using Sulfuric Acid as Anode Materials. *Moroccan Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v10i3.32667>
39. Ni'mah, Y. L., Suprpto, S., Putri, H. A., Rahmah, F. K., **Hardiansyah, A.** (2022). The Application Of LiMn2O4 Synthesized From Manganese Ore For Lithium- Ion Batteries Cathode. *Rasayan Journal*. <http://doi.org/10.31788/RJC.2022.1546945>
40. Nugroho, A., Wahyudhi, A., Oktaviano, H. S., Yudianti, R., Hardiansyah, A., Destyorini, F., & Irmawati, Y. (2022). Effect of Iron Loading on Controlling Fe/N-C Electrocatalyst Structure for Oxygen Reduction Reaction. *ChemistrySelect*, 7(45), e202202042. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/slct.202202042>
41. Nurdin, D., **Hardiansyah, A.**, Chaldun, E. R., Fikkriyah, A. K., Dharsono, H. D. A., Kurnia, D., & Satari, M. H. (2020). Preparation and Characterization of Terpenoid-Encapsulated PLGA Microparticles and its Antibacterial Activity against *Enterococcus faecalis*. *Key Engineering Materials*, 829, 263-269. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.829.263>

42. Peng, G.-Z., **Hardiansyah, A.**, Lin, H.-T., Lee, R.-Y., Kuo, C.-Y., Pu, Y.-C., & Liu, T.-Y. (2022). Photocatalytic degradation and reusable SERS detection by Ag nanoparticles immobilized on g-C₃N₄/graphene oxide nanosheets. *Surface and Coatings Technology*, 435, 128212. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128212>
43. Putri, W. B. K., Sausan, Z. N., Asri, N. S., Setiadi, E. A., & **Hardiansyah, A.** (2023). Characterization of electrospun polyvinylidene fluoride-loaded iron sand-based Fe₃O₄ nanoparticles. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 14(1), 015003. <https://doi.org/10.1088/2043-6262/acbc70>
44. Sabrina, Q., Ratri, C. R., **Hardiansyah, A.**, Lestariningsih, T., Subhan, A., Rifai, A., Yudianti, R., & Uyama, H. (2021). Preparation and characterization of nanofibrous cellulose as solid polymer electrolyte for lithium-ion battery applications [10.1039/D1RA03480D]. *RSC Advances*, 11(37), 22929-22936. <https://doi.org/10.1039/D1RA03480D>
45. Sabrina, Q., Ratri, C. R., **Hardiansyah, A.**, Lestariningsih, T., Subhan, A., Suliyanti, M. M., Yudasari, N., Yudianti, R., & Uyama, H. (2023). Flexible fibrous structure of bacterial cellulose by synergic role carboxymethyl cellulose and glycerol for LiB polymer electrolyte. *Materials Research Express*, 10(5), 055305. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/acd67c>
46. Septiani, N. L. W., Shukri, G., Saputro, A. G., Nugraha, Karim, M. R., Al-Mubaddel, F., **Hardiansyah, A.**, Yamauchi, Y., Kaneti, Y. V., & Yulianto, B. (2022). Palm Sugar-Induced Formation of Hexagonal Tungsten Oxide with Nanorod-Assembled Three-Dimensional Hierarchical Frameworks for Nitrogen Dioxide Sensing. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 10(46), 15035-15045. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c03315>
47. Sidiqa, A. N., **Hardiansyah, A.**, Chaldun, E. R., & Endro, H. (2020). Preparation and Characterization of Zirconium Oxide-Doped Hydroxyapatite. *Key Engineering Materials*, 829, 54-59. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.829.54>

48. Sonda, K., Kodama, T., Wea Siga, M. D., Masumoto, K., Iwai, M., Fadil, M., Ahmad, M. S., Christopher Agutaya, J. K., Inomata, Y., Quitain, A. T., **Hardiansyah, A.**, & Kida, T. (2023). Selective Detection of CO Using Proton-Conducting *Graphene* Oxide Membranes with Pt-Doped SnO₂ Electrocatalysts: Mechanistic Study by Operando DRIFTS. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 15(45), 52724-52734. <https://doi.org/10.1021/acsami.3c10349>
49. Takarini, V., Rudyawan, A., **Hardiansyah, A.**, Septawendar, R., Prastomo, N., Hasratiningsih, Z., Djustiana, N., & Purwasasmita, B. S. (2017). Synthesis and Characterization of MgPSZ-PMMA Composite by Sol-Gel Modification and Direct Foaming Technique Using Egg Whites. *Key Engineering Materials*, 720, 290-295. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.720.290>
50. Wardhani, R. A. K., Primadona, I., & **Hardiansyah, A.** (2022). Electrospun α -mangosteen-chitosan-poly(ethylene oxide) nanofibers. *Materials Research Express*, 9(11), 115005. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac9de2>
51. Wulan Septiani, N. L., Chowdhury, S., **Hardiansyah, A.**, Rinawati, M., Yeh, M.-H., Nara, H., Yamauchi, Y., Kaneti, Y. V., & Yulianto, B. (2024). Selective synthesis of monodisperse bimetallic nickel-cobalt phosphates with different nanoarchitectures for battery-like supercapacitors [10.1039/D3TA06584G]. *Journal of Materials Chemistry A*. <https://doi.org/10.1039/D3TA06584G>
52. Yang, M.-C., **Hardiansyah, A.**, Cheng, Y.-W., Liao, H.-L., Wang, K.-S., Randy, A., Harito, C., Chen, J.-S., Jeng, R.-J., & Liu, T.-Y. (2022). Reduced *graphene* oxide nanosheets decorated with core-shell of Fe₃O₄-Au nanoparticles for rapid SERS detection and hyperthermia treatment of bacteria. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 281, 121578. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.saa.2022.121578>
53. Yudasari, N., **Hardiansyah, A.**, Herbani, Y., Isnaeni, Suliyanti, M. M., & Djuhana, D. (2023). Single-step laser ablation synthesis of ZnO-Ag nanocomposites for broad-spectrum dye photodegradation and bacterial photoinactivation. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 441, 114717. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2023.114717>

54. Yulianti, R. T., Irmawati, Y., Destyorini, F., Ghozali, M., Suhandi, A., Kartolo, S., **Hardiansyah, A.**, Byun, J.-H., Fauzi, M. H., & Yudianti, R. (2021). Highly Stretchable and Sensitive Single-Walled Carbon Nanotube-Based Sensor Decorated on a Polyether Ester Urethane Substrate by a Low Hydrothermal Process. *ACS Omega*, 6(50), 34866-34875. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05543>

Jurnal Nasional

55. Wijaya, D.S., Djustiana, N., Faza, Y., Cahyanto, A., & **Hardiansyah, A.** (2023). Fabrication and Characterization of Nylon 6 Fiber via Wet Spinning Method for Application as a Reinforcing Material for a Direct Dental Bridge. *Makara Journal of Science*, 27(3), 172-178. <https://doi.org/10.7454/mss.v27i3.1397>
56. Djustiana, N., Faza, Y., & **Hardiansyah, A.** (2021). Cytotoxicity test of PMMA and PMMA-Silica wet spinning microfibers in L-929 primary cell culture as a direct dental bridge reinforcement application. *Padjadjaran Journal of Dental Researchers and Students*, 5(2), 164-168. <https://doi.org/10.24198/pjdrs.v4i1.36304>
57. Rahayu, E. F., Bunnari, B., & **Hardiansyah, A.** (2020). Reduction of *Graphene Oxide*: Controlled Synthesis by Microwave Irradiation. *Molekul*, 15(1), 56-62. <https://doi.org/10.20884/1.jm.2020.15.1.564>
58. Rahayu, S., Saudi, A. U., Tasomara, R., Gumelar, M. D., Utami, W. T., Hapsari, A. U., Raharjo, J., Rifai, A., Khaerudini, D. S., Husin, S., Saputra, D. A., Yuliani, H., Andrameda, Y. A., Taqwatom, G., Arjasa, O. P., Damisih, D., **Hardiansyah, A.**, Pravitasari, R. D., Agustanhakri, A., & Budiman, A. H. (2023). The Calcination Temperature Effect on Crystal Structure of $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$ Cathode Material for Lithium-Ion Batteries. *Journal of Batteries for Renewable Energy and Electric Vehicles*, 1(02), 68-75. <https://doi.org/10.59046/jbrev.v1i02.22>

59. **Hardiansyah, A.**, ER Chaldun, E.R., &Idzni, A.F. (2017). Magnetic Reduced *Graphene* Oxide as Advanced Materials For Adsorption of Metal Ions. Indonesian Journal of Materials Science, 18 (4), 185-189. <https://doi.org/10.17146/jsmi.2017.18.4.4119>

Prosiding Internasional

60. Arham, Tahir, D., Destyorini, F., **Hardiansyah, A.**, Indayaningsih, N., & Khaerudini, D. S. (2019). Crystal structure analysis of double perovskite (Bi,Sr)(Co,Fe)O_{6-δ} for intermediate temperature solid oxide fuel cells (IT-SOFCs): A preliminary study. Journal of Physics: Conference Series, 1191(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1191/1/012018>
61. Chaldun, E. R., **Hardiansyah, A.**, Alliah, H., Rohmah, A. N., Mustofa, M. S., Ghozali, M., & Purwasasmita, B. S. (2017). Utilization of cotton as carbon nanostructure precursor by pyrolysis method. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 60(1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/60/1/012017>
62. Ezra, Krismastuti, F. S. H., Arutanti, O., Aryana, N., **Hardiansyah, A.**, & Nugroho, A. (2023). Irradiation time dependent of the ZnO/GO composite formation on the photodegradation of Rhodamine B. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1201(1), 012083. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1201/1/012083>
63. Fikriyyah, A. K., Chaldun, E. R., & **Hardiansyah, A.** (2018). Utilization of soybean curd residue for carbon-based adsorbent material and its characterization. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 160(1), 012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/160/1/012008>
64. **Hardiansyah, A.**, Aditya, D. M., Budiman, W. J., Rahayu, S., Alvan, F. M., & Karim, G. (2022). Fabrication and evaluation of *graphene*-based materials through electrochemical exfoliation and expansion mechanism. AIP Conference Proceedings, 2652(1), 050016. <https://doi.org/10.1063/5.0107096>

65. **Hardiansyah, A.**, Budiman, W. J., Utomo, M. S., Yudasari, N., Suhandi, A., Arutanti, O., Irmawati, Y., & Destyorini, F. (2021). Characterization of microwave irradiation-assisted transformation of reduced *graphene* oxide for photocatalytic material-based water treatment application. *AIP Conference Proceedings*, 2382(1). <https://doi.org/10.1063/5.0060027>
66. **Hardiansyah, A.**, Irmawati, Y., Destyorini, F., Widodo, H., Indayaningsih, N., Khaerudini, D.S., & Yudiati, R. (2019). Preliminary Study of Preparation and characterizations of carbon-based materials-embedded on nanocomposites fiber for smart textile applications. *Proceeding Indonesian Textile Conference*, 3, 116-123. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3470923>
67. Irmawati, Y., Mauludi, E. M., Destyorini, F., **Hardiansyah, A.**, Oktaviano, H. S., Nugroho, A., & Yudianti, R. (2022). One-pot synthesis of CoFe alloy supported on N-doped carbon as Pt-free oxygen reduction catalysts. *AIP Conference Proceedings*, 2652(1), 040002. <https://doi.org/10.1063/5.0106430>
68. Khaerudini, D. S., Winarto, H., **Hardiansyah, A.**, Alva, S., Khaerudini, D. S., Rustana, C. E., Junia, D., & Dirgantara, F. D. (2019, 21-22 Oct. 2019). New and Renewable Catalyst Based on Electro-Activated Carbon for Hydrogen Generation. 2019 International Conference on Technologies and Policies in Electric Power & Energy,
69. Putri, W. B. K., Sausan, Z. N., Estri, A. N., Asri, N. S., & **Hardiansyah, A.** (2024). Morphological and magnetic properties of electrospun Fe₃O₄-polyvinylidene fluoride. *AIP Conference Proceedings*, 3003(1), 020102. <https://doi.org/10.1063/5.0186303>
70. Raharjo, A. B., Putra, R. D. A., Indayaningsih, N., Srifiana, Y., **Hardiansyah, A.**, Irmawati, Y., Widodo, H., & Destyorini, F. (2020). Preparation of polyvinyl alcohol/asiaticoside/chitosan membrane nano-composite using electrospinning technique for wound dressing. *AIP Conference Proceedings*, 2256(1). <https://doi.org/10.1063/5.0014545>

71. Sampora, Y., **Hardiansyah, A.**, Hikmat, Khaerudini, D. S., Burhani, D., Sondari, D., Septiyanti, M., & Septevani, A. A. (2022). Synthesis and characterization of magnetite nanoparticle for removal of heavy metal ions from aqueous solutions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1017(1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1017/1/012017>
72. Setiawan, S., **Hardiansyah, A.**, Kartikowati, C. W., Arif, A. F., Priatmoko, S., & Arutanti, O. (2021). Microwave-Assisted Synthesis of TiO₂/GO Composite and Its Adsorption-Photocatalysis Property under Visible Light. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1143(1), 012055. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1143/1/012055>
73. Yulianti, R. T., Irmawati, Y., Destyorini, F., **Hardiansyah, A.**, Yudianti, R., & Oktaviano, H. S. (2020). Facile Glycine-Assisted Synthesis of Non-Noble Metal Fe-N/C Electrocatalyst for Oxygen Reduction Reaction. *ECS Meeting Abstracts*, MA2020-02(53), 3850. <https://doi.org/10.1149/MA2020-02533850mtgabs>

Paten

74. Chaldun, E. R., Aliah, H., **Hardiansyah, A.**, Purwasasmita, B. S., (2016). Proses Pembuatan Material Grafit berbasis Serat kapas *Gossypium sp*” (No. Permohonan IDP000062597). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
75. Subhan, A., Chaldun, E. R., Fikriyyah, A. K., **Hardiansyah, A.**, (2017). Metode Pembuatan Karbon Aplikatif Berbahan Dasar Ampas Tahu (No. Permohonan IDP000065867). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
76. Khaerudini, D. S., Destyorini, F., Widodo, H., Indayaningsih, N., Irmawati, Y., **Hardiansyah, A.**, Insiyanda, D. R., Pramono, A., Chanif, I., (2018). Proses Reduksi Limbah Mill Scale Menggunakan Reduktan Karbon Serabut Kelapa (No. Permohonan P00201809276). Direktorat Jenderal Kekayaan Intel-ektual.

77. Khaerudini, D. S., Chaldun, E. R., Destyorini, F., Widodo, H., Indayaningsih, N., Yudianti, R., Irmawati, Y., **Hardiansyah, A.**, (2018). Metode Pembuatan Karbon Grafitik Dari Serat Sabut Kelapa Terimobilisasi Partikel Nikel (No. Permo-honan S00201810154). Direktorat Jenderal Kekayaan In-telektual.
78. Khaerudini, D. S., Destyorini, F., Widodo, H., Indayaningsih, N., Yudianti, R., Irmawati, Y., Hendrana, S., **Hardiansyah, A.**, Insiyanda, D. R., Yandri, (2019). Metode pembuatan Lembaran Komposit Karbon Berpori dari Biomassa dan Produk Yang Di-hasilkannya (No. Permohonan P00201902707). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
79. Septevani, A. A., Sondari, D., Rosa, E. S., Ghozali, M., Meliana, Y., Devy, Y. A., Sampora, T., Irmawati, Y., **Hardiansyah, A.**, Ariyani, G. N., Shobib, Burhani, D., (2019). Nanopaper Transparan Dari Limbah Biomassa Tandan Kelapa Sawit Dan Proses Pembuatannya (No. Permohonan P00201903590). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
80. Subhan, A., Aditya, D. M., **Hardiansyah, A.**, (2020). Metode pembuatan material reduced *graphene* oxide dengan multi-step thermal reduction dan produk yang dihasilkannya (No. Permohonan P00202010635). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
81. Yudasari, N., Budiman, W. J., **Hardiansyah, A.**, (2020). Metode pembuatan komposit reduced *graphene* oxide/titanium dioxide (RGO/TiO₂) dan produk yang dihasilkannya (No. Permohonan P00202010636). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
82. Putri, W. B. K., Asri N. S., Setiadi, E. A., **Hardiansyah, A.**, Sausan, Z. N., (2022). Proses pembuatan serat nano fe₃o₄ berbasis partikel nano dari pasir besi dan produk yang dihasilkan (No. Permohonan P00202207500). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.

83. Destyorini, F., Yudianti, R., Indayaningsih, N., Irmawati, Y., **Hardiansyah, A.**, Suhandi, A., (2022). Metode pembuatan karbon grafitik dan berpori dari serat sabut kelapa dengan katalis berbasis nikel yang dikombinasikan dengan kalium hidroksida(-No. Permo-honan P00202215318). Direktorat Jenderal Kekayaan In-telektual.
84. Yudianti, R., Sabrina, Q., Rifai, A., Subhan, A., Priyono, S., Destyorini, F., **Hardiansyah, A.**, Irmawati, Y., Yulianti, R. T., (2022). Metode pembuatan film carbon nanotube berpori yang konduktif dan fleksibel(No. Permohonan P00202215308). Direktorat Jenderal Kekayaan Intel-ektual.
85. Wardhani, R. A. K., **Hardiansyah, A.**, (2023). Pembuatan membran serat nano poly(ethylene oxide)-chitosan- α -mangosteen dan produk yang dihasilkannya(No. Permohonan P00202311500). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
86. **Hardiansyah, A.**, Septevani, A. A., (2023). Metode pembuatan material lembaran non binder *graphene* oksida termodifikasi nanoselulose dan produk yang dihasilkannya (No. Permohonan P00202314691). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.

DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

1. **Hardiansyah, A.**, (2010). Pengaruh Gradien Temperatur pemanasan pada laju korosi tembaga. Skripsi Institut Teknologi Bandung
2. **Hardiansyah, A.**, (2011). Sintesis partikel nano magnetik nikel dengan enkapsulasi kitosan melalui metode kimia basah sebagai new drugs delivery system untuk terapi kanker. Thesis Institut Teknologi Bandung
3. **Hardiansyah, A.**, (2015). Development of Liposomes for Controlled Released via pH and Magnetic Stimuli-Triggering Mechanism. Disertasi National Taiwan University of Science and Technology

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

Nama Lengkap	: Andri Hardiansyah, Ph.D.
Tempat, Tanggal Lahir	: Bandung, 13 November 1988
Anak ke	: Dua dari empat bersaudara
Nama Ayah Kandung	: H. Herry Heryadi, S.H. (Alm)
Nama Ibu Kandung	: Hj. Ani Suryani, S.Pd.
Nama Instansi	: Pusat Riset Sistem Nanoteknologi, Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material BRIN
Judul Orasi	: Aplikasi Material Komposit <i>Nanographene</i> Dalam Bidang Nanobioteknologi Kesehatan dan Lingkungan
Ilmu	: Teknik
Bidang	: Teknik Material
Kepakaran	: Nanomaterial Fungsional
No. SK Pangkat Terakhir	: Keputusan Kepala BRIN No 169/ II.2/KP/2024, tanggal 17 Mei 2024, TMT 1 Juni 2024
No. SK Peneliti Ahli Utama	: Keputusan Presiden No. 60/M Tahun 2023, tanggal 27 Desember 2023, TMT 1 Februari 2024

B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah	Tempat/ Kota	Tahun Lulus
1.	SD	Nugraha	Bandung, Indonesia	1976
2.	SMP	Negeri 3	Bandung, Indonesia	1981
3.	SMA	Negeri 8	Bandung, Indonesia	1984
4.	S1	Institut Teknologi Bandung	Bandung, Indonesia	1994
5.	S2	Institut Teknologi Bandung	Bandung, Indonesia	2004
6.	S3	National Taiwan University of Science and Technology	Taipei, Taiwan	2009
7.	Profesi Insinyur	Institut Teknologi Bandung	Bandung, Indonesia	

C. Pendidikan Nonformal

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
1.	<i>Training on the workshop on lithium-ion batteries: Recent Developments in Research and Manufacturing</i>	Serpong, Indonesia	2018
2.	Workshop Spektroskopi FTIR dan Ketidakpastian Pengukuran	Serpong, Indonesia	2018

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
3.	Training Program Model Modular Raman Micro Confocal Raman Spectroscopy	Serpong, Indonesia	2018
4.	Training dan Uji Fungsi High Level Vacuum Furnace GSL-1600X-4-HV-VPC-PGC Automatic Control Glovebox System	Serpong, Indonesia	2018
5.	Training Course for Keyence Digital Microscope VHX-6000	Serpong, Indonesia	2019

D. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Peneliti Ahli Muda	24 April 2019
2.	Peneliti Ahli Madya	1 September 2021
3.	Peneliti Ahli Utama	1 Februari 2024

E. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

No.	Jabatan	Pemberi Tugas	Tahun
1.	Asesor jabatan Fungsional Peneliti	BRIN	2020 – Sekarang

F. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1.	<i>Annual Meeting of The Polymer Society</i>	Penyaji Poster	Taichung, Taiwan	2014
2.	<i>Collaborative Conference on 3D and Materials Research</i>	Pembicara Kunci	Incheon/Seoul, Korea Selatan	2014
3.	<i>International Symposium on Chemical- Environmental- Biomedical Technology</i>	Penyaji Poster	Taoyuan, Taiwan	2014
4.	<i>7th World Congress on Preventive and Regenerative Medicine</i>	Penyaji Oral	Taipei, Taiwan	2014
5.	<i>The 5th Asian Biomaterials Congress</i>	Penyaji Poster	Taipei, Taiwan	2015
6.	<i>International Seminar and Workshop on Nanobiotechnology</i>	Penyaji Oral	ITB (Bandung, Indonesia)	2016
7.	<i>General Lecture Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati</i>	Pembicara Kunci	UIN SGD (Bandung, Indonesia)	2016

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
8.	<i>Symposium Nanotechnology</i>	Penyaji Oral/	ITB (Bali, Indonesia)	2016
9.	<i>Second International Forum of Advanced Engineering Technology</i>	Pembicara Kunci.	National Taiwan University of Science and Technology, Taipei, Taiwan	2019
10.	<i>3rd Indonesian Textile Conference</i>	Pembicara Kunci	STT Tekstil (Bandung, Indonesia)	2019
11.	<i>Recent advances in science and technology of carbon nanotube embedded in polymer matrix for functional nanocomposites application</i>	Peneliti Utama	Korea Institute of Materials Sciences (Changwon, Korea Selatan)	2019
12.	<i>International Research Organization for Advanced Science and Technology (IROAST)</i>	Peneliti Tamu (Visiting Professor)	<i>Kumamoto University</i> (Kumamoto, Jepang)	2020
13.	<i>International Seminar on Metallurgy and Materials, ISMM</i>	Penyaji Oral	LIPI (Serpong, Indonesia)	2020

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
14.	<i>ISFAP 2021</i>	Penyaji Oral	LIPI (Serpong, Indonesia)	2021
15.	<i>Penelitian BINUS Research Untuk Nusantara (BRUN)</i>	Peneliti	Universitas Bina Nusantara (Tangerang Selatan, Indonesia)	2021
16.	<i>Materials Research Society-Taiwan Inter- national Conference</i>	Pembicara Kunci	Taipei, Taiwan	2021
17.	<i>Sejour Scientifique de Haut Niveau (SSHN) (High Level Scientific Visiting)</i>	Peneliti Tamu (Visiting Professor)	Universite de Rennes-1 (Rennes, Perancis)	2021– 2022
18.	<i>Collectives of Best Practices and Policies to Promote CCUS Development and Deployment: Policy Implications for ASEAN and East Asia</i>	Peneliti Utama	<i>Economic Research Institute for ASEAN and East Asia (ERIA)</i> (Bangkok, Thailand)	2022
19.	<i>The 1st International Symposium on Car- bon Materials (2023 ISCM-1)</i>	Penyaji Oral	Tainan, Taiwan	2023

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
20.	NEDO	Peneliti Utama	Serpong, Indonesia	2023

G. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/ Tugas	Tahun
1.	Journal of applied science (JAPPS)	LPPM Institut Teknologi dan Sains Bandung	Editor	2019– Sekarang
2.	Innovative Technology and Management Journal Eastern Visayas State University, Philippines	Eastern Visayas State University (EVSU), Tacloban City, Philippines	<i>Associate Editor</i>	2021– Sekarang

H. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Penulis Bersama Peneliti Lainnya	73
	Total	73

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Inggris	73
	Total	73

I. Pembinaan Kader Ilmiah

Pejabat Fungsional Peneliti

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1.	Riesca A K	Pusat Riset Sistem Nanoteknologi BRIN	Pembimbingan Peneliti Ahli Muda	2023
2.	Rizky Febrian	Pusat Riset Sistem Nanoteknologi BRIN	Pembimbingan Peneliti Ahli Pertama	2024

Mahasiswa

No.	Nama	Universitas	Peran/Tugas	Tahun
1.	Anti K F	UIN Sunan Gunung Djati Bandung	Pembimbing Skripsi S-1	2018
2.	Beryl	Universitas Padjajaran	Pembimbing Skripsi S-1	2019
3.	Livia	Universitas Padjajaran	Pembimbing Skripsi S-1	2019
4.	Nurma	Universitas Padjajaran	Pembimbing Skripsi S-1	2020
5.	Gita	Universitas Padjajaran	Pembimbing Skripsi S-1	2020
6.	Dissa	Universitas Padjajaran	Pembimbing Skripsi S-1	2021
7.	Keisha	Universitas Padjajaran	Pembimbing Skripsi S-1	2021

No.	Nama	Universitas	Peran/Tugas	Tahun
8.	William Justin	Institut Teknologi Bandung	Pembimbing Thesis S-2	2021
9.	Wildan Hanif	Institut Teknologi Bandung	Pembimbing Skripsi S-1	2021
10.	Enda Grimonia	Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya	Pembimbing Skripsi S-1	2021
11.	Farhan M Alvan	Universitas Prasetya Mulya	Pembimbing Skripsi S-1	2022
12.	Glenaldy Karim	Universitas Prasetya Mulya	Pembimbing Skripsi S-1	2022
13.	Rico Reynaldi	Universitas Bina Nusantara	Pembimbing Skripsi S-1	2022
14.	Nicholas Mesakhasianki	Universitas Bina Nusantara	Pembimbing Skripsi S-1	2022
15.	Felix Moses	Universitas Bina Nusantara	Pembimbing Skripsi S-1	2022
16.	Calista Angeline	Universitas Bina Nusantara	Pembimbing Skripsi S-1	2022
17.	drg. Alda A	Universitas Padjajaran	Pembimbing Thesis Dokter Spesialis	2023
18.	drg. Eris N	Universitas Padjajaran	Pembimbing Thesis Dokter Spesialis	2023
19.	Dodi Irawan	Universitas Pertamina	Pembimbing Skripsi S-1	2023

No.	Nama	Universitas	Peran/Tugas	Tahun
20.	Melky N	Universitas Pertamina	Pembimbing Skripsi S-1	2023
21.	Wildan Ridwan	Universitas Prasetya Mulya	Pembimbing Skripsi S-1	2023
22.	Solihin	Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya	Pembimbing Skripsi S-1	2024
23.	Yessi S	Universitas Jendral Soedirman	Pembimbing Skripsi S-1	2024
24.	Abdee Negara	Universitas Pertamina	Pembimbing Skripsi S-1	2024
25.	Habibie	Universitas Pertamina	Pembimbing Skripsi S-1	2024
26.	drg Nuril	Universitas Padjajaran	Pembimbing Thesis Dokter Spesialis	2024
27.	drg Patria	Universitas Padjajaran	Pembimbing Thesis Dokter Spesialis	2024
28.	Gita Resty A	Universitas Pertahanan	Pembimbing Skripsi S-1	2024
29.	Anselmo B R	Universitas Pertahanan	Pembimbing Skripsi S-1	2024
30	Rifqi F M	Universitas Brawijaya	Pembimbing Skripsi S-1	2024
31.	Fahrialdi	Universitas Prasetya Mulya	Pembimbing Skripsi S-1	2024

No.	Nama	Universitas	Peran/Tugas	Tahun
32.	M. Rayhan	Universitas Negeri Jakarta	Pembimbing Skripsi S-1	2024
33.	Rizky Febrian	Institut Teknologi Bandung	Pembimbing Disertasi S-3	2024

J. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Anggota	Himpunan Peneliti Indonesia	2018–2021
2.	Anggota	Perhimpunan Periset Indonesia	2021– Sekarang

K. Tanda Penghargaan

No.	Nama/Jenis Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	<i>Merck Young Scientist Award</i>	Merck - Indonesia	2021
2.	<i>Top 40 Contributing Research “Optimasi Low-Cost Raman Spectroscopy 532nm untuk Uji Verifikasi COVID-19 dalam Saliva”</i>	Binus University-Indonesia	2021

Material komposit nano *graphene* dan turunannya memiliki aplikasi yang luas di bidang nanobioteknologi kesehatan seperti material untuk sensor molekul DNA, bakteri, dan molekul penanda penyakit, rekayasa jaringan, pembawa obat serta untuk aplikasi lingkungan. Dalam ulasan ini, ditunjukkan pula pendekatan deteksi (sensor) berbasis material komposit nano *graphene* dengan menggunakan teknik *surface-enhanced Raman spectroscopy* (SERS) dan elektrokimia untuk mendeteksi DNA (adenin), *S. aureus*, uremik, dan dopamin. Selain itu, penelitian juga merangkum kemajuan penggunaan material komposit nano *graphene* sebagai *scaffolds* untuk rekayasa jaringan dan pembawa obat. Semua aplikasi yang sukses ini membuka jalan baru untuk membangun platform komposit nano *graphene* yang menjanjikan untuk pada bidang nanobioteknologi kesehatan dan lingkungan. Meskipun kemajuannya menarik dan menggembirakan, pemanfaatan material berbasis *graphene* untuk aplikasi nanobioteknologi kesehatan dan lingkungan masih memiliki tantangan. Pertama, proses sintesis material berbasis *graphene* akan mempengaruhi ukuran, bentuk, morfologi, dan ketebalan *graphene*. Oleh karena itu, metode baru untuk menyiapkan material berbasis *graphene* perlu dikembangkan. Kedua, material komposit nano *graphene* memiliki menunjukkan potensi besar dalam bioimaging karena toksisitasnya yang rendah secara *in vivo*. Ketiga, lebih banyak perhatian harus diberikan pada keamanan bahan *graphene* dengan mempelajarinya toksisitas jangka panjangnya. Tantangan-tantangan ini perlu dipecahkan melalui kolaborasi yang efektif berbagai disiplin ilmu termasuk kimia, fisika, biologi dan obat-obatan.

BRIN Publishing
The Legacy of Knowledge

Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Gedung B.J. Habibie Lt. 8,
Jln. M.H. Thamrin No. 8,
Kota Jakarta Pusat 10340
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin-others.1690

