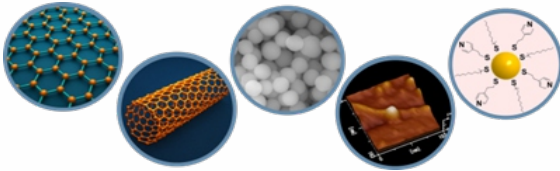


# **ORASI ILMIAH: RISET DAN INOVASI**

## **NANOTEKNOLOGI BERBASIS NANOKARBON DAN NANOPARTIKEL UNTUK MEWUJUDKAN TUJUAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN**

### **ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET ILMU TEKNIK BIDANG NANOTEKNOLOGI KEPAKARAN NANOMATERIAL FUNGSIONAL**



**OLEH:  
MURNI HANDAYANI**

**BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL**

**NANOTEKNOLOGI BERBASIS  
NANOKARBON DAN NANOPARTIKEL  
UNTUK MEWUJUDKAN TUJUAN  
PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Diterbitkan pertama pada 2025 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: [penerbit.brin.go.id](http://penerbit.brin.go.id)



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (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/>



**NANOTEKNOLOGI BERBASIS  
NANOKARBON DAN NANOPARTIKEL  
UNTUK MEWUJUDKAN TUJUAN  
PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN**

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

**OLEH:  
MURNI HANDAYANI**

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2025 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)  
Pusat Riset Sistem Nanoteknologi (PRSN)

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Nanoteknologi Berbasis Nanokarbon dan Nanopartikel untuk Mewujudkan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan/Murni Handayani-Jakarta: Penerbit BRIN, 2025.

xiv + 125 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISSN 3090-8485

- |                  |                              |
|------------------|------------------------------|
| 1. Nanoteknologi | 2. Nanokarbon                |
| 3. Nanopartikel  | 4. Pembangunan berkelanjutan |

620.5

*Copy editor* : Meita Safitri  
*Proofreader* : Martinus Helmiawan  
Penata Isi : Meita Safitri  
Desainer Sampul : Meita Safitri

Edisi pertama : November 2025



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](mailto:penerbit@brin.go.id)  
*Website*: [penerbit.brin.go.id](http://penerbit.brin.go.id)

 PenerbitBRIN

 @Penerbit\_BRIN

 @penerbit.brin

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## DAFTAR ISI

|                                                                                                     |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| BIODATA RINGKAS .....                                                                               | ix   |
| PRAKATA PENGUKUHAN .....                                                                            | xiii |
| I. PENDAHULUAN.....                                                                                 | 1    |
| II. PERKEMBANGAN IPTEK MATERIAL NANOKARBON<br>DAN NANOPARTIKEL.....                                 | 7    |
| A. Perkembangan Material Nanokarbon .....                                                           | 7    |
| B. Perkembangan Nanopartikel .....                                                                  | 15   |
| C. Signifikansi Material dalam Riset .....                                                          | 22   |
| III. PENGEMBANGAN MATERIAL NANOKARBON DAN<br>NANOPARTIKEL DALAM Mendukung SDG<br>INDONESIA.....     | 25   |
| IV. PELUANG DAN TANTANGAN PENGEMBANGAN<br>MATERIAL NANOKARBON DAN NANOPARTIKEL DI<br>INDONESIA..... | 45   |
| V. KESIMPULAN .....                                                                                 | 53   |
| VII. UCAPAN TERIMA KASIH .....                                                                      | 57   |
| DAFTAR PUSTAKA.....                                                                                 | 61   |
| DAFTAR CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET,<br>DAN INOVASI.....                                       | 73   |
| DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....                                                                        | 75   |
| DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....                                                                           | 103  |

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Perkembangan teknologi Grafena .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 9  |
| Gambar 2.2 Struktur dari <i>pristine graphene</i> atau grafena murni dan turunannya .....                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 10 |
| Gambar 2.3 Struktur Carbon nanotubes berdasarkan jumlah tabung ...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 13 |
| Gambar 2.4 Perkembangan nanopartikel.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 16 |
| Gambar 3.1 Diagram alir penelitian yang dilakukan kandidat untuk nanokarbon dan nanopartikel berkaitan dengan SDG.....                                                                                                                                                                                                                                                                  | 26 |
| Gambar 3.2 Atas (a-b) TEM dari GO dan rGO/SiO <sub>2</sub> . ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 30 |
| Gambar 3.3 rGO/AgNPs untuk reduksi CO <sub>2</sub> .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 33 |
| Gambar 3.4 (a) Degradasi fotokatalis terhadap metilen biru (b) Plot kinetika reaksi, (c) Tes Reusability 7 % Ag <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> /rGO dan (d) mekanisme fotokatalis Ag <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> /rGO .....                                                                                                                                                            | 36 |
| Gambar 3.5 Sintesis Hijau Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> NPs dengan ekstrak lidah buaya (a) hasil TEM Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> NP, (b) Sifat antibakteri Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> NPm (c) Hasil fotokatalis Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> NP , (d) Daur ulang Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> NP untuk degradasi metilen biru dan fotoreduksi Cr(VI) menjadi Cr (III) ..... | 37 |
| Gambar 3.6 SPCE termodifikasi SrO-GO untuk deteksi cefixime .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 40 |
| Gambar 3.7 (a-c) Hasil sintesis MWCNT/AgNP dengan TEM. (d) ukuran partikel perak 4.66 nm. (e-f) Aplikasi sebagai DDS untuk obat ibuprofen.....                                                                                                                                                                                                                                          | 43 |

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## BIODATA RINGKAS



Murni Handayani, lahir di Klaten, pada tanggal 7 bulan 6 tahun 1979 adalah anak ke 4 dari Bapak Yanto Miarjo dan Ibu Almarhumah Painah. Menikah dengan nama pasangan Bambang Wisnu Widagdo, S.T, M.Sc.IT dan dikaruniai 4 orang anak, yaitu Mufida Washifah Fazila, Rasyiqul Zafran Kiyoshi, Falisha Aila Ramadhani dan Kalila Feisya Almahyra.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 13/M Tahun 2023 tanggal 21 Maret 2023 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama di Badan Riset dan Inovasi Nasional terhitung mulai 6 April 2023.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor 220/I/HK/2025, tanggal 11 November 2025 tentang Majelis Pengukuhan Profesor Riset, yang bersangkutan dapat melakukan Orasi Ilmiah Pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar di SD Jomboran 1 Klaten, tahun 1991, Sekolah Menengah Pertama di SMP N 1 Klaten tahun 1994 dan Sekolah Menengah Atas SMA N 1 Klaten tahun 1997. Memperoleh gelar Sarjana Sains dari Universitas Sebelas Maret (UNS) Surakarta tahun 2003, gelar *Master of Science* bidang Kimia dari Universitas Osaka tahun 2013, dan gelar *Doctor of Philosophy* bidang Kimia dari Universitas Osaka tahun 2016.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain: diklat prajabatan di Depok (2005), Diklat Fungsional Peneliti Tingkat Pertama di Cibinong (2006),

*Postdoctoral Research Fellow* di Osaka University, Jepang (2016–2017), Pelatihan Audit Internal Sistem Manajemen Mutu SNI ISO 9001:2015 di Tangerang Selatan (2017), *Visiting Research Scientist* di Nanyang Technological University (NTU) di Singapore (2019), *Visiting Research Scientist* di TU Braunschweig, Jerman (2019), Metallography Training di Puspiptek, Tangerang Selatan (2020) dan *Visiting Research Scientist* di Nanyang Technological University (NTU) di Singapore (2023).

Pernah menduduki jabatan sebagai koordinator kelompok penelitian material karbon, metaloid dan hibrida, Pusat Riset Metalurgi dan Material LIPI (tahun 2020). Menduduki jabatan struktural sebagai Kepala Pusat Riset Sistem Nanoteknologi BRIN (tahun 2024–Sekarang).

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Pertama golongan III/a tahun 2008, Peneliti Ahli Muda golongan III/c tahun 2010 Peneliti Ahli Madya golongan IV/c tahun 2021, dan memperoleh jabatan Peneliti Ahli Utama golongan IV/d bidang Nanomaterial Fungsional tahun 2023.

Menghasilkan 135 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk bagian buku, jurnal internasional, prosiding internasional, jurnal nasional, dan prosiding nasional. Selain itu telah menghasilkan 36 paten terdaftar dan 2 buku internasional (*chapter book*).

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing jabatan fungsional peneliti pada Universitas Indonesia, dan BRIN. Mentor/host postdoctoral fellow dari Universitas Gadjah Mada dan Saveetha Institute of Medical and Technical Sciences (SIMATS), India; pembimbing skripsi (S-1) pada Universitas Unika Atmajaya, Sampoerna University, Institut Teknologi Kalimantan, Universitas Indonesia, Universitas

Sebelas Maret, Institut Teknologi Bandung, Institut Teknologi Sains Bandung, Swiss German University, Universitas Negeri Jakarta, Institut Teknologi Sumatera, Universitas Ahmad Dahlan, dan Universitas Airlangga; pembimbing tesis (S-2) pada Universitas Gadjah Mada, Universitas Pamulang, dan Institut Teknologi Bandung; pembimbing disertasi (S-3) pada Universitas Indonesia, Universitas Andalas, dan Universitas Sumatera Utara.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu *The Chemical Society of Japan* (JCS), *The Indonesian chemical society* (HKI), *The electrochemical Society* (ECS), *Material Research Society* (MRS), *Material Research Society-Indonesia* (MRS-Id), *JSPS Alumni Association of Indonesia* (JAAI), Himpunan Peneliti Indonesia (Himpenindo) dan Himpunan Periset Indonesia (PPI).

Menerima tanda penghargaan *First winner on Scientific Oral Presentation Award*, di Tokushima University (Tahun 2013), *Best Poster Presentation Award on 7th International Conference on Molecular Electronics*, di Perancis dari The ChemPubSoc Europe Societies, Wiley-VCH (tahun 2014), *JSPS HOPE Fellow*, The <sup>9</sup>th HOPE Meeting with Nobel Laurates (tahun 2017), Satyalancana Karya Satya X dari Presiden RI (tahun 2017), Finalis – *Loreal Unesco for Women in Science National Fellowship 2017* dari Loreal Indonesia (tahun 2017), terpilih sebagai satu-satunya delegasi Indonesia di *Symposium of Women in Chemistry-Canada* dari OPCW (tahun 2018), Finalis – *Loreal Unesco for Women in Science National Fellowship 2018* dari Loreal Indonesia (tahun 2018), *Japan-ASEAN Science, Technology and Innovation Platform Net Award*, Jepang (tahun 2022), STRG award-Indonesia Toray Science Foundation dari ITSF (tahun 2023), Best presenter of 29<sup>th</sup> ITSF Seminar on Science and Technology dari ITSF (tahun 2024) dan Satyalancana Karya Satya XX dari Presiden RI (tahun 2025).

Sebagai reviewer di banyak international journal bereputasi tinggi (Q1) seperti *Chemical Physic Letters*, *Journal of Environmental Management*, *International Journal of Energy Research*, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, *Chemosphere*, dll.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## 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 segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah pengukuhan Profesor Riset di Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya pada tanggal (tanggal/bulan/tahun orasi dilaksanakan) menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

### **“NANOTEKNOLOGI BERBASIS NANOKARBON DAN NANOPARTIKEL UNTUK MEWUJUDKAN TUJUAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN”**

Pada orasi ini, akan disampaikan state of the art tentang inovasi, perkembangan, peluang dan tantangan penelitian Material Nanokarbon dan Nanopartikel dalam mewujudkan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) di Indonesia terutama di bidang energi, lingkungan dan kesehatan.

Orasi ini diharapkan dapat memberikan pemahaman tentang perkembangan material nanokarbon dan nanopartikel, Jenis

Buku ini tidak diperjualbelikan.

jenis material nanokarbon dan nanopartikel, metode sintesis dan karakterisasinya serta aplikasi material nanokarbon dan nanopartikel sebagai teknologi hijau dalam berbagai bidang seperti bidang energi sebagai material elektroda superkapasitor dan baterai, di bidang lingkungan dengan pemanfaatan nanokarbon dan nanopartikel sebagai katalis untuk reduksi CO<sub>2</sub>, pengolahan limbah dan remediasi lingkungan untuk degradasi dan penghilangan zat warna, logam berat dan antibiotik serta dalam bidang kesehatan seperti aplikasi untuk biosensor dan sistem penghantar obat.

## I. PENDAHULUAN

Tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals* /SDG) dicanangkan oleh Persatuan Bangsa Bangsa (PBB) merupakan komitmen global dan nasional dalam rangka mengatasi masalah-masalah global untuk menyejahterakan masyarakat yang mencakup 17 tujuan dan sasaran global tahun 2030. SDG dideklarasikan baik oleh negara maju maupun negara berkembang di Sidang Umum PBB pada September 2015. 17 Tujuan tersebut yaitu: (1) Tanpa Kemiskinan; (2) Tanpa Kelaparan; (3) Kehidupan Sehat dan Sejahtera; (4) Pendidikan Berkualitas; (5) Kesetaraan Gender; (6) Air Bersih dan Sanitasi Layak; (7) Energi Bersih dan Terjangkau; (8) Pekerjaan Layak dan Pertumbuhan Ekonomi; (9) Industri, Inovasi dan Infrastruktur; (10) Berkurangnya Ketimpangan; (11) Kota dan Permukiman yang Berkelanjutan; (12) Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab; (13) Penanganan Perubahan Iklim; (14) Ekosistem Lautan; (15) Ekosistem Daratan; (16) Perdamaian, Keadilan dan Kelembagaan yang Tangguh; (17) Kemitraan untuk Mencapai Tujuan (Rudiyanto, 2020).

Tujuan pembangunan berkelanjutan Indonesia tertuang dalam Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 111 Tahun 2022 tentang Pelaksanaan Pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan, yang merupakan perubahan dari Perpres Nomor 59 Tahun 2017. Perpres ini menjadi landasan hukum bagi pemerintah dan pihak terkait untuk mempercepat pencapaian target-target SDG. Sementara itu, sebagai lembaga riset dan inovasi di Indonesia, BRIN memiliki peran penting dalam mendukung pencapaian SDG. BRIN mendorong penelitian dan pengembangan di berbagai bidang yang relevan dengan SDG,

seperti energi terbarukan, pangan berkelanjutan, kesehatan, dan lingkungan hidup.

Diketahui bahwa permasalahan yang serius dihadapi bangsa Indonesia di berbagai bidang terutama di bidang energi, lingkungan dan kesehatan, perlu mendapat perhatian khusus. Dari permasalahan tersebut, kasus yang dihadapi Indonesia menunjukkan betapa mendesaknya penanganan krisis emisi gas rumah kaca (GRK), perubahan iklim, dan dampaknya terhadap kesehatan masyarakat. Pada tahun 2023, Indonesia menghasilkan sekitar 1,2 miliar ton CO<sub>2</sub> ekuivalen per tahun, menjadikannya sebagai penghasil emisi terbesar kedelapan di dunia ([data.goodstat.id](https://data.goodstat.id)). Konsekuensi nyata dari peningkatan emisi ini terlihat dari perubahan iklim yang semakin ekstrem; data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) mencatat bahwa rata-rata suhu udara di Indonesia sepanjang tahun 2024 mencapai 27,5 °C, atau 0,8 °C lebih tinggi dibanding rata-rata periode 1991–2020, berdasarkan pengukuran dari 113 stasiun BMKG. Pernyataan ini juga dikonfirmasi oleh Agence France-Presse (AFP) yang menyebut 2024 sebagai tahun terpanas yang pernah tercatat di Indonesia ([france24.com](https://france24.com)). Di sisi lain, dampak perubahan iklim dan faktor lingkungan turut memengaruhi sektor kesehatan, dengan data Kementerian Kesehatan yang memperkirakan terdapat sekitar 400.000 kasus kanker baru setiap tahun di Indonesia, dengan angka kematian mencapai 240.000 jiwa. Jika upaya deteksi dini dan pencegahan tidak ditingkatkan, jumlah kasus kanker diprediksi akan meningkat lebih dari 70% hingga tahun 2050 ([kemkes.go.id](https://kemkes.go.id)). Kondisi ini menegaskan urgensi untuk mengembangkan strategi mitigasi emisi, adaptasi perubahan iklim, serta peningkatan sistem deteksi dini penyakit guna mendukung pembangunan berkelanjutan dan kesehatan masyarakat di Indonesia.

Nanoteknologi mendorong berkembangnya berbagai bidang ilmu pengetahuan dan teknologi yang terlibat dalam sintesis material, serta merancang bahan dan perangkatnya—secara presisi, dan berakurasi tinggi dalam skala yang sangat kecil dengan ukuran nanometer (Kelsall et al., 2005). Pemanfaatan nanoteknologi berupa material nanokarbon dan nanopartikel saat ini telah menarik perhatian banyak negara di dunia, termasuk Indonesia. Seiring dengan berkembangnya aplikasi nanomaterial di berbagai sektor seperti energi, lingkungan, dan kesehatan, laporan *Markets and Markets* (2025) memproyeksikan bahwa pasar global nanomaterial akan mencapai lebih dari USD 125 miliar pada tahun 2025 (hverfisgalleri.is). Dalam konteks ini, Indonesia memiliki potensi besar untuk masuk ke dalam rantai pasok global melalui pemanfaatan biomassa lokal sebagai bahan baku dalam produksi nanokarbon secara berkelanjutan. Melalui pendekatan *green nanotechnology*, peluang ini dapat mendorong pengembangan teknologi nanomaterial ramah lingkungan yang tidak hanya mendukung pembangunan berkelanjutan, tetapi juga memperkuat daya saing nasional di tingkat global.

Nanomaterial seperti grafena, *carbon nanotube* (CNT), dan berbagai jenis nanopartikel terus dikembangkan karena memiliki sifat-sifat fungsional yang unggul. Grafena dan CNT, misalnya, dikenal memiliki konduktivitas termal dan listrik yang sangat tinggi, kekuatan mekanik yang luar biasa, serta luas permukaan spesifik yang besar (Handayani et al., 2021, Abd El-Mageed et al., 2019). Karakteristik luar biasa dari nanokarbon dan nanopartikel menjadikan nanomaterial ini sangat menjanjikan sehingga penelitian intensif perlu dikembangkan agar dapat diterapkan secara luas di bidang energi, teknologi, elektronik, pangan, lingkungan, optik, kesehatan, teknologi dll. Dengan penguasaan nanoteknologi ini diharapkan muncul berbagai inovasi baru yang dapat meningkatkan pertumbuhan industri baru

di bidang nanomaterial di Indonesia khususnya nanokarbon dan nanopartikel.

Strategi yang digunakan dalam pengembangan material nanokarbon dan nanopartikel mengedepankan pendekatan ramah lingkungan (*green synthesis*), yaitu dengan memanfaatkan limbah biomassa lokal seperti sekam padi, sabut kelapa, dan residu pertanian lainnya sebagai bahan baku utama. Pendekatan ini tidak hanya menyasar efisiensi teknologi, tetapi juga mendukung pengurangan limbah, mitigasi dampak lingkungan, serta transisi menuju ekonomi sirkular yang rendah karbon dan berkelanjutan. Lebih lanjut, arah pengembangan ini sejalan dengan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yang menargetkan bauran energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025, serta PP No. 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) yang mendorong pemanfaatan limbah berbahaya menjadi produk bernilai tambah. Oleh karena itu, pengembangan material nanokarbon dan nanopartikel dari limbah lokal tidak hanya relevan secara ilmiah, tetapi juga memperkuat kemandirian teknologi dan daya saing industri nasional dalam kerangka kebijakan pembangunan berkelanjutan.

Nanoteknologi berbasis nanokarbon (seperti grafena dan karbon nanotube) serta nanopartikel memiliki peran strategis dalam berbagai sektor, terutama energi, lingkungan, dan kesehatan, sejalan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG). Di bidang energi, menipisnya sumber daya dan meningkatnya emisi karbon mendorong inovasi material elektroda untuk baterai dan superkapasitor. Material seperti grafena dan CNT menunjukkan performa unggul dalam menyimpan dan menghantarkan energi, mendukung transisi menuju energi bersih (SDG 7) serta mitigasi perubahan iklim (SDG 13). Dalam sektor lingkungan, limbah padat industri seperti elektroda grafit bekas dan biomassa per-

tanian dapat diolah menjadi nanomaterial bernilai tinggi. Proses ini tidak hanya mengurangi pencemaran, tetapi juga menciptakan teknologi baru yang mendukung konservasi lingkungan dan keanekaragaman hayati (SDG 15). Selain itu, nanokarbon dan nanopartikel seperti nanosilver dan nanosilika digunakan sebagai katalis dan adsorben dalam pengolahan limbah cair serta reduksi gas CO<sub>2</sub>, mendukung SDG 6 (air bersih) dan SDG 14 (ekosistem laut). Untuk bidang kesehatan (SDG 3), nanokarbon dan nanopartikel digunakan dalam pengembangan biosensor dan sistem penghantar obat. Kemampuan mendeteksi penyakit secara dini serta mengantarkan obat secara presisi sangat penting dalam mencegah penyebaran penyakit akut dan meningkatkan efektivitas terapi.

Naskah orasi ini memaparkan benang merah perjalanan riset dan perkembangan ilmu serta teknologi terkini terkait material nanokarbon dan nanopartikel yang dilakukan kandidat dari tahun 2005, mulai dari proses sintesis, karakterisasi, hingga aplikasinya di bidang energi, lingkungan, dan kesehatan dalam mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG). Naskah orasi terdiri dari enam bab. Bab pertama adalah pendahuluan ini. Bab kedua menjabarkan tentang perkembangan IPTEK material nanokarbon dan nanopartikel, serta state of the art dari nanomaterial tersebut. Bab ketiga membahas pengembangan material nanokarbon dan nanopartikel dari sintesis, karakterisasi serta kontribusi penelitian yang telah dilakukan di bidang energi, lingkungan dan kesehatan. Bab keempat membahas tantangan dan rekomendasi terkait pengembangan material nanokarbon dan nanopartikel di Indonesia. Bab kelima menyarikan hasil-hasil penelitian dan bab keenam adalah penutup.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## II. PERKEMBANGAN IPTEK MATERIAL NANOKARBON DAN NANOPARTIKEL

Perkembangan nanomaterial, baik nanokarbon maupun nanopartikel, memberikan peluang besar untuk inovasi di bidang energi, lingkungan, dan kesehatan. Pada bab II ini disampaikan perkembangan IPTEK dari nanokarbon dan nanopartikel dari penemuan, metode sintesis dengan pengendalian ukuran, morfologi, dan fungsionalisasi permukaan untuk meningkatkan performa material yang sangat berpotensi untuk aplikasi teknologi di berbagai bidang.

### A. Perkembangan Material Nanokarbon

Karbon merupakan salah satu elemen sentral dan esensial yang menunjang seluruh kehidupan di bumi. Struktur dan susunan atom karbon dalam molekul mempunyai pengaruh besar terhadap sifat-sifatnya. Selain itu, Indonesia memiliki sumber daya alam yang sangat melimpah untuk dijadikan bahan baku material karbon baik dari bahan mineral grafit maupun sumber daya alam biomassa. Karbon murni ada dalam berbagai bentuk alotrop. Alotrop karbon kristal alami yang paling terkenal adalah intan dan grafit; alotrop karbon amorf yaitu batubara, arang, dan jelaga. Melihat sejarah, penemuan dan penciptaan bentuk-bentuk baru karbon dan hidrokarbon selalu membuka pintu bagi ilmu pengetahuan dan teknologi baru. Selama tiga dekade terakhir, alotrop karbon berukuran nanometer atau dikenal sebagai nanokarbon, telah muncul dan mampu mengubah lanskap material berbasis karbon (Georgakilas et al., 2015). Contohnya adalah fullerene  $C_{60}$  berbentuk bola yang ditemukan pada tahun 1985 (Kroto et al., 1985); serta CNT yang ditemukan pada tahun 1991 (Iijima, 1991). Pada tahun 2004, bentuk nanokarbon baru,

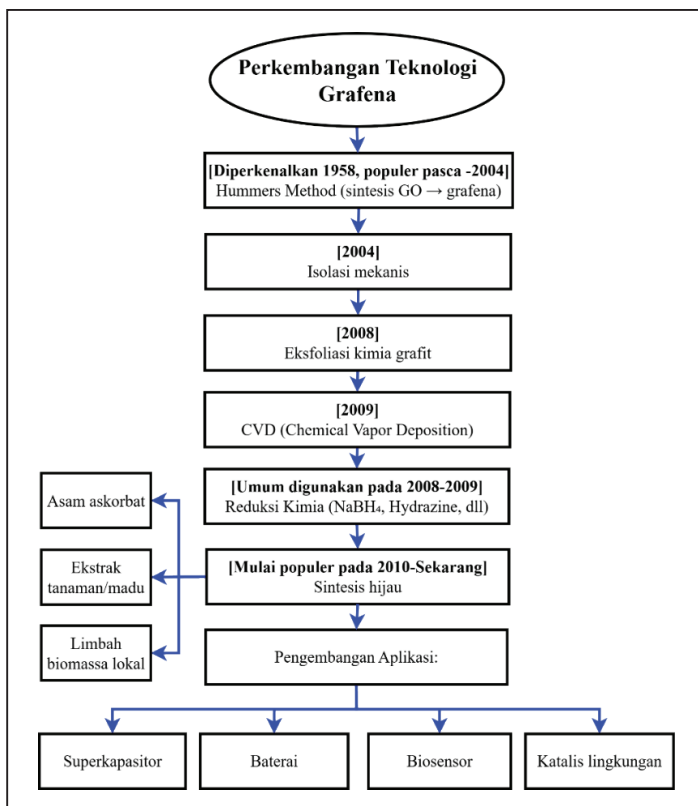
yaitu grafena, berhasil diisolasi sebagai lapisan tunggal dari grafit dan dengan sangat cepat mendapat banyak perhatian dari seluruh dunia sampai saat ini (Novoselov et al., 2004). Sifat luar biasa nanokarbon, khususnya grafena dan CNT, banyak diminati karena aplikasinya yang luas. Perkembangan keduanya diuraikan sebagai berikut:

## 1. Perkembangan Material Grafena

Grafena didefinisikan sebagai struktur lembaran setebal atom tunggal dengan kisi sarang lebah heksagonal yang tersusun oleh atom karbon dengan hibridisasi  $sp^2$  dengan ikatan antar karbon sekitar 0,142 nanometer (Handayani et al., 2021). Grafena juga dikenal sebagai dasar struktur komponen dari semua material karbon grafitik karena pada dasarnya merupakan bahan penyusun untuk CNT (berupa lembaran grafena yang digulung) dan grafit (lembaran grafena yang ditumpuk disatukan oleh kekuatan Van der Waals yang kuat).

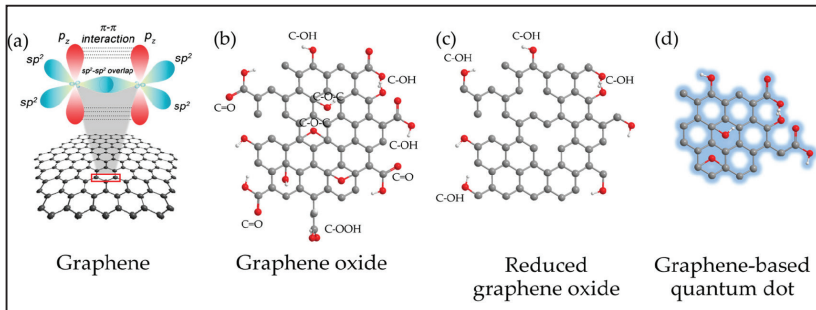
Material grafena ditemukan pada tahun 2004 oleh Andre K. Geim dan Konstantin S. Novoselov di Universitas Manchester, dan dianugerahi Hadiah Nobel Fisika atas eksperimen terobosan dalam memproduksi, mengisolasi, mengidentifikasi, dan mengkarakterisasi material grafena dua dimensi (Novoselov et al., 2004). Sejak saat itu, grafena dan turunannya yaitu grafena oksida /*graphene oxide* (GO), grafena oksida tereduksi (*reduced graphene oxide*/ rGO dan titik kuantum grafena (*graphene quantum dots*/GQDs), telah banyak menarik perhatian para ilmuwan di seluruh dunia (Handayani et al., 2023; Suvarnaphaet & Pechprasarn, 2017). Grafena semakin populer di dunia akademik dan industri karena sifatnya yang luar biasa, sehingga permintaannya terus meningkat di bidang riset dan pasar. Grafena memiliki karakteristik semimetal dan stabil dalam

kondisi sekitar. Ia memiliki konduktivitas listrik yang tinggi ( $10^6 \text{ S m}^{-1}$ ), konduktivitas termal yang tinggi ( $5000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ), luas permukaan yang besar sekitar  $2630 \text{ m}^2/\text{g}$ , transmitansi optik yang sangat baik ( $\sim 97,7\%$ ), modulus elastisitas tinggi, kekuatan tarik tinggi  $130 \text{ GPa}$  ( $\sim 1.1 \text{ TPa}$ ) (Lee et al., 2008) dan mobilitas intrinsik elektron tinggi ( $200000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) (Handayani et al., 2021; Papageorgiou et al., 2017; Krupka et al., 2010). Perkembangan teknologi grafena terlihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Perkembangan teknologi Grafena

Pengembangan grafena masih menghadapi tantangan, seperti biaya sintesis tinggi (terutama metode CVD), potensi toksisitas bahan kimia reduktor, serta ketidakstabilan kualitas material (Handayani et al., 2019). Sebagai solusinya, digunakan metode reduksi hijau dengan asam askorbat, urea atau ekstrak tanaman yang lebih ramah lingkungan. Limbah biomassa seperti kulit buah dan limbah pertanian juga dimanfaatkan sebagai prekursor murah dan berkelanjutan untuk sintesis grafena yang sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular dan SDG (Handayani et al., 2023).



Sumber: Handayani et al. (2023); Suvarnaphaet & Pechprasarn (2017)

**Gambar 2.2** Struktur dari *pristine graphene* atau grafena murni dan turunannya

Berbagai teknik untuk menghasilkan grafena: 1) Teknik *Scotch Tape* dari grafit pirolitik berorientasi tinggi (*highly-oriented pyrolytic graphite/HOPG*) yang menghasilkan grafena murni satu lapisan dengan kualitas terbaik atau disebut dengan *pristine graphene* Gambar 2.2. Namun diperlukan kesabaran tinggi untuk memperoleh kuantitas jumlah lapisan grafena, karena dimensi maksimum grafena murni kualitas tinggi yang dapat diisolasi hanya sekitar 1 mm<sup>2</sup> (Novoselov et al., 2004; Zhu et al., 2012); 2) Deposisi uap kimia (*chemical vapor deposition/CVD*) adalah teknik untuk melarutkan reaktan gas seperti metana, etana, atau propana ke dalam substrat Cu atau Ni yang dipanaskan, dan

menumbuhkan lapisan grafena pada lokasi nukleasi selama proses pendinginan. Teknik ini mampu memproduksi grafena dalam skala luas untuk pertumbuhan grafena satu lapis hingga beberapa lapis pada berbagai substrat logam seperti Co, Cu, Ir, Ni, Pt, dan Ru (Gutés et al., 2012; Kim et al., 2009); 3) Teknik kimia, adalah teknik *top-down* yang hemat biaya dengan memanfaatkan oksidasi serbuk grafit dengan asam kuat untuk memperoleh grafit oksida dan kemudian mengelupasnya menjadi grafena oksida (Park & Ruoff, 2009). Hal ini menghasilkan sejumlah besar gugus fungsi oksigen pada permukaan grafena, seperti gugus hidroksil, karboksil, dan epoksida, dan membuat grafena oksida (GO) bersifat hidrofilik. Ada tiga metode asal dalam sintesis grafena oksida, termasuk Brodie, Staudenmaier, dan Hummers (Brodie, 1859; Hummers Jr & Offeman, 1958; Yu et al., 2016)

Dalam perkembangannya, metode Hummers saat ini paling banyak digunakan untuk menghasilkan grafena oksida (Febriana et al., 2021; Handayani et al., 2019, 2021; Yu et al., 2016). Untuk mendapatkan kembali struktur dan sifat seperti pristine grafena murni, grafena oksida kemudian direduksi menggunakan reduktor baik reduktor dari bahan kimia seperti hidrazin, borohidrida, aluminium, hidrida, asam hidroklorat, isopropanol, NaOH, KOH, dll. Akan tetapi, reduktor dengan bahan kimia bersifat korosif, beracun, dan berbahaya bagi lingkungan. Oleh karena itu, kandidat menggunakan pereduksi hijau sebagai zat pereduksi yang ramah lingkungan untuk mereduksi GO menjadi rGO. Pengenalan beberapa zat pereduksi seperti urea, asam askorbat/vitamin C, alanin, dan asam caffeic merupakan pengganti yang ideal sebagai zat pereduksi ramah lingkungan karena tidak berbahaya dan ramah lingkungan. Selain itu, reduksi secara termal juga dikembangkan untuk mereduksi GO dan diperoleh rGO (Abbas et al., 2021; Handayani et al., 2021; Krisnandi et al., 2020)

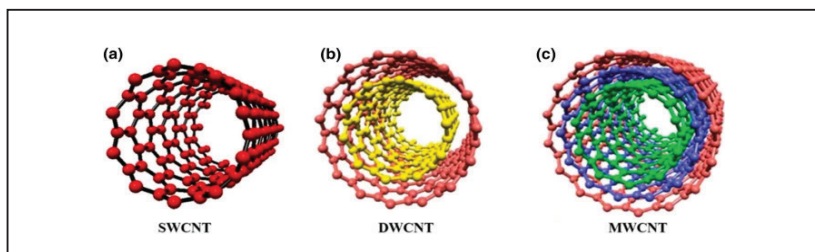
Pengembangan riset dilakukan oleh kandidat terhadap turunan grafena berupa *graphene quantum dots* (GQDs), yaitu potongan grafena berukuran 2–20 nm. Ukurannya yang sangat kecil membuat GQDs menunjukkan sifat kuantum dan mampu memancarkan cahaya fotoluminesen dalam pita sempit saat distimulasi oleh sinar UV atau energi listrik. (Handayani *et al.*, 2023). Prekursor GQDs meliputi lembaran grafena, grafena terfungsionalisasi, molekul organik, serta limbah biomassa atau tanaman perkebunan yang dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan. Pendekatan *bottom-up* dilakukan melalui pirolisis dan karbonisasi prekursor organik, sedangkan *top-down* menggunakan teknik hidrotermal untuk memotong grafena menjadi lembaran nano.

## 2. Perkembangan Material *Carbon Nanotubes*

*Carbon nanotubes*/CNT merupakan material nanokarbon berbentuk tabung yang memiliki diameter dalam orde nanometer dengan struktur antar karbon membentuk heksagonal dengan ikatan C-C berhibridisasi  $sp^2$ , sehingga menjadi salah satu material unggul dalam nanoteknologi. CNT ditemukan pada tahun 1991 oleh peneliti Jepang yaitu Sumio Iijima, menggunakan proses evaporasi *arc-discharge*. CNT dapat digambarkan sebagai material karbon yang dibuat dengan melipat lapisan grafena menjadi silinder karbon (Iijima, 1991). Iijima telah melakukan sintesis nanotube yang terdiri dari puluhan cangkang grafit (disebut sebagai *multi-walled carbon nanotubes* (MWCNTs)). Dua tahun kemudian, Sumio Iijima dan Toshinari Ichihashi (Iijima *et al.*, 1993), serta Bethune *et al.* (1993), berhasil melakukan sintesis karbon nanotube berdinding tunggal (SWCNTs) (Bethune *et al.*, 1993).

Pada perkembangannya, metode sintesis CNT yang paling umum digunakan adalah *chemical vapour deposition* (CVD), *arc-discharge*, dan *laser ablation* (Journet & Bernier, 1998). CVD dilakukan dengan menggunakan gas prekursor yang mengandung karbon, seperti  $\text{CO}_2$  atau  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ , dan hidrokarbon lainnya. Suhu selama CVD berkisar antara  $350\text{--}1000^\circ\text{C}$ . Metode pelepasan busur (*arc-discharge*) menggunakan dua batang grafit sebagai elektroda katoda dan anoda. Metode *laser ablation* menjanjikan karena cepat, murah, tanpa katalis atau vakum, serta menghasilkan produk berkualitas tinggi dari segi ukuran dan morfologi. (Journet & Bernier, 1998).

Berdasarkan jumlah tabung, CNT dapat dibagi menjadi tiga kategori: CNT berdinding tunggal (*Single-walled CNT*), berdinding ganda (*double-walled CNT*), dan berdinding banyak (*multi-walled CNT*), seperti terlihat pada Gambar 2.3 (W. Li et al., 2019). Berdasarkan kiralitasnya, CNT dibedakan menjadi CNT chiral, arm chair, dan zig-zag (Abd El-Mageed et al., 2019). Kiralitas CNT ditentukan oleh posisi pelipatan lembaran grafena. Bersama diameter dan cacat, kiralitas mempengaruhi sifat elektronik CNT, apakah semikonduktor atau logam. Celah energi semikonduktor CNT berbanding terbalik dengan diameternya, di mana saat diameter membesar, celah energi mendekati nol, maka CNT berubah sifat menjadi logam dengan konduktivitas tinggi (Abd El-Mageed et al., 2019)



Sumber: Abubakre et al. (2023)

**Gambar 2.3** Struktur Carbon nanotubes berdasarkan jumlah tabung

Karena diameternya dalam ukuran nanometer, CNT mempunyai sifat fisikokimia yang unggul dan aplikasi yang luas untuk diterapkan pada perangkat penyimpanan hidrogen, dan nanosensor (Handayani, Mulyaningsih, et al., 2022). CNT memiliki luas permukaan besar, konduktivitas termal tinggi, dan sifat mekanik unggul seperti kekuatan, fleksibilitas, serta modulus tinggi, sehingga banyak dimanfaatkan pada nano-devices dan material komposit (Darsono et al., 2020; Handayani et al., 2023). Permukaan CNT juga dapat dimodifikasi untuk meningkatkan adsorpsi, interaksi molekul, dan selektivitas, sehingga efektif sebagai material sensing (Anshori et al., 2021).

Penelitian pengembangan material CNT telah dilakukan kandidat dari tahun 2010 yaitu dari fungsionalisasi sampai aplikasi CNT untuk nanoelektroda, fotokatalis, biosensor, dan nanokomposit. Dalam fungsionalisasi CNT, dua metode diterapkan yaitu kovalen dan nonkovalen. CNT dapat difungsikan menggunakan asam seperti  $\text{HNO}_3$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  untuk membentuk ikatan kovalen gugus fungsi  $-\text{COOH}$  pada dinding samping dan ujung samping CNT (Putri *et al.*, 2020; Yuliantoro *et al.*, 2021). Surfaktan ionik dan polimer seperti *cetyltrimethyl ammonium bromide* (CTAB), *cetyltrimethyl ammonium trichloromonobromo-cerate* (CTACe), asam dodesilbenzena sulfonat, polietilen glikol (PEG) dan polisakarida juga digunakan untuk memodifikasi permukaan CNT (Larasati et al., 2022; Primastari et al., 2022).

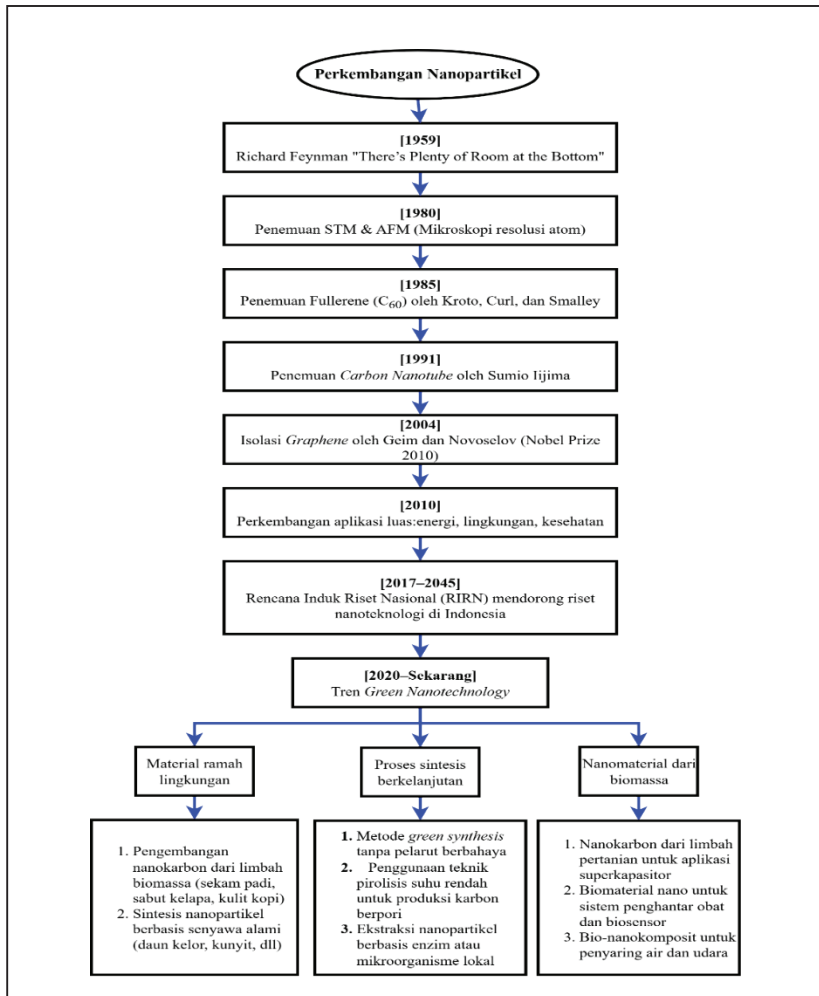
Meski unggul, pengembangan CNT terkendala oleh tingginya biaya sintesis, sulitnya kontrol ukuran dan kemurnian, serta potensi toksisitas dari sisa katalis logam (Fe, Ni). Untuk mengatasinya, dilakukan fungsionalisasi permukaan untuk meningkatkan kelarutan dan menurunkan toksisitas. Biomassa seperti sekam padi juga dimanfaatkan sebagai prekursor karbon yang lebih murah dan ramah lingkungan (Khotimah et al., 2024).

## B. Perkembangan Nanopartikel

Perkembangan riset nanomaterial bermula dari gagasan revolusioner Richard Feynman pada tahun 1959 dalam pidatonya “*There’s Plenty of Room at the Bottom*”, yang memantik imajinasi ilmuwan terhadap kemungkinan merekayasa materi pada skala atom dan molekul. Gagasan ini menjadi fondasi dari lahirnya nanoteknologi modern. Kemajuan besar mulai terlihat pada 1980-an dengan ditemukannya alat karakterisasi seperti *atomic force microscope* (AFM) dan *scanning tunnelling microscope* (STM), diikuti oleh penemuan struktur ikonik nanomaterial seperti fulleren (1985), karbon nanotube (1991), dan graphene (2004). Seiring waktu, tren riset bergeser menuju *green nanotechnology*, yang menekankan pada keberlanjutan, efisiensi energi, dan dampak lingkungan minimal. Di Indonesia, riset nanomaterial semakin berkembang sejak diberlakukannya RIRN 2017–2045 yang mendorong teknologi strategis. Kandidat berkontribusi melalui pengembangan nanokarbon dari limbah biomassa, sintesis nanopartikel ramah lingkungan untuk energi, lingkungan dan kesehatan, serta kolaborasi lintas disiplin dalam mendukung SDG, terutama energi bersih, air bersih, dan pengoabatan presisi, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4.

Partikel dengan diameter antara satu hingga seratus nanometer (nm) disebut nanopartikel atau partikel ultrahalus. Nanopartikel (NP) sering menunjukkan sifat khas yang bergantung pada ukurannya yang sangat kecil dalam skala nanometer (1–100 nm), yang menghasilkan luas permukaan yang sangat besar. Akibatnya, sifat fisik nanopartikel sangat berbeda dari material skala besar, sehingga mendukung di berbagai bidang seperti lingkungan, pertanian, pangan, bioteknologi, biomedis, obat-obatan, dll.

Perkembangan dari riset nanopartikel seperti nanopartikel silika (nanosilika), nanopartikel emas, nanopartikel perak, serta nanopartikel ZnO diuraikan sebagai berikut:



**Gambar 2.4** Perkembangan nanopartikel

## 1. Nanopartikel Silika (Nanosilika)

Salah satu protokol sintesis nanosilika paling awal, yang dikenal sebagai proses Stöber, dipelopori oleh Werner Stöber pada tahun 1968. Partikel Stöber adalah nanosilika padat dan monodispersi dengan diameter yang dapat disesuaikan dalam kisaran orde nanometer. Nanosilika disintesis menggunakan kimia *sol-gel* yang melibatkan prekursor silika, seperti *tetraethylorthosilicate* (TEOS), dalam larutan air dan alkohol yang mengandung amonia (Stöber *et al.*, 1968). Dalam 50 tahun terakhir, berbagai jenis nanosilika telah dikembangkan dengan ukuran, bentuk, dan struktur pori yang beragam. Karena sifatnya yang serbaguna, nanosilika digunakan di bidang farmasi, kosmetik, manufaktur, dan sebagai sistem penghantar obat, serta dapat dimodifikasi menjadi nanokomposit, nanofiller, atau material elektroda (Janjua *et al.*, 2023).

Meski banyak digunakan, sintesis nanosilika masih menghadapi tantangan seperti kebutuhan energi tinggi pada peleburan pasir kuarsa dan mahalanya prekursor seperti TEOS. Selain itu, penggunaannya terbatas karena potensi iritasi atau toksisitas saat terhirup atau masuk ke tubuh dalam bentuk bebas (Prasetyo *et al.*, 2022). Untuk mengatasinya, digunakan sumber alam sekunder seperti slag feronikel dan limbah industri sebagai prekursor silika alternatif, serta metode hidrotermal berbasis air yang ramah lingkungan dan hemat energi untuk mendukung produksi hijau berkelanjutan. (Febriana *et al.*, 2022).

Berbagai penelitian kandidat sejak 2008 terhadap perkembangan nanopartikel silika dilakukan dengan berbagai sumber daya alam baik pasir kuarsa maupun dari komersial seperti *tetraorthosilicate* (TEOS) (Stöber *et al.*, 1968), sodium silikat (Febriana *et al.*, 2022), silikon emulsifier (Prasetyo *et al.*, 2022), oli silikon (Firdiyono *et al.*, 2024) dan juga dari sumber daya alam sekunder seperti slag feronikel (Prasetyo *et al.*, 2024). Beberapa metode telah dikembangkan, seperti pembuatan

silika presipitat dari pasir kuarsa melalui peleburan pada suhu tinggi hingga 1200°C. Dalam metode ini, pasir kuarsa dicampur dengan natrium karbonat untuk membentuk natrium silikat, kemudian dilarutkan untuk menghilangkan pengotor. Proses ini menghasilkan silika dengan kemurnian tinggi hingga 99,99%, yang sangat berpotensi untuk aplikasi pada sel surya (Prasetyo et al., 2023).

Penelitian dilanjutkan dengan metode pelarutan natrium silikat menggunakan HCl dan proses *stirring* hingga pH 3, menghasilkan nanosilika berukuran 87,85 nm. Melalui metode hidrotermal dengan penambahan grafena oksida pada 150 °C, struktur Si–O–Si diperbaiki, kepadatan partikel meningkat, dan ukuran partikel menyusut hingga 42,88 nm (Ristiana et al., 2024). Selain itu, pada Paten No. P00202205473 (2022) sintesis nanosilika presipitat dilakukan oleh kandidat dengan metode *spray dryer* untuk menghasilkan partikel nano seragam secara efisien. Inovasi ini berpotensi mendukung industri material fungsional dan manufaktur ramah lingkungan.

## 2. Nanopartikel Emas (*Nanogold*/AuNP)

Nanopartikel emas (*nanogold*/AuNP) adalah nanomaterial yang terbuat dari emas dengan sifat fisik dan kimia yang unik dan dapat menyerap dan menghamburkan cahaya dalam rentang infra-merah-dekat dan tampak (Compostella et al., 2017). Zsigmondy mengungkapkan mengatakan bahwa partikel emas tidak selalu berbentuk bola jika ukurannya 40 nm atau lebih kecil (N. Li et al., 2014). Selain itu, ia menemukan partikel emas anisotropik dengan berbagai warna (N. Li et al., 2014). Zsigmondy meraih Nobel 1925 atas demonstrasi karakter heterogen larutan koloid dan pengembangan ultramikroskop, yang memungkinkannya mengamati partikel emas yang sering mengkristal dalam bentuk daun bersisi enam (N. Li et al., 2014).

Dalam perkembangannya, AuNP menjadi topik riset yang luas karena kemampuan optik, listrik, dan pendekatan molekulernya, dengan banyak kegunaan prospektif dalam berbagai bidang, seperti mikroskop elektron, elektronik, nanoteknologi, ilmu material, biomedis, biosensor dll (Ariasena et al., 2024). Meski AuNP banyak digunakan dalam biosensor dan biomedis, tantangannya adalah biaya sintesis tinggi akibat mahalnnya  $\text{HAuCl}_4$ , perlunya kontrol morfologi, dan Potensi toksisitas pada dosis tinggi (Anshori et al., 2021). Untuk mengatasinya, digunakan metode *green synthesis* dengan bahan alami seperti ekstrak tumbuhan, polifenol, atau asam askorbat untuk menghasilkan AuNP yang stabil, ramah lingkungan, dan minim limbah kimia (Majidah et al., 2024).

Sejak 2010, kandidat mengembangkan riset AuNP berkembang, termasuk Paten No. P00202214755 (2022) yang menghasilkan elektroda karbon tersablon dengan AuNP berbentuk duri. Inovasi ini meningkatkan sensitivitas sensor elektrokimia untuk deteksi biomolekul, mendukung diagnostik portabel, dan berkontribusi pada SDG 3 dan SDG 9. Sintesis nanopartikel emas menggunakan larutan emas (III) klorida dan *pyridine* serta *thiol group* dengan metode kimia menghasilkan emas nanopartikel termodifikasi *piridyne-tert-tetradecanethiol*. Hasil identifikasi menggunakan *atomic force microscope* (AFM) menunjukkan bahwa AuNP mempunyai ukuran 3 nm (Ariasena et al., 2024). Selain itu, AuNP juga disintesis melalui elektrod deposisi, menghasilkan serbuk emas ~100 nm yang berpotensi untuk aplikasi biosensor glukosa dan asam askorbat (Ariasena et al., 2024; Majidah et al., 2024).

### 3. Nanopartikel Perak (Nanosilver/AgNP)

AgNP adalah partikel perak berukuran 1–100 nm dengan sifat fisik dan kimia unik akibat ukuran kecil, luas permukaan besar, serta kemampuannya menyerap dan menghamburkan cahaya

di rentang tampak hingga inframerah dekat. Karena ukurannya yang relatif kecil dan rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi, nanopartikel memiliki sifat kimia dan fisika yang berbeda dibandingkan dengan partikel berukuran besar (*material bulk*). Kandidat telah melakukan sintesis nanopartikel perak yang menunjukkan kemampuan antimikroba yang lebih kuat yang tidak dimiliki oleh perak ionik (Handayani et al., 2021; Shenashen et al., 2014). Metode yang digunakan adalah reduksi secara kimia larutan  $\text{AgNO}_3$  dalam larutan yang mengandung *polyvinylpyrrolidone* (PVP) dan dalam kondisi basa dan di *stiring* selama 20 menit pada suhu kamar, kemudian disentrifugasi untuk menghilangkan pengotor yang kemudian dikeringkan agar mendapatkan AgNPs (Muqoyyanah et al., 2023).

Selain itu, AgNP dapat disintesis dalam berbagai ukuran dan bentuk tergantung prosesnya. Salah satunya ditunjukkan dalam Paten kandidat No. P00202308312 (2023), yaitu sintesis komposit rGO-AgNPs secara in-situ dengan asam askorbat sebagai reduktor hijau, mendukung aplikasi biomedis dan antimikroba yang ramah lingkungan.

#### 4. Nanopartikel Besi (FeNP)

Nanopartikel Besi (FeNP) merupakan partikel dengan kisaran ukuran 1–100 nanometer yang terbuat dari besi maupun besi oksida (Khan et al., 2019). FeNP memiliki stabilitas dimensi yang sangat baik dan juga memiliki konduktivitas termal dan listrik yang tinggi, luas permukaan yang tinggi, dan sangat magnetik. Pengembangan FeNP terkendala ketidakstabilan terhadap oksidasi, sehingga diperlukan pelapis atau modifikasi untuk menjaga stabilitasnya (Batool et al., 2021). Selain itu, penggunaan prekursor logam dan pelarut organik meningkatkan biaya dan risiko lingkungan, serta potensi toksisitas ion  $\text{Fe}^{2+}$

Fe<sup>3+</sup> dalam sistem biologis. Untuk mengatasinya, dilakukan modifikasi permukaan dengan polimer atau silika, serta sintesis hijau berbasis ekstrak tumbuhan untuk meningkatkan biokompatibilitas dan mengurangi dampak lingkungan (Handayani, 2016).

FeNP memiliki aplikasi potensial sebagai katalis, sensor, sistem penghantar obat, dan penyimpanan energi. FeNP juga digunakan untuk mengantarkan obat ke target spesifik seperti sel kanker, serta sebagai agen kontras dalam pencitraan MRI. (Farrell et al., 2003). FeNP juga berpotensi untuk digunakan dalam sel fotovoltaik serta pemurnian air, penghilang kontaminan dari air, perbaikan lingkungan, dan anti bakteri (Priyadharsan et al., 2024).

## 5. Nanopartikel Seng (ZnO NPs)

Nanopartikel Seng (ZnO NP) adalah partikel dengan kisaran ukuran 1–100 nm yang terbuat dari seng. Seng oksida (ZnO) NP adalah semikonduktor celah pita lebar dengan gap energi 3,37 eV. Kemampuan katalitik, kelistrikan, optoelektronik, dan fotokimia telah menjadikannya sebagai material yang sangat berharga (Kumar et al., 2013). Namun Pengembangan ZnO NPs menghadapi tantangan dalam kontrol ukuran dan morfologi akibat sensitivitas proses sintesis terhadap pH, suhu, dan konsentrasi prekursor (Sivaranjani et al., 2024). ZnO NPs berpotensi toksik pada dosis tinggi tanpa modifikasi. Untuk mengatasinya, kandidat menggunakan metode sintesis hijau berbasis ekstrak tumbuhan dan modifikasi permukaan guna meningkatkan kompatibilitas dan mengurangi toksisitas (Handayani, Mulyaningsih, et al., 2022). Kandidat juga mengembangkan sintesis eks-situ nanokomposit ZnO–MgO–grafena oksida yang berpotensi tinggi untuk fotokatalisis dan pengolahan limbah, mendukung pemanfaatan material ramah lingkungan, Paten No. P00202314808 (2023).

Selain itu, banyak metode telah dikembangkan untuk memproduksi nanopartikel ZnO yang menghasilkan struktur nano ZnO baik digunakan untuk proses reaksi katalitik (Chen et al., 2007), yaitu metode ablasi laser, hidrotermal, deposisi elektrokimia, *sol-gel*, deposisi uap kimia, dekomposisi termal, metode pembakaran, *ultrasound*, pembakaran dengan bantuan gelombang mikro, sintesis mekanokimia-termal dua langkah, anodisasi, pengendapan bersama, deposisi elektroforesis, proses presipitasi dan hydrothermal (Handayani, Mulyaningsih, et al., 2022; Osterrieth et al., 2022)

### C. Signifikansi Material dalam Riset

Material nanokarbon dan nanopartikel logam berperan penting dalam riset dan pengembangan teknologi berbasis nanomaterial. Keunggulan struktural, skala nano, dan sifat fisikokimia grafena, CNT, serta nanopartikel seperti SiO<sub>2</sub>, AgNP, AuNP, FeNP, dan ZnO NP menjadikannya relevan untuk berbagai aplikasi strategis. Riset yang dilakukan kandidat di bidang energi, menunjukkan bahwa grafena dan CNT memiliki sifat unggul dalam konduktivitas listrik, termal, dan luas permukaan, sehingga mampu diaplikasikan untuk elektroda superkapasitor, baterai, dan penyimpanan energi. Kinerjanya dapat ditingkatkan dengan penambahan FeNP, SiO<sub>2</sub> atau ZnO NP, membentuk komposit berperforma tinggi untuk energi bersih.

Nanokarbon dan nanopartikel juga berperan penting dalam bidang lingkungan dan kesehatan. Di bidang lingkungan, grafena dan CNT memiliki sifat adsorptif tinggi untuk menyerap logam berat dan kontaminan organik dari air limbah, sementara AgNP dan ZnO NP berfungsi sebagai agen antimikroba dan fotokatalis. AgNP dan FeNP juga mendukung remediasi lingkungan tercemar melalui reaksi redoks dan sistem fotokatalitik, sejalan

dengan target SDG 6. Dalam kesehatan, nanokarbon dan nanopartikel mampu meningkatkan area efektif sehingga meningkatkan aktivitas katalitik dan konduktivitas dari sensor. Nanokomposit CNT dengan AgNP menghasilkan performa tinggi sebagai sensor elektrokimia terhadap asam urat dengan batas deteksi 84.04 nM dan sensitifitas  $0.1021 \mu\text{A } \mu\text{M}^{-1}$ . CNT yang berongga dan stabil secara kimia juga memungkinkan penghantaran obat ke sel target, didukung oleh kemampuan grafena, GO, dan rGO dalam pemuatan serta pelepasan obat secara terkendali. Kandidat melakukan kombinasi dengan AgNP untuk meningkatkan efisiensi, seperti pada MWCNT/AgNP yang memuat ibuprofen hingga 43,7% dalam 27 jam, dan rGO/AgNP yang memuat asam asetilsalisilat (ASA) hingga 83% dalam 30 jam, berkat interaksi gugus oksigen aktif, sifat fototermal, dan stabilitas AgNP. Temuan dan pengembangan material nanokarbon dan nanopartikel menunjukkan nilai fundamental sekaligus aplikatif. Dengan pendekatan berbasis sifat dan fungsi, riset ini mendukung SDG 3, SDG 6, SDG 7, dan SDG 13. Grafena, CNT, dan nanopartikel logam menjadi pilar inovasi nanoteknologi yang akan mendorong kemajuan sains dan teknologi di Indonesia. Kontribusi ini sejalan dengan peta jalan SDG 2030 dan RPJMN 2025, sekaligus memperkuat peran Indonesia dalam ekosistem riset global.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

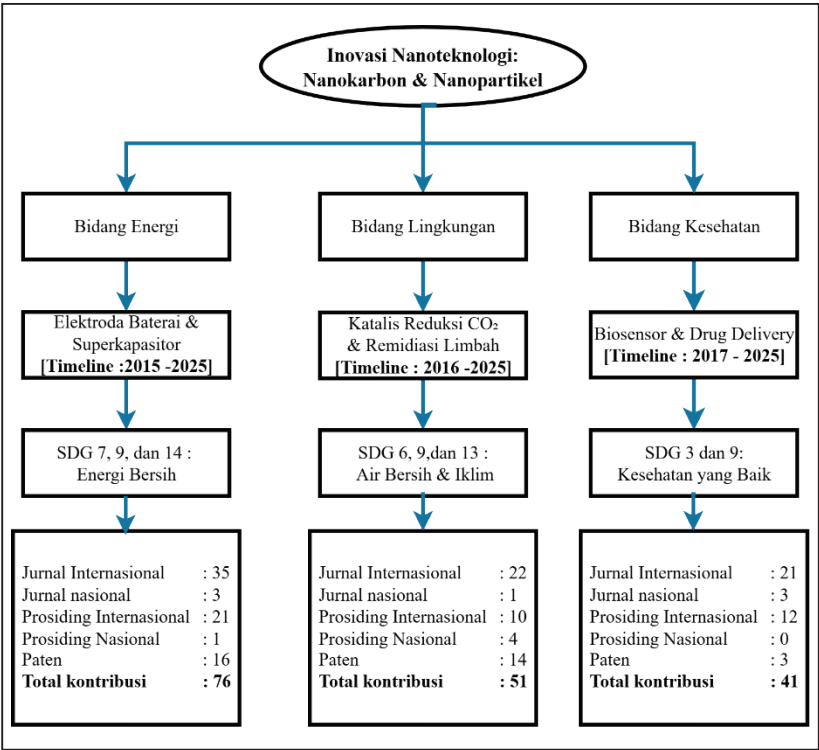
### **III. PENGEMBANGAN MATERIAL NANOKARBON DAN NANOPARTIKEL DALAM MENDUKUNG SDG INDONESIA**

Peran aplikasi material nanokarbon dan nanopartikel tidak lepas dari perjalanan panjang dari proses riset dan pengembangan yang telah dilakukan oleh kandidat sejak tahun 2005. Riset nanokarbon dan nanopartikel yang telah dilakukan meliputi sintesis baik dari proses *bottom-up* dan *top-down* dengan menggunakan berbagai teknik sintesis dan sumber bahan baku atau prekursor, modifikasi serta karakterisasi dan pemanfaatannya dalam berbagai bidang. Grafena, CNT, dan nanopartikel telah dimanfaatkan di bidang energi sebagai elektroda superkapasitor dan baterai. Di bidang lingkungan, material ini berfungsi sebagai fotokatalis untuk pengolahan air, termasuk degradasi zat pewarna dan logam berat. Sementara di bidang kesehatan, digunakan dalam biosensor dan sistem penghantar obat.

Penelitian nanoteknologi pada nanokarbon dan nanopartikel memiliki keterkaitan kuat dengan pencapaian SDG Indonesia dan sejalan dengan kebijakan nasional yang sedang berlangsung. Di bidang energi, pengembangan elektroda untuk baterai dan superkapasitor mendukung target pemerintah dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yang menargetkan 23% bauran energi terbarukan pada tahun 2025 dengan menyediakan solusi penyimpanan energi yang efisien (<https://www.esdm.go.id>). Di bidang lingkungan, aplikasi nanopartikel sebagai katalis untuk reduksi CO<sub>2</sub> dan remediasi limbah industri sejalan dengan kebijakan industri hijau dan pengelolaan limbah B3 sesuai PP No. 22 Tahun 2021 (<https://peraturan.bpk.go.id>). Di bidang kesehatan, biosensor dan sistem penghantar obat mendukung transformasi digital layanan medis serta mendorong

diagnosis dan terapi yang lebih tepat dan terjangkau. Hasil riset nanoteknologi tak hanya mendorong kemajuan ilmu, tetapi juga menjadi instrumen penting dalam pencapaian pembangunan nasional berkelanjutan.

Penelitian yang telah dilakukan kandidat memiliki peran strategis dalam mendukung beberapa indikator SDG yang terangkum dalam diagram alir riset terlihat pada Gambar 3.1. Peran aplikasi dari material nanokarbon dan nanopartikel dijabarkan dalam uraian berikut ini:



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian yang dilakukan kandidat untuk nanokarbon dan nanopartikel berkaitan dengan SDG

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## 1. Pengembangan Nanokarbon dan Nanopartikel sebagai Elektroda Baterai dan Superkapasitor

Pengembangan material nanokarbon dan nanopartikel di bidang energi telah dilakukan kandidat untuk mengatasi gas rumah kaca dan juga perannya dalam *SDG climate action* untuk mengatasi pemanasan global dengan pengembangan penyimpanan energi bersih seperti baterai dan superkapasitor. Perangkat penyimpan energi seperti baterai dan superkapasitor saat ini menjadi salah satu topik penelitian penting untuk mendukung masa depan sumber energi bersih dan terbarukan dalam rangka mencapai *SDG (7) Energi Bersih dan Terjangkau*.

Material grafena untuk baterai dan superkapasitor yang dikembangkan kandidat berasal dari beberapa prekursor salah satunya adalah biomass seperti limbah bubuk kopi bekas pakai dan tempurung kelapa (Abbas et al., 2021; Giyanto et al., 2024). Dalam riset ini, limbah biomass digunakan sebagai prekursor dalam pengembangan material grafena untuk aplikasi pada elektroda baterai dengan menggunakan limbah bubuk kopi bekas pakai menjadi material grafena oksida tereduksi (*reduced graphene oxide/rGO*). Pemanfaatan limbah biomassa diharapkan mengurangi sampah sekaligus menghasilkan nanokarbon bernilai ekonomi tinggi, khususnya untuk elektroda baterai. Metode yang digunakan cukup sederhana dan efisien, serta berpotensi untuk skala industri, melalui tahapan pirolisis, metode Hummers, dan reduksi.

Pengembangan nanokarbon dan nanopartikel sebagai elektroda menghadapi tantangan seperti agregasi grafena, penggunaan bahan kimia tidak ramah lingkungan, dan keterbatasan stabilitas elektrokimia jangka panjang. Untuk mengatasinya, kandidat menggunakan pendekatan inovatif seperti sintesis nanokomposit (*in-situ* dan *ex-situ*), reduktor ramah lingkungan (urea, asam askorbat), serta optimasi komposisi dan waktu sintesis. Pendekatan ini efektif meningkatkan konduktivitas, kapasitansi

spesifik, dan retensi siklik, serta mendukung teknologi hijau dan aplikatif.

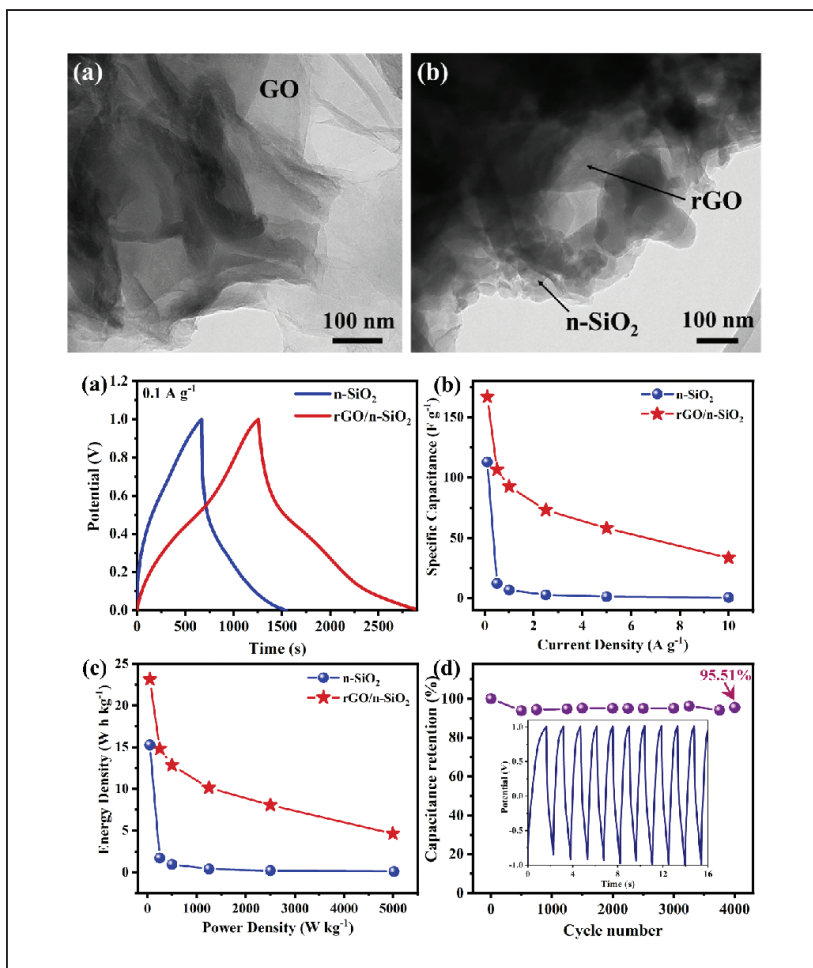
Kandidat merancang dan melakukan proses pirolisis pada suhu tetap 850 °C dengan tiga variasi waktu pirolisis, yaitu 2, 3, dan 4 jam (disebut sebagai rGO-1, rGO-2, dan rGO-3). Hasil riset menunjukkan bahwa waktu pirolisis memengaruhi karakterisasi dan performa elektrokimia. rGO dengan pirolisis 3 jam menghasilkan morfologi terbaik, berupa kombinasi lapisan tunggal dan berlapis dari grafena. Hasil efisiensi rGO-2 menunjukkan efisiensi Coulomb dan stabilitas terbaik. Pada uji 30 siklus dengan arus 15 mA/cm<sup>2</sup>, diperoleh efisiensi energi 94% dan efisiensi Coulomb 98%, lebih unggul dibandingkan elektroda grafit (90,48%) (Abbas et al., 2021). Kandidat juga mengembangkan grafena dari batok kelapa melalui pemanggangan, pirolisis, dan sonikasi, menghasilkan graphene nanosheet (GNS) yang kemudian didoping dengan amonia menjadi N-GNS. Karakterisasi dengan FTIR, Raman, XRD, dan SEM-EDX menunjukkan N-GNS berbentuk lembaran grafena yang halus dan tipis. Hasil pengukuran konduktivitas listrik grafena pada 40–55 V dengan arus 17,6 A, menunjukkan konduktivitas stabil, dengan nilai tertinggi 44.245  $\mu$ S pada 40 V dan hambatan 0,023 ohm (Giyanto et al., 2024).

Selain baterai, grafena juga dikembangkan oleh kandidat sebagai elektroda superkapasitor. Superkapasitor memiliki keunggulan yaitu pengisian cepat, biaya rendah, densitas daya tinggi, dan umur siklus panjang (Handayani, Mulyaningsih, et al., 2022). Dalam superkapasitor, elektroda adalah komponen kunci yang menentukan performa. Pengembangan grafena sebagai elektroda ditujukan untuk mencapai kapasitansi spesifik tinggi dan stabilitas siklus yang baik. Untuk upaya ini, kandidat melakukan sintesis rGO dengan metode kimia hijau,

pengembangan nanokomposit biner rGO–keramik secara *ex-situ*, serta nanokomposit terner rGO–kitosan–ZnO secara *in-situ* (Affi et al., 2023; Handayani, Mulyaningsih, et al., 2022; Hermadianti et al., 2024).

Reduksi GO menjadi rGO efektif meningkatkan konduktivitas dan performa elektroda superkapasitor. Kandidat melakukan reduksi GO dengan metode reduksi kimia hijau berbasis urea terbukti efektif menurunkan kandungan oksigen dalam GO dan meningkatkan kapasitansi spesifik secara signifikan, dari 7,17 F/g pada GO menjadi 327,20 F/g saat menjadi rGO pada densitas arus 0,5 A/g (Affi & Handayani, 2023). Selain metode reduksi kimia hijau, GO bisa di reduksi secara *in-situ* sekaligus dikompositkan dengan kitosan dan nanopartikel logam oksida, yaitu seng oksida (ZnO), menjadi nanokomposit rGO/Cs/ZnO dengan ukuran ZnO sekitar 10 nm. Nanokomposit terner rGO/Cs/ZnO meningkatkan konduktivitas, mengurangi agregasi grafena, dan memperbaiki performa elektrokimia. Sintesis dilakukan secara *in-situ* dengan metode hidrotermal pada 140°C selama 10 dan 20 jam. Hasil menunjukkan bahwa nanokomposit terner rGO/Cs/ZnO-20 memberikan nilai kapasitansi spesifik paling tinggi sebesar 137.7 F/g dengan stabilitas siklus yang superior yaitu 97 % setelah 5000 siklus (Handayani & Mulyaningsih, 2022). Teknologi ini meningkatkan konduktivitas dan kinerja superkapasitor, sehingga berpotensi sebagai solusi penyimpanan energi berkelanjutan. Inovasi ini sejalan dengan fokus riset PRSN BRIN dalam pengembangan baterai ramah lingkungan di Indonesia.

Selain metode *in-situ* dalam mereduksi GO sekaligus membentuk nanokomposit, metode *ex-situ* juga memberikan hasil yang sangat bagus terhadap performa elektrokimia dari super kapasitor. Hal ini ditunjukkan dalam riset pengembangan nanokomposit rGO dengan material keramik Mg (Ti<sub>0.99</sub>Sn<sub>0.01</sub>)O<sub>3</sub>



Keterangan: Bawah (a) Kurva GCD n-SiO<sub>2</sub> dan rGO/n-SiO<sub>2</sub> pada 0,1 A g<sup>-1</sup>; (b) kapasitansi spesifik; (c) Plot Ragone; (d) stabilitas dan (inset) GCD kurva 10 siklus awal rGO/n-SiO<sub>2</sub>

Sumber: Ristiana et al. (2024)

**Gambar 3.2** Atas (a-b) TEM dari GO dan rGO/SiO<sub>2</sub>.

(rGO/MTS001). Dalam riset kandidat ini, GO disintesis dengan metode Hummers lalu direduksi menggunakan asam askorbat sebagai reduktor hijau untuk menghasilkan rGO. Di sisi lain, material keramik  $\text{Mg}(\text{Ti}_{0.99}\text{Sn}_{0.01})\text{O}_3$  disintesis secara terpisah dengan menggunakan serbuk Mg, Ti dan Sn sebagai prekursor. Material keramik yang diperoleh dengan kode MTS001 dibuat menjadi nanokomposit rGO/ MTS001 dengan teknik sonikasi dengan rasio rGO dan MTS001 sebesar 1: 10 (w/w). Hasil karakterisasi SEM menunjukkan morfologi MTS001 berbentuk bunga yang terdekori di atas grafena dengan kemurnian tinggi, terdiri dari unsur C, O, Ti, Mg, dan Sn tanpa pengotor. Pengujian elektrokimia menunjukkan performa yang superior untuk kapasitansi spesifik sebesar  $361.97 \text{ F g}^{-1}$  (Hermadiani *et al.*, 2024).

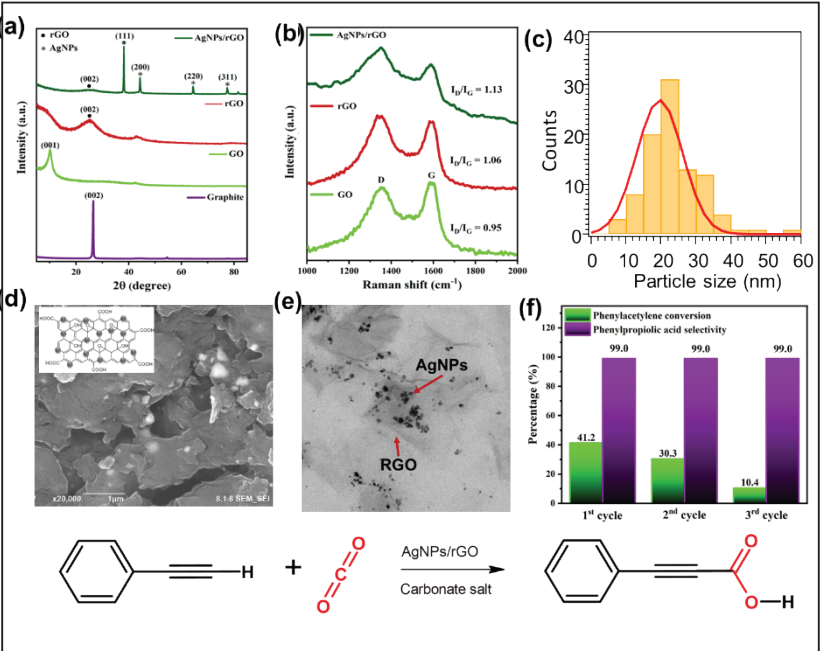
Pengembangan elektroda superkapasitor juga dilakukan kandidat menggunakan nanosilika, seperti pada Gambar 3.2. Silika ( $\text{SiO}_2$ ) menarik karena sifat penguatnya yang baik, tidak beracun, stabil, mudah difabrikasi, dan murah. Namun, konduktivitas listriknya rendah, sehingga hanya permukaan yang berkontribusi terhadap kapasitansi, menghasilkan aktivitas elektrokimia yang terbatas (Ristiana *et al.*, 2024). Untuk mengatasi kelemahan ini, ukuran silika diperkecil ke skala nano guna meningkatkan luas permukaan dan jumlah situs aktif. Kinerja superkapasitor juga diperkuat dengan menggabungkan nanosilika dengan grafena sebagai material elektroda. Hasil riset menunjukkan bahwa modifikasi nanosilika dengan rGO meningkatkan kinerja elektrokimia, dengan kapasitansi spesifik  $166,9 \text{ F/g}$  dan retensi 95,51% setelah 4000 siklus (Ristiana *et al.*, 2024).

## 2. Pengembangan Material Nanokarbon dan Nanopartikel dalam Aplikasinya sebagai Material Katalis untuk Reduksi CO<sub>2</sub>

Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) banyak dilepaskan ke atmosfer dari siklus alami maupun aktivitas manusia, dan terus meningkat seiring pertumbuhan industri. Emisi CO<sub>2</sub> dari pembakaran bahan bakar transportasi telah menimbulkan dampak lingkungan serius yang perlu segera ditangani. Reduksi CO<sub>2</sub> menjadi fokus ilmuwan sebagai upaya mitigasi gas rumah kaca untuk mengatasi pemanasan global dan mendukung SDG 13 (perubahan iklim). Karena itu, kandidat mengembangkan material nanokarbon dan nanopartikel untuk mereduksi CO<sub>2</sub> (Abdullah et al., 2024; Krisnandi et al., 2020; Latiff et al., 2020).

Secara umum, ada dua strategi utama untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub>: menangkapnya dengan adsorben lalu menyimpannya secara geologis, atau memanfaatkannya menjadi senyawa bernilai tambah. Salah satunya adalah reaksi karboksilasi, yang menggabungkan CO<sub>2</sub> dengan senyawa seperti alkuna untuk membentuk turunan asam karboksilat, berguna dalam sintesis kimia dan mitigasi CO<sub>2</sub>. Pendekatan ini menghadapi tantangan rendahnya efisiensi konversi CO<sub>2</sub> karena sifatnya yang *inert* dan keterbatasan katalis yang aktif, selektif, dan stabil pada kondisi moderat. Untuk mengatasinya, kandidat mengembangkan nanokomposit AgNPs/rGO yang disintesis secara *in-situ* dengan urea sebagai reduktor hijau, dan digunakan sebagai katalis dalam reaksi karboksilasi antara fenilasetilena dan CO<sub>2</sub> untuk menghasilkan asam fenilpropiolat (Abdullah et al., 2024), seperti terlihat pada Gambar 3.3. Hasil morfologi menunjukkan lembaran tipis rGO dengan partikel hitam AgNPs terdistribusi di permukaannya. AgNPs tersebar merata pada lembar rGO diukur dengan Image-J, menunjukkan ukuran partikel sekitar 20 nm.

Karboksilasi menggunakan katalis AgNPs/rGO menghasilkan asam fenilpropiolat dengan selektivitas tinggi 99,5%. Katalis ini tetap menunjukkan selektivitas di atas 99% hingga siklus ketiga (Abdullah et al., 2024). Selain karboksilasi, reaksi metanasi CO<sub>2</sub> juga digunakan untuk mengubah CO<sub>2</sub> menjadi CH<sub>4</sub>. Kandidat mengembangkan katalis NiNPs (30%)/rGO yang efektif untuk konversi ini. Uji katalitik menunjukkan metana mulai terbentuk pada 299,85 °C (573 K), dengan konversi CO<sub>2</sub> tertinggi 18,35% dan hasil CH<sub>4</sub> sebesar 17,63% pada 399,85 °C (673 K) (Krisnandi et al., 2020).



Sumber: Abdullah, Handayani et al. (2024)

**Gambar 3.3** rGO/AgNPs untuk reduksi CO<sub>2</sub>

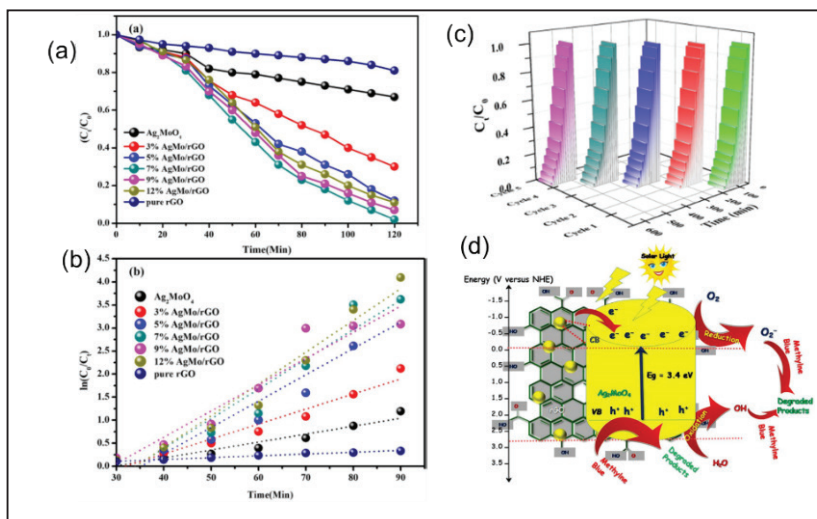
Selain kedua teknik reduksi  $\text{CO}_2$  yang sudah dijelaskan di atas, elektroreduksi  $\text{CO}_2$  juga menjadi salah satu metode menjanjikan untuk reduksi  $\text{CO}_2$  dengan prinsip elektrokimia. Dalam aplikasi elektroreduksi, kandidat mengembangkan grafena dan CNT sebagai penyokong katalis  $\text{Cu(II)}$ -phthalocyanine, dibandingkan dengan arang dan karbon aktif. Hasil riset menunjukkan bahwa CNT lebih efisien karena memiliki konduktivitas listrik yang tinggi (Latiff et al., 2020). Studi ini juga mengeksplorasi ukuran CNT sebagai pendukung karbon. CNT tipis dan panjang (diameter 10–30 nm, panjang 10–30 mm) lebih elektrokatalitik untuk elektroreduksi  $\text{CO}_2$  dibandingkan yang pendek dan tebal, karena memiliki resistensi muatan lebih rendah dan luas permukaan elektrokimia lebih besar (Latiff et al., 2020).

### **3. Pengembangan Material Nanokarbon dan Nanopartikel dalam Pengolahan Limbah, dan Remediasi Lingkungan untuk Degradasi dan Penghilangan Zat Warna, Logam Berat, Antibiotik**

Sektor industri memberikan peran besar dalam perekonomian Indonesia, dengan kontribusi terhadap total ekspor nasional mencapai sekitar 78,96% pada tahun 2020, menurut data Badan Pusat Statistik (BPS, 2021). Peningkatan aktivitas industri, khususnya tekstil, menyebabkan pencemaran air akibat limbah pewarna. Limbah farmasi seperti antibiotik dan obat kedaluwarsa juga berbahaya jika dibuang tanpa pengolahan, karena dapat membunuh biota akuatik dan membahayakan kesehatan. Nanoteknologi dengan berbasis grafena, CNT, dan nanopartikel mampu digunakan pada pengolahan limbah cair sebagai material untuk fotokatalis, dan adsorben dalam menghilangkan logam berat, zat warna, antibiotik dan sensor obat dalam limbah farmasi sehingga menghasilkan teknologi bersih (Ciptasari et al., 2022; Malathi et al., 2024; Rahmayanti et al., 2024).

Teknologi fotokatalis ramah lingkungan dapat mengubah polutan limbah menjadi zat tidak berbahaya.  $\text{TiO}_2$  adalah semikonduktor fotokatalis yang efisien, stabil, dan tidak beracun. Namun, penerapannya terbatas karena tingginya rekombinasi elektron-lubang dan rendahnya pemanfaatan cahaya (Ciptasari *et al.*, 2022). Dalam beberapa tahun terakhir, grafena telah banyak digunakan untuk aplikasi fotokatalitik karena luas permukaannya yang besar, mobilitas elektron yang tinggi, kapasitas adsorpsi yang kuat, dan modifikasi kimia yang mudah. Dalam riset kandidat, rGO yang dikombinasikan dengan semikonduktor dan nanopartikel logam mampu meningkatkan kinerja fotokatalitik melalui peningkatan fotodegradasi, adsorpsi, fotostabilitas, dan penyerapan cahaya (Malathi *et al.*, 2024). Aplikasi  $\text{Ag}_2\text{MoO}_4/\text{rGO}$  untuk fotodegradasi metilen biru menunjukkan kinerja unggul dengan degradasi 100% dalam 120 menit dan stabilitas 98% pada siklus kelima (Gambar 3.4). Temuan ini mendukung potensi nanokomposit rGO untuk program air bersih, seperti PAM Desa, terutama di wilayah dengan pencemaran air domestik dan industri (Malathi *et al.*, 2024).

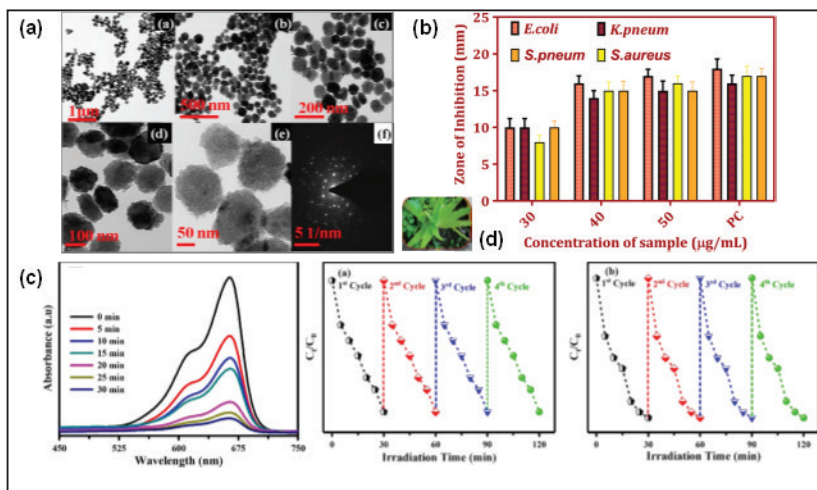
Selain untuk material fotokatalis terhadap degradasi metilen biru, rGO dengan nanopartikel perak (AgNP) diaplikasikan juga oleh kandidat untuk degradasi logam berat seperti timbal (Pb), yang menunjukkan bahwa nanokomposit rGO/AgNP efektif digunakan dalam fotodegradasi terhadap ion logam Pb dengan efisiensi degradasi sebesar 44% pada penyinaran 1,5 jam (Ciptasari *et al.*, 2022). Selain untuk material fotokatalis terhadap ion logam berat, material grafena dapat diaplikasikan sebagai material fotokatalis untuk degradasi limbah farmasi seperti parasetamol (Rahmayanti *et al.*, 2024). Kandidat juga mengembangkan material *graphene quantum dots* dari limbah biomassa dengan teknologi hijau yang mendukung ekonomi sirkular dan SDG sebagai sensor untuk deteksi obat asetaminofen dalam limbah farmasi berperforma unggul dengan deteksi limit 1.221  $\mu\text{M}$  (Handayani *et al.*, 2023).



Sumber: Malathi et al. (2024)

**Gambar 3.4** (a) Degradasi fotokatalis terhadap metilen biru (b) Plot kinetika reaksi, (c) Tes Reusability 7 % Ag<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>/rGO dan (d) mekanisme fotokatalis Ag<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>/rGO

Penambahan GO dilakukan oleh kandidat menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi GO pada film TiO<sub>2</sub>/GO/*Chitosan* memberikan efek signifikan terhadap fotodegradasi parasetamol. Film dengan kandungan GO 60 mg memberikan aktivitas fotokatalitik tertinggi pada penyinaran 120 menit. GO memiliki kemampuan untuk menghantarkan elektron, sehingga penambahan GO ke TiO<sub>2</sub> mengurangi laju rekombinasi elektron dan hole yang dihasilkan dan kemudian meningkatkan degradasi fotokatalitik (Rahmayanti et al., 2024). Hasil penelitian kandidat menunjukkan bahwa grafena efektif sebagai material fotokatalis untuk zat warna, ion logam, dan limbah farmasi, sehingga berpotensi sebagai alternatif teknologi nanofotokatalitik dalam pengolahan limbah.



Sumber: Priyadharsan & Handayani et al. (2024)

**Gambar 3.5** Sintesis Hijau Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NPs dengan ekstrak lidah buaya (a) hasil TEM Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NP, (b) Sifat antibakteri Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NPM (c) Hasil fotokatalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NP, (d) Daur ulang Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NP untuk degradasi metilen biru dan fotoreduksi Cr(VI) menjadi Cr (III)

Selain grafena, CNT terbukti efektif sebagai material penyerap logam berat seperti ion Pb melalui fungsionalisasi CNT berbinding banyak (MWCNT) dengan gugus -COOH, yang kemudian ditambahkan ke material adsorben dari limbah kakao. Hasilnya menunjukkan bahwa rasio penambahan MWCNT sebesar 1:3 memberikan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 46,667 mg/g dalam waktu 15 menit (Khotimah *et al.*, 2024). Selain material grafena, CNT, serta nanopartikel logam seperti AgNPs dan Ag<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> yang telah dijelaskan sebelumnya, studi dan riset kandidat mengenai sintesis, karakterisasi, dan aplikasi sebagai material fotokatalis juga telah dilakukan pada nanopartikel logam oksida seperti MnO<sub>2</sub>, CeO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan ZnO, serta nanokomposit biner dan terner dari nanopartikel logam oksida untuk fotodegradasi metilen biru, rodamin-B, dan

reduksi ion logam kromium (Gomathi *et al.*, 2024; Sivaranjani *et al.*, 2024).

Sintesis hijau dengan teknik hidrotermal dilakukan oleh peneliti dalam sintesis nanopartikel  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  NP) menggunakan *biotemplate* ekstrak tanaman lidah buaya (*Aloe vera*) sekaligus sebagai pereduksi hijau (Gambar 3.5). Hasil riset menunjukkan bahwa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  NP memiliki morfologi permukaan berbentuk bola dengan ukuran dalam kisaran 10-40 nm dan pengukuran magnetik menunjukkan nilai magnetisasi saturasi tinggi sebesar 73,9 emu. Aplikasi fotokatalitik menunjukkan bahwa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  NP efektif menghilangkan warna metilen biru, bersifat antimikroba terhadap bakteri gram positif dan negatif, serta mampu mereduksi ion logam berbahaya  $\text{Cr}^{6+}$  menjadi  $\text{Cr}^{3+}$  (Priyadharsan *et al.*, 2024).

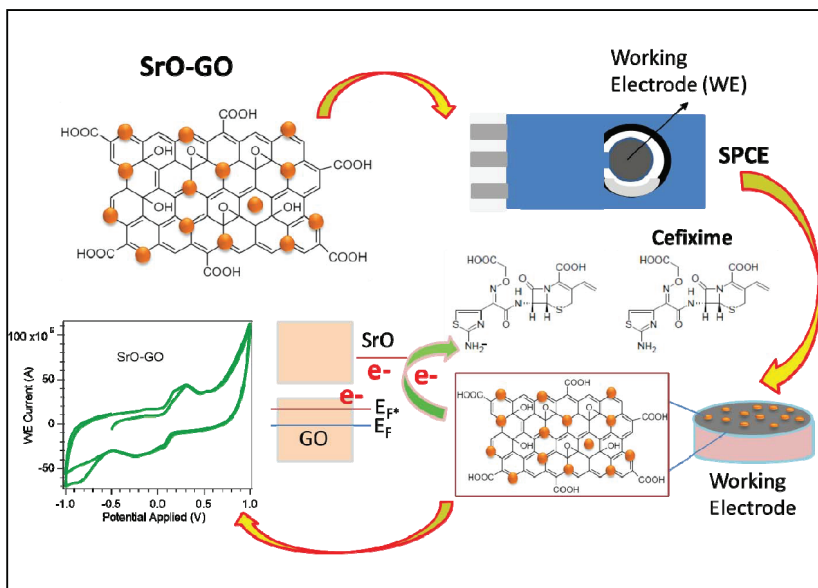
#### **4. Pengembangan Material Nanokarbon dan Nanopartikel dalam Aplikasi untuk Biosensor**

Elektroda berbasis karbon banyak digunakan dalam sensor elektrokimia karena arus latar rendah, konduktivitas tinggi, dan rentang potensial luas. Material grafena, GO, CNT, dan karbon *glassy* banyak dikaji, dengan grafena dan CNT menunjukkan potensi tinggi untuk aplikasi nanoteknologi. Nanokarbon kini banyak dikembangkan sebagai elektroda biosensor, termasuk untuk deteksi *cefixime*, dopamin, dan asam urat (Anshori *et al.*, 2021; Handayani *et al.*, 2021; Sihombing *et al.*, 2024)

Pengembangan material grafena sebagai biosensor untuk deteksi *cefixime* dilakukan oleh kandidat dengan membuat nanokomposit grafena oksida dengan menggunakan beberapa metal oksida nanopartikel yaitu besi (III) oksida ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dan stronsium oksida ( $\text{SrO}$ ). *Cefixime* diserap secara oral digunakan untuk mengobati infeksi bakteri ringan dan sedang seperti otitis media, faringitis, gonore, dan bronkitis. Degradasi *cefixime* selama pe-

nyimpanan dapat mengubah sifat fisikokimia, sehingga diperlukan prosedur analisis khusus untuk penentuannya. Hasil pengujian dengan pengukuran CV untuk deteksi *cefixime* menunjukkan bahwa SPCE termodifikasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -GO menunjukkan puncak arus ( $I_p$ ) terkecil sebesar  $13,2 \mu\text{A}$  untuk reaksi anodik, dan SPCE termodifikasi SrO-GO memberikan sensitivitas tertinggi dengan  $24,4 \mu\text{A}$  untuk puncak anodik dan  $24 \mu\text{A}$  untuk puncak katodik (Gambar 3.6). Sensitivitas tertinggi kedua adalah SPCE yang dimodifikasi GO, yang menunjukkan puncak  $16,4 \mu\text{A}$  dan  $17,3 \mu\text{A}$  untuk reaksi anodik dan katodik. Modifikasi SPCE dengan SrO-GO menunjukkan sensitivitas dan stabilitas tertinggi berkat sinergi sifat elektrokatalitik strontium dan GO dalam oksidasi-reduksi *cefixime*. *Strontium* juga meningkatkan tingkat Fermi GO, memperkaya elektron dan mempercepat transfernya (Handayani *et al.*, 2021).

Penelitian lebih lanjut dilakukan dengan mengembangkan material grafena untuk biosensor terhadap determinasi dopamin. Dopamin (DA), sebagai salah satu analit penting dalam biofluida, bekerja sebagai *neurotransmitter* di ginjal, kardiovaskular, dan sistem saraf pusat. DA diproduksi oleh sel saraf untuk mengirimkan impuls saraf dan memiliki peran penting dalam tubuh manusia, seperti mengatur gerak, fungsi kognitif, dan mengontrol perilaku individu. Konsentrasi DA normal dalam darah dan urin masing-masing adalah  $0\text{--}0,25 \text{ nM}$  dan  $0,3\text{--}3 \text{ mM}$ . Jumlah DA yang tidak normal dalam tubuh manusia dapat dikaitkan dengan penyakit skizofrenia dan penyakit Parkinson. Oleh karena itu sangat penting dikembangkan biosensor untuk mendeteksi dopamin. Dalam riset ini, komposit grafena oksida dengan nanopartikel logam oksida  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -GO) ternyata mempunyai selektivitas dan sensitifitas yang sangat bagus untuk determinasi dopamin. GO terbukti meningkatkan area efektif dan konduktivitas dari sensor, dengan limit deteksi  $0.48 \mu\text{M}$  (Anshori, Handayani *et al.*, 2022)



Sumber: Handayani et al. (2021)

**Gambar 3.6** SPCE termodifikasi SrO-GO untuk deteksi cefixime

Pengembangan material CNT untuk biosensor diaplikasikan juga untuk mendeteksi dopamin (DA) (Anshori et al., 2023). Untuk meningkatkan stabilitas dan selektivitas sensor jangka panjang, komposit dua atau lebih material dieksplorasi guna memodifikasi elektroda dan memanfaatkan efek sinergisnya. Nanopartikel logam meningkatkan sifat CNT untuk sensor elektrokimia karena mudah disintesis dan memiliki aktivitas katalitik tinggi. Dalam riset ini, MWCNT difungsionalisasi dengan gugus COOH untuk meningkatkan hidrofilisitas, lalu dikompositkan dengan AgNP pada elektroda GCE. Hasilnya, MWCNT/AgNP menunjukkan konduktivitas tinggi dan katalisis efektif untuk deteksi dopamin (DA). Nanokomposit f-MWCNT/AgNP digunakan untuk mendeteksi DA berulang kali dengan

sensitivitas tinggi dengan nilai sensitivitas  $0,0058 \text{ mA cm}^{-2} \mu\text{M}^{-1}$ , rentang linier  $1\text{--}8 \mu\text{M}$  dengan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) sebesar 0.998, dan deteksi limit (LOD)  $0.2778 \mu\text{M}$ . Nanokomposit f-MWCNT/AgNP dapat aplikasikan juga sebagai sensor elektrokimia terhadap asam urat dengan batas deteksi  $84.04 \text{ nM}$  dan sensitifitas  $0.1021 \mu\text{A } \mu\text{M}^{-1}$ , rentang linier  $1\text{--}1000 \mu\text{M}$ . (Anshori et al., 2021).

Biosensor glukosa juga dikembangkan dengan menggunakan nanopartikel emas. Hasil sintesis berbentuk *nanospike* (gold nanospike/AuNS). AuNS disintesis dengan metode elektrodeposisi voltametri siklik pada *screen printed carbon electrode* (SPCE) dan diimobilisasi dengan bioreseptor menggunakan metode *self-assembled monolayer* (SAM). Dengan menggunakan amperometri, didapatkan karakteristik kinerja biosensor terhadap deteksi glukosa pada  $0,1 \text{ M}$  larutan bufer fosfat (PB) pH 7 dengan rentang linier  $0,2\text{--}15 \text{ mM}$ , batas deteksi (LOD)  $116 \mu\text{M}$ , sensitivitas  $24,41 \mu\text{A}/(\text{mM.cm}^2)$ . Biosensor menunjukkan kinerja baik dengan RSD  $4,42\%$  untuk 30 pengukuran, stabilitas penyimpanan  $73,28\%$  setelah 27 hari, dan selektivitas tinggi terhadap glukosa dibandingkan asam urat, urea, asam askorbat, dopamin, dan asam laktat. (Majidah et al., 2024).

## 5. Pengembangan Nanokarbon dan Nanopartikel dalam Aplikasinya untuk Sistem Pengantar Obat

Nanomedis memanfaatkan nanomaterial untuk pencegahan, diagnosis, dan terapi. Ukuran nano dan sifat unik nanokarbon serta nanopartikel mendukung aplikasi pencitraan dan sistem penghantar obat. Grafena, dengan luas permukaan besar dan sifat unggul, dapat dikombinasikan dengan nanopartikel logam untuk meningkatkan efektivitas DDS di bidang biomedis (Handayani et al., 2022). CNT memiliki karakteristik unik untuk sistem penghantar obat, seperti diameter nano, struktur berongga,

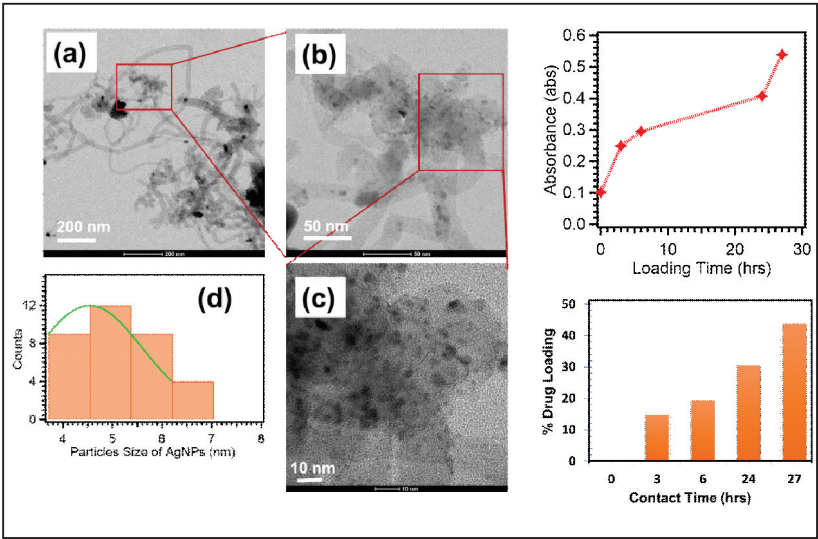
stabilitas tinggi, fleksibilitas, dan kemampuan memperpanjang waktu sirkulasi. Selain itu, sifat kelistrikan dan konduktivitas termalnya baik, serta mampu menembus sel tanpa merusaknya, menjadikannya *nanocarrier* yang ideal (Handayani, et al., 2022).

Nanopartikel digunakan sebagai DDS karena mampu mengirim obat ke target secara terkendali, mengurangi dosis, toksisitas, dan efek samping. Skala nano memungkinkan pelepasan terkontrol, peningkatan permeabilitas membran, serta efisiensi lewat enkapsulasi, adsorpsi, atau ikatan kovalen. Di antara nanopartikel logam, AgNP paling banyak digunakan berkat sifat antibakteri, aktivitas katalitik, luas permukaan besar, ukuran kecil, transfer elektron cepat, serta kemampuan optik dan fototermal yang menjadikannya potensial untuk penghantaran obat, pencitraan medis, dan diagnostik molekuler. Salah satu tantangan utama AgNP dalam biomedis adalah kecenderungannya mengalami aglomerasi saat sintesis dan penyimpanan, yang menurunkan stabilitas, aktivitas biologis, dan efisiensi penghantaran obat.

Dalam riset ini, kandidat mengembangkan sistem DDS berbasis kombinasi nanokarbon (grafena dan CNT) dengan AgNP (Handayani, Suwaji et al., 2022, Handayani, Asih, et al., 2022). Gabungan MWCNT dan AgNP efektif untuk penghantaran ibuprofen, dengan kapasitas muat yang meningkat seiring waktu. Pemuatan obat ibuprofen yaitu 14,7% dalam 3 jam, 19,3% dalam 6 jam, 30,5% dalam waktu kontak 24 jam, dan 43,7% dalam waktu kontak 27 jam seperti terlihat pada Gambar 3.7 (Handayani, Asih, et al., 2022)

Pengembangan nanokomposit grafena dan AgNP dilakukan juga oleh kandidat yang sangat efektif sebagai sistem penghantar obat asam asetilsalisilat (ASA). Hasil menunjukkan bahwa rGO/

AgNPs memiliki kapasitas pemuatan tinggi untuk ASA, dengan efisiensi optimal sebesar 83% dalam waktu kontak 30 jam (Handayani, Suwaji et al., 2022).



Sumber: Handayani, Asih et al. (2022)

**Gambar 3.7** (a-c) Hasil sintesis MWCNT/AgNP dengan TEM. (d) ukuran partikel perak 4.66 nm. (e-f) Aplikasi sebagai DDS untuk obat ibuprofen

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## **IV. PELUANG DAN TANTANGAN PENGEMBANGAN MATERIAL NANOKARBON DAN NANOPARTIKEL DI INDONESIA**

Indonesia memiliki peluang strategis dalam pengembangan nanokarbon dan nanopartikel berkat posisi geografisnya yang kaya sumber daya alam, komunitas riset yang berkembang, dan peluang kolaborasi baik nasional dan internasional. Akan tetapi, dalam pengembangannya masih terdapat beberapa tantangan yang perlu menjadi perhatian. Dalam bab IV ini disampaikan peluang dan tantangan dalam riset dan inovasi nanoteknologi berbasis nanokarbon dan nanopartikel.

### **1. Posisi Strategis Indonesia dalam Riset Nanoteknologi Global dan Arah Kolaborasi Internasional**

Indonesia, dengan kekayaan sumber daya alam dan biomassa yang melimpah, memiliki potensi besar dalam pengembangan nanoteknologi berbasis nanokarbon dan nanopartikel. Sumber daya mineral dan limbah industri seperti *e-waste*, elektroda grafit bekas, dan biomassa dapat diolah menjadi material bernilai tinggi. Proses ini tak hanya mengurangi limbah, tetapi juga mendorong inovasi di sektor energi, kesehatan, dan lingkungan, serta mendukung ekonomi sirkular, penanganan perubahan iklim dan pencapaian SDG Indonesia

Riset dan inovasi nanoteknologi, khususnya nanokarbon dan nanopartikel, kini menjadi perhatian besar secara nasional dan global. Teknologi ini diprediksi menjadi pilar utama transformasi industri di bidang energi, kesehatan, elektronik, dan lingkungan. Aplikasi seperti baterai/supercapacitor, sistem *drug delivery*

cerdas, dan biosensor berbasis graphene dan CNT akan semakin umum. Seiring itu, regulasi terkait keamanan dan toksisitas akan berkembang, dan kebutuhan akan SDM yang menguasai nanoteknologi, rekayasa material, serta etika dan regulasi akan meningkat. Arah iptek masa depan akan berfokus pada material cerdas yang efisien dan berkelanjutan.

Meskipun riset nanokarbon dan nanopartikel di Indonesia telah berkembang di berbagai universitas dan BRIN, pengembangan grafena dan CNT masih menghadapi tantangan, seperti kebutuhan peralatan berteknologi tinggi untuk sintesis berkualitas serta efisiensi produksi skala besar agar lebih terjangkau. Pengembangan nanopartikel seperti nanosilika, emas, dan perak juga terkendala hilirisasi dan penerapan industri karena belum optimalnya teknologi produksi yang efisien, berkualitas, dan ekonomis.

Strategi pengembangan nanoteknologi berbasis nanokarbon dan nanopartikel di Indonesia meliputi penguasaan teknologi yang lebih efisien, peningkatan infrastruktur riset, inovasi skala besar, penguatan prioritas riset nasional, serta peningkatan kompetensi SDM di bidang nanoteknologi, nanokarbon, dan nanopartikel.

Jika dibandingkan dengan negara-negara tetangga di kawasan ASEAN seperti Singapura, Malaysia, dan Thailand, produktivitas riset nanoteknologi Indonesia masih tertinggal secara kuantitas. Berdasarkan data publikasi Scopus periode 2015–2024, Indonesia berada di peringkat keempat dengan sekitar 850 publikasi, sementara Singapura dan Malaysia masing-masing mencatat lebih dari 4.000 dan 2.500 publikasi. Meski tertinggal secara kuantitas, Indonesia memiliki keunggulan pengembangan nanomaterial berkelanjutan berbasis sumber daya alam seperti biomassa dan sumber daya lainnya. Untuk memperkuat kapasitas nasional, diperlukan kolaborasi

internasional dengan negara maju seperti Jerman, Jepang, Belanda dan negara maju lainnya dalam bidang nanosafety dan regulasi, guna mendorong alih teknologi dan pembentukan regulasi nasional yang sesuai standar global.

Dalam rangka pengembangan SDM riset dan inovasi dalam bidang nanoteknologi di Indonesia, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) membentuk Pusat Riset Sistem Nanoteknologi (PRSN) di awal bulan Januari 2024 di bawah Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material menjadi wadah penguatan SDM unggul dan bentuk komitmen pemerintah dalam memajukan riset nanoteknologi.

## **2. Kontribusi terhadap Pembangunan Berkelanjutan dan Kebijakan Nasional**

Pemerintah mendorong transformasi menuju ekonomi rendah karbon, kemandirian energi, dan sistem kesehatan berbasis inovasi. Dalam konteks ini, riset nanocarbon berbasis sumber daya lokal, seperti pengembangan elektroda baterai dari limbah kopi dan batok kelapa, menjadi kontribusi nyata untuk teknologi energi bersih. Inovasi grafena untuk baterai dan superkapasitor juga mendukung target RUEN dan penguatan ekosistem kendaraan listrik nasional, serta berkontribusi pada SDG 7, SDG 9, dan SDG 13.

Penelitian ini mendukung SDG 6 dan SDG 13 melalui pengembangan teknologi katalitik berbasis nanokarbon untuk reduksi CO<sub>2</sub> menjadi produk bernilai tambah (misalnya metana dan asam fenilpropiolat), serta aplikasi fotokatalis dan adsorben ramah lingkungan untuk pengolahan limbah industri, logam berat, zat warna, dan antibiotik. Pendekatan green synthesis yang digunakan sejalan dengan RPJMN dan Strategi Nasional Pembangunan Rendah Karbon (SRPRK) dalam mendorong ekonomi hijau. Di bidang kesehatan, riset ini mendukung SDG

3 dan SDG 9 melalui pengembangan biosensor dan sistem penghantar obat berbasis nanokarbon dan nanopartikel untuk meningkatkan diagnosis, efektivitas terapi, dan pengobatan presisi. Inovasi biosensor untuk deteksi dopamin, asam urat, dan glukosa menggunakan kombinasi GO, CNT, AgNP, dan AuNS menunjukkan pemanfaatan teknologi tepat guna dalam sistem kesehatan.

Dengan berbasis sumber daya lokal, sintesis hijau, dan teknologi aplikatif, penelitian ini sejalan dengan kebijakan nasional dan global. Penguasaan teknologi ini, sejalan dengan prioritas riset nasional, berpotensi meningkatkan daya saing Indonesia secara global. Penguatan riset ini juga mendukung peta jalan SDG 2030, khususnya di sektor energi bersih, kesehatan inklusif, dan produksi berkelanjutan serta selaras dengan RPJMN 2025 yang menekankan transformasi ekonomi berbasis inovasi dan hilirisasi sumber daya alam.

### **3. Regulasi, Toksisitas, dan Etika Lingkungan dalam Pengembangan Nanomaterial**

Perkembangan pesat nanoteknologi dengan material seperti AgNPs, AuNPs,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , dan nanokarbon berpori menawarkan potensi besar, namun juga menimbulkan kekhawatiran terkait toksisitas, etika lingkungan, dan regulasi. Beberapa nanopartikel dapat menyebabkan stres oksidatif, kerusakan DNA, dan bioakumulasi jika tidak dikontrol, termasuk logam oksida dan karbon yang berisiko saat diproses dengan bahan toksik atau mengalami degradasi tidak sempurna.

Sayangnya, sistem regulasi di banyak negara, termasuk Indonesia, masih belum memadai untuk mengatasi kompleksitas nanoteknologi ini. Uni Eropa dan Amerika Serikat telah mengimplementasikan kerangka yang lebih matang melalui REACH

dan EPA. Namun, di bawah REACH yang mulai mensyaratkan nanoform sejak 1 Januari 2020, hanya 95 dokumen pendaftaran dari 36 substansi nano yang diterima sekitar 10% dari jumlah yang diharapkan yaitu 300 dokumen (yordasgroup.com). Sementara itu, di bawah TSCA, EPA telah menerima lebih dari 160 notifikasi pra-produksi untuk bahan berskala nano sejak 2005, mencakup berbagai CNT dan nanopartikel logam (EPA.gov). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun regulasi sudah ada, implementasinya masih lemah dan kesenjangan data toksisitas cukup besar.

Dalam etika dan keberlanjutan, prinsip “*safe-by-design*” perlu menjadi landasan. Setiap tahap riset dan produksi nanomaterial harus memperhatikan degradasi biologis, keamanan sintesis hijau, dan minimnya paparan terhadap lingkungan dan manusia. Transparansi data, partisipasi publik, dan evaluasi independen juga penting untuk membangun kepercayaan. Untuk itu, regulasi nanomaterial di Indonesia perlu diperkuat dengan adopsi standar seperti REACH dan EPA, peningkatan kapasitas laboratorium toksikologi, serta penerapan pedoman etik yang menjunjung prinsip kehati-hatian dan kolaborasi lintas sektor. Pendekatan ini akan memastikan nanoteknologi berkembang secara aman dan berkelanjutan.

#### **4. Arah Pengembangan Masa Depan untuk Nanokarbon dan Nanopartikel**

Pengembangan riset nanokarbon dan nanopartikel ke depan akan diarahkan pada beberapa strategi kunci. Pertama, di bidang energi, riset akan difokuskan pada desain struktur elektroda hibrida berbasis grafena, CNT, dan nanopartikel logam/oksida untuk bisa meningkatkan kapasitansi spesifik dan stabilitas siklus, sekaligus mendorong penerapan pada baterai dan penyimpanan energi terbarukan.

Kedua, untuk lingkungan, penelitian akan memperdalam mekanisme adsorpsi dan katalisis pada nanomaterial, serta mengintegrasikannya menjadi sebuah sistem pemurnian air dan udara yang terukur secara industri, dengan orientasi pada teknologi berbiaya rendah dan berbasis sumber daya lokal.

Ketiga, di sektor kesehatan, arah riset ditujukan pada pengembangan biosensor generasi lanjut yang tidak hanya memiliki sensitivitas tinggi, tetapi juga bersifat portabel, *real-time*, dan terintegrasi dengan kecerdasan buatan (AI) untuk mendukung transformasi digital kesehatan nasional. Selain itu, sistem penghantar obat bisa dikembangkan menuju terapi presisi, dengan fokus pada sistem pelepasan obat terkontrol dan berbasis stimulus-respons seperti pH, suhu, dan medan magnet.

Keempat, dari sisi metodologi sintesis, strategi jangka panjang adalah memperkuat teknologi hijau dan ekonomi sirkular, melalui pemanfaatan biomassa lokal, limbah industri, dan energi terbarukan dalam proses sintesis, sehingga menghasilkan nanomaterial yang ramah lingkungan sekaligus bernilai tambah tinggi.

Kelima, riset ini akan memperkuat keterkaitan dengan agenda BRIN, kebijakan nasional dan SDG, dengan membangun peta jalan riset kolaboratif lintas bidang yaitu energi, lingkungan, kesehatan, dan teknologi hijau, serta mengarahkan hasil riset menuju hilirisasi industri. Dengan strategi ini, pengembangan nanokarbon dan nanopartikel akan menjadi fondasi penting dalam memperkuat kemandirian teknologi nasional, sekaligus mendukung target-target tujuan Pembangunan berkelanjutan (SDG).

## **5. Hilirisasi Industri dan Dampak Sosial-Ekonomi dalam Pengembangan Material Nanokarbon dan Nanopartikel**

Pengembangan material nanokarbon dan nanopartikel dalam berbagai bidang strategis seperti energi bersih, remediasi lingkungan, dan kesehatan memberikan kontribusi besar tidak hanya dalam kemajuan IPTEK, tetapi juga terhadap peningkatan kesejahteraan masyarakat dan daya saing industri nasional. Inovasi ini diarahkan untuk menjawab tantangan global seperti krisis energi, pencemaran lingkungan, dan kebutuhan layanan kesehatan yang lebih efektif dan presisi. Upaya ini berkontribusi langsung terhadap pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan SDG 3 kesehatan yang baik dan kesejahteraan, SDG 6 air bersih dan sanitasi, SDG 7 energi bersih dan terjangkau, SDG 9 industri, inovasi, dan infrastruktur, SDG 13 penanganan perubahan iklim, dan SDG 14 ekosistem laut.

Kolaborasi dengan sektor industri menjadi kunci hilirisasi riset nanokarbon dan nanopartikel. Dalam upaya ini, kandidat telah melakukan kerjasama dengan beberapa industri. Salah satunya yaitu industri manufaktur yang bergerak dalam produksi bitumen nano yang telah memanfaatkan nanosilika hasil riset untuk nanofiller bitumen yang mampu menggantikan nanosilika impor, sehingga meningkatkan kemandirian produk dalam negeri. Di sektor kesehatan, kolaborasi riset dengan dokter, rumah sakit dan laboratorium biomedis telah dilakukan oleh kandidat dalam riset bersama pengembangan perangkat biosensor untuk diagnosis penyakit kardiovaskuler menggunakan nanopartikel emas sebagai material elektroda. Dari sisi sosial ekonomi, riset ini membuka peluang industri bahan fungsional lokal, meningkatkan kapasitas SDM, dan memperkuat kemandirian Indonesia dalam nanoteknologi berkelanjutan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## V. KESIMPULAN

Riset dan inovasi nanoteknologi berbasis nanokarbon dan nanopartikel telah dilakukan kandidat dengan rekam jejak sejak tahun 2005 sampai dengan saat ini. Pengembangan nanokarbon (grafena dan CNT) dan nanopartikel (nanosilika, *nanogold*, *nanosilver*, dll) telah dilakukan kandidat dengan menggunakan berbagai bahan baku dan dengan berbagai metode sintesis, yang penerapannya mampu memberikan kontribusi efisien dan efektif untuk menangani berbagai permasalahan di Indonesia dan global, khususnya di bidang energi, lingkungan, dan kesehatan.

Pengembangan nanoteknologi berbasis nanokarbon dan nanopartikel secara langsung mendukung berbagai SDGs. Di bidang energi, material ini digunakan dalam baterai dan superkapasitor berkapasitas tinggi, mendukung SDG 7 (Energi Bersih) dan SDG 14 (Ekosistem Lautan) dengan mengurangi ketergantungan pada energi fosil yang mencemari lingkungan laut. Di sektor lingkungan, aplikasinya dalam pengolahan limbah dan reduksi CO<sub>2</sub> sejalan dengan SDG 6 (Air Bersih) dan SDG 13 (Iklim), SDG 14 (ekosistem laut) melalui teknologi fotokatalis dan sistem pengendalian emisi yang efisien. Di bidang kesehatan, pemanfaatan dalam biosensor dan sistem penghantar obat mendorong layanan medis yang lebih presisi, adaptif, dan terjangkau, sesuai dengan SDG 3 (Kesehatan). Seluruh pengembangan ini juga mencerminkan SDG 9 (Inovasi dan Infrastruktur) melalui penguatan teknologi berbasis riset terintegrasi. Dengan kontribusi lintas sektor tersebut, nanoteknologi menjadi fondasi penting dalam mempercepat pencapaian SDG secara menyeluruh dan berkelanjutan di Indonesia

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## VI. PENUTUP

Riset nanokarbon dan nanopartikel, telah dikembangkan oleh kandidat sebagai solusi untuk mendukung agenda pembangunan berkelanjutan. Pengembangan nanomaterial ini sangat potensial karena Indonesia memiliki posisi strategis dan sumber daya alam yang melimpah. Melalui pendekatan teknologi hijau dan pemanfaatan bahan lokal, nanomaterial fungsional dapat dihasilkan secara mandiri dan berkelanjutan.

Aplikasi nanokarbon dan nanopartikel yang dilakukan oleh kandidat meliputi sektor energi, kesehatan, dan lingkungan, yang sejalan dengan pencapaian SDG 3 (kesehatan), 6 (Air Bersih), 7 (energi bersih), 9 (Inovasi dan Infrastruktur), 13 (aksi iklim) dan 14 (Ekosistem Lautan). Inovasi ini mendukung teknologi energi terbarukan, pengolahan limbah, biosensor, serta sistem penghantar obat. Akan tetapi, pengembangan nanokarbon dan nanopartikel masih menghadapi tantangan seperti terkendala hilirisasi dan penerapan industri karena belum optimalnya teknologi produksi yang efisien, berkualitas, dan ekonomis.

Untuk mempercepat pengembangan teknologi ini, kandidat telah melakukan kolaborasi erat dengan banyak akademisi dari kampus dalam negeri maupun luar negeri, pemerintah, dan juga industri. Penguatan SDM, infrastruktur riset, dan kebijakan BRIN yang selaras dengan kebijakan nasional akan mendorong berkembangnya ekosistem inovasi yang berkelanjutan. Dengan pendekatan *safe by design* dan fokus pada teknologi hijau, riset nanokarbon dan nanopartikel yang dilakukan kandidat memberikan kontribusi signifikan bagi kemajuan bangsa dan kesejahteraan masyarakat melalui penerapan nanoteknologi yang canggih, aman, dan beretika.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## VII. UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama saya mengucapkan puji syukur yang tidak terhingga ke hadirat Allah SWT karena atas segala rahmat, hidayah dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyampaikan orasi pengukuhan profesor riset pada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Republik Indonesia ini dan sehingga acara orasi ini dapat berjalan dengan lancar. Acara orasi ini juga dapat terselenggara atas kontribusi besar dari banyak pihak.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Yang Terhormat, Presiden Republik Indonesia, Bapak Prabowo Subianto dan Presiden Republik Indonesia ke-7 Bapak Ir. Joko Widodo atas amanat dan penugasan saya sebagai peneliti ahli utama di BRIN.

Ucapan terima kasih kepada Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Prof. Dr. Arif Satria, S.P., M.Si. dan Kepala BRIN periode 2021 - 2025 Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc, atas arahan dan kepercayaan yang diberikan dalam mendukung pengembangan karier kepakaran saya sebagai peneliti.

Ucapan terima kasih saya lanjutkan kepada Wakil Kepala BRIN Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian M.Sc., DESD., ASEAN Eng., atas dukungan beliau dalam menciptakan ekosistem riset yang kondusif bagi para periset untuk berkarya dan berkembang secara profesional.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset BRIN, Prof. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, MSCE., Ph.D.; Sekretaris Majelis

Pengukuhan Profesor Riset BRIN, Prof. Dr. Ir. Zainal Arifin, M.Sc.; Tim Penelaah Naskah Orasi Ilmiah; Prof. Dr. Ratno Nuryadi, Prof. Dr. Florentinus Firdiyono, Prof. Dr. Ing . Andika Widya Pramono, Prof. Dr. Ir. Praswasti PDK Wulan, MT; 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; serta Panitia Pelaksana Pengukuhan; dan pihak-pihak lain yang berkenaan sehingga naskah orasi ini layak disampaikan pada sidang terbuka pengukuhan ini.

Perjalanan karir saya tidak terlepas dari dukungan dan kesempatan yang diberikan oleh Dr. Agus Sukarto Wismogroho, M.Eng (Plt. Kepala Pusat Riset Sistem Nanoteknologi/PRSN) sebelumnya. Kepala Pusat Riset Material Maju, Dr. Wahyu Bambang Widayatno, Kepala Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI terdahulu yaitu Prof. Dr. Rudi Subagja, Ir. Eddy Dwi Tjahyono, Prof. Dr. -Ing. Andika Widya Pramono, M.Sc dan Prof. Dr. Nurul Taufiqurrahman atas dukungan dan kesempatan yang diberikan.

Penghormatan dan penghargaan yang setinggi-tingginya saya sampaikan kepada para guru saya dari SD, SMP, SMA, dosen saya, Prof Dr. Neng Sri Suharty, dan Dr. Dewi Suci Handayani atas segala ilmu yang diberikan, support dan motivasinya selama saya studi di UNS. Penghormatan dan penghargaan setinggi-tingginya kepada Prof. Takuji Ogawa yang telah membimbing saya dan memotivasi saya dalam melakukan riset dengan gigih dan terbaik dalam studi S-2 dan S-3 saya di Osaka University. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada para kolega dan mitra dari dalam dan luar negeri atas kerjasama dan dukungan yang luar biasa sampai saat ini. Ucapan

terimakasih juga juga saya sampaikan kepada seluruh sivitas PRSN-BRIN dan juga Kelompok riset Nanokarbon Fungsional di PRSN-BRIN atas dukungannya. Ucapan terimakasih juga juga saya sampaikan kepada seluruh sivitas Pusat Riset Metalurgi - LIPI, dan juga sivitas Pusat Riset Material Maju BRIN dimana kandidat pernah menjadi bagian dari Pusat Riset tersebut. Saya juga mengucapkan terimakasih kepada postdoctoral fellow saya, mahasiswa saya S-1, S-2, S-3 dan asisten riset atas support dan kerjasamanya.

Pencapaian sampai saat ini tidaklah terlepas dari dukungan yang luar biasa dari keluarga saya. Penghormatan tertinggi dan tidak terhingga saya ucapkan kepada kedua orang tua saya kepada Almarhum ayahanda Yanto Miharjo dan Almarhumah ibunda Painah, atas segala kasih sayangnnya, pengorbanan, dan bimbingan yang telah diberikan dalam mendidik, membimbing dan membesarkan saya sampai saat ini. Semoga limpahan rahmat dan karunia Allah SWT akan selalu tercurah kepada kedua orang tua saya dan segala pengorbanan yang begitu tulus dan ikhlas selama ini akan mendapatkan pahala berlipat ganda oleh Allah, SWT. Ucapan terima kasih juga saya ucapkan sebesar-besarnya kepada suami tercinta, Bambang Wisnu Widagdo, S.T, M.Sc. IT yang selalu mendampingi dan mendukung saya sepenuh hati tanpa kenal lelah dan dengan penuh cinta, kesabaran, pengertian, pengorbanan serta keikhlasan. Terimakasih juga untuk anak-anak saya, Mufida Washifah Fazila, Rasyiqul Zafran Kiyoshi, Falisha Aila Ramadhani dan Kalila Feisya Almahyra atas support dan kasih sayangnnya dengan sepenuh hati dan pengertian. Terimakasih juga saya ucapkan kepada kakak-kakak saya tercinta, Sri Sukarti, Dwi Lasana, S.Si, M.M, Ari Sarsono, S.T, M.M. atas dukungan, motivasi 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

- Abbas, A., Eng, X. E., Ee, N., Saleem, F., Wu, D., Chen, W., Handayani, M., Tabish, T. A., Wai, N., & Lim, T. M. (2021). Development of reduced graphene oxide from biowaste as an electrode material for vanadium redox flow battery. *Journal of Energy Storage*, 41, 102848. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102848>
- Abd El-Mageed, A. I. A., **Handayani, M.**, Chen, Z., Inose, T., & Ogawa, T. (2019). Assignment of the absolute-handedness chirality of single-walled carbon nanotubes by using organic molecule supramolecular structures. *Chemistry–A European Journal*, 25(8), 1941–1948. <https://doi.org/10.1002/chem.201804832>
- Abdullah, I., Suryani, R. A., Ristiana, D. D., Maristya, A. H., Krisnandi, Y. K., & **Handayani, M.** (2024). Nanosilver-decorated reduced graphene oxide for catalytic carboxylation of phenylacetylene with CO<sub>2</sub>. *Materials Chemistry and Physics*, 314, 128852. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2023.128852>
- Abubakre, O. K., Medupin, R. O., Akintunde, I. B., Jimoh, O. T., Abdulkareem, A. S., Muriana, R. A., James, J. A., Ukoba, K. O., Jen, T.-C., & Yoro, K. O. (2023). Carbon nanotube-reinforced polymer nanocomposites for sustainable biomedical applications: a review. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 8(2), 100557. <https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2023.100557>
- Affi, J., **Handayani, M.**, Anggoro, M. A., Esmawan, A., Sabarman, H., Satriawan, A., Shalannanda, W., Siburian, R., & Anshori, I. (2023). Electrochemical and capacitive behavior of reduced graphene oxide from green reduction of graphene oxide by urea for supercapacitor electrodes. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 34(22), 1638. <https://doi.org/10.1007/s10854-023-11076-4>

- Anshori, I., Kepakisan, K. A. A., Nuraviana Rizalputri, L., Rona Althof, R., Nugroho, A. E., Siburian, R., & Handayani, M. (2022). Facile synthesis of graphene oxide/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocomposite for electrochemical sensing on determination of dopamine. *Nanocomposites*, 8(1), 155–166. <https://doi.org/10.1080/20550324.2022.2090050>
- Anshori, I., Nuraviana Rizalputri, L., Rona Althof, R., Sean Surjadi, S., Harimurti, S., Gumilar, G., Yuliarto, B., & **Handayani, M.** (2021). Functionalized multi-walled carbon nanotube/silver nanoparticle (f-MWCNT/AgNP) nanocomposites as non-enzymatic electrochemical biosensors for dopamine detection. *Nanocomposites*, 7(1), 97–108. <https://doi.org/10.1080/20550324.2021.1948242>
- Anshori, I., Ula, L. R., Asih, G. I. N., Ariasena, E., Raditya, A. N., Mulyaningsih, Y., **Handayani, M.**, Purwidyantri, A., & Prabowo, B. A. (2023). Durable nonenzymatic electrochemical sensing using silver decorated multi-walled carbon nanotubes for uric acid detection. *Nanotechnology*, 35(11), 115501. <https://doi.org/10.1088/1361-6528/ad143f>
- Ariasena, E., Raditya, A. N., Salsabila, N., Asih, G. I. N., Uperianti, Sari, R. I., **Handayani, M.**, Siburian, R., Kurniawan, C., & Widiarti, N. (2024). Evaluation of electrodeposition synthesis of gold nanodendrite on screen-printed carbon electrode for nonenzymatic ascorbic acid sensor. *Scientific Reports*, 14(1), 22854. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69970-8>
- Batool, F., Iqbal, M. S., Khan, S.-U.-D., Khan, J., Ahmed, B., & Qadir, M. I. (2021). Biologically synthesized iron nanoparticles (FeNPs) from *Phoenix dactylifera* have anti-bacterial activities. *Scientific Reports*, 11(1), 22132. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01374-4>
- Bethune, D. S., Kiang, C. H., De Vries, M. S., Gorman, G., Savoy, R., Vazquez, J., & Beyers, R. (1993). Cobalt-catalysed growth of carbon nanotubes with single-atomic-layer walls. *Nature*, 363(6430), 605–607. [https://ui.adsabs.harvard.edu/link\\_gateway/1993Natur.363..605B/doi:10.1038/363605a0](https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/1993Natur.363..605B/doi:10.1038/363605a0)

- Brodie, B. C. (1859). XIII. On the atomic weight of graphite. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 149, 249–259.
- Ciptasari, N. I., **Handayani, M.**, Kaharudin, C. L., Afkauni, A. A., Hatmanto, A. D., Anshori, I., Maksun, A., Riastuti, R., & Soedarsono, J. W. (2022). Synthesis of nanocomposites reduced graphene oxide-silver nanoparticles prepared by hydrothermal technique using sodium borohydride as a reductor for photocatalytic degradation of Pb ions in aqueous solution. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(5), 120. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.269844>
- Compostella, F., Pitirollo, O., Silvestri, A., & Polito, L. (2017). Glyco-gold nanoparticles: synthesis and applications. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, 13(1), 1008–1021. <https://doi.org/10.3762/bjoc.13.100>
- Darsono, N., **Handayani, M.**, Lestari, F. P., Erryani, A., Putrayasa, I. N. G., Thaha, Y. N., Sihalohe, Y. I., & Sutanto, H. (2020). Effect of multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs) on the micro-hardness and corrosion behaviour Mg-Zn alloy prepared by powder metallurgy. *Materials Science Forum*, 1000, 115–122. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1000.115>
- Farrell, D., Majetich, S. A., & Wilcoxon, J. P. (2003). Preparation and characterization of monodisperse Fe nanoparticles. *The Journal of Physical Chemistry B*, 107(40), 11022–11030. <https://doi.org/10.1021/jp0351831>
- Febriana, E., Angelina, E., Mayangsari, W., **Handayani, M.**, Irawan, J., Prasetyo, A. B., Sulistiyono, E., Muslih, E. Y., Nugroho, F., & Firdiyono, F. (2022). The effect of using solvent medium in the ultrasonication of silica precipitates. *Journal of Physics: Conference Series*, 2190(1), 12008.
- Febriana, E., **Handayani, M.**, Susilo, D. N. A., Yahya, M. S., Ganta, M., & Sunnardianto, G. K. (2021). A simple approach of synthesis of graphene oxide from pure graphite: Time stirring duration variation. *AIP Conference Proceedings*, 2382(1), 40006. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2190/1/012008>

- Firdiyono, F., **Handayani, M.**, Sulistiyono, E., Prasetyo, A. B., & Febriana, E. (2024). Synthesis of amorphous silica from silicone oil by way of gradually roasting process. *AIP Conference Proceedings*, 3003(1). <https://doi.org/10.1063/5.0186396>
- Georgakilas, V., Perman, J. A., Tucek, J., & Zboril, R. (2015). Broad family of carbon nanoallotropes: classification, chemistry, and applications of fullerenes, carbon dots, nanotubes, graphene, nanodiamonds, and combined superstructures. *Chemical Reviews*, 115(11), 4744–4822.
- Giyanto, Jon, A., Gunawarman, **Handayani, M.**, Yetri, Y., & Rohmat, N. (2024). CHARACTERISATION OF GRAPHENE DERIVED FROM COCONUT SHELLS: IMPACT OF AMMONIA DOPING AND THE SONICATION METHOD. *CERAMICS-SILIKATY*, 68(1), 116–120.
- Gomathi, A., Priyadharsan, A., **Handayani, M.**, Kumar, K. A. R., Saranya, K., Kumar, A. S., Srividhya, B., Murugesan, K., & Maadeswaran, P. (2024). Pioneering superior efficiency in Methylene blue and Rhodamine b dye degradation under solar light irradiation using CeO<sub>2</sub>/Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ternary photocatalysts. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 313, 124125. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2024.124125>
- Gutés, A., Carraro, C., & Maboudian, R. (2012). Single-layer CVD-grown graphene decorated with metal nanoparticles as a promising biosensing platform. *Biosensors and Bioelectronics*, 33(1), 56–59. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2011.12.018>
- Handayani, M.** (2016). Pengaruh Temperatur dan Jenis Reduktor Terhadap Perolehan Persen Metalisasi Hasil Reduksi Bijih Besi dari Kalimantan. *Jurnal Furnace*, 2(1). <https://dx.doi.org/10.36055/furnace.v2i1.1683>
- Handayani, M.**, Asih, G. I. N., Kusumaningsih, T., & Kusumastuti, Y. (2022). Functionalization of multi-walled carbon nanotubes–silver nanoparticle (MWCNTs-AgNPs) as a drug delivery system for ibuprofen. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, 12, 795–801.

- Handayani, M.,** Ganta, M., Susilo, D. N. A., Yahya, M. S., Sunnardianto, G. K., Darsono, N., Sulistiyono, E., Setiawan, I., Lestari, F. P., & Erryani, A. (2019). Synthesis of graphene oxide from used electrode graphite with controlled oxidation process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 541(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/541/1/012032>
- Handayani, M.,** Hendrik, Abbas, A., Anshori, I., Mulyawan, R., Satriawan, A., Shalannanda, W., Setianingsih, C., Pingak, C. T. R., & Zahro, Q. (2023). Development of graphene and graphene quantum dots toward biomedical engineering applications: A review. *Nanotechnology Reviews*, 12(1), 20230168. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/541/1/012032>
- Handayani, M.,** Kepakisan, K. A. A., Anshori, I., Darsono, N., & Nugraha T, Y. (2021). Graphene oxide based nanocomposite modified screen printed carbon electrode for qualitative cefixime detection. *AIP Conference Proceedings*, 2382(1). <https://doi.org/10.1063/5.0060625>
- Handayani, M.,** Mulyaningsih, Y., Aulia Anggoro, M., Abbas, A., Setiawan, I., Triawan, F., Darsono, N., Nugraha Thaha, Y., Kartika, I., Ketut Sunnardianto, G., Anshori, I., & Lisak, G. (2022). One-pot synthesis of reduced graphene oxide/chitosan/zinc oxide ternary nanocomposites for supercapacitor electrodes with enhanced electrochemical properties. *Materials Letters*, 314(February), 131846. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.131846>
- Handayani, M.,** Suwaji, B. I., Ihsantia Ning Asih, G., Kusumaningsih, T., Kusumastuti, Y., Rochmadi, & Anshori, I. (2022). In-situ synthesis of reduced graphene oxide/silver nanoparticles (rGO/AgNPs) nanocomposites for high loading capacity of acetylsalicylic acid. *Nanocomposites*, 8(1), 74–80. <https://doi.org/10.1080/20550324.2022.2054210>

- Hermadianti, S. A., **Handayani, M.**, Anggoro, M. A., Ristiana, D. D., Anshori, I., Esmawan, A., Rahmayanti, Y. D., Suhandi, A., Timuda, G. E., & Sunnardianto, G. K. (2024). Flower like-novel nanocomposite of Mg (Ti<sub>0.99</sub>Sn<sub>0.01</sub>) O<sub>3</sub> decorated on reduced graphene oxide (rGO) with high capacitive behavior as supercapacitor electrodes. *Nanotechnology*, 35(25), 255702. <https://doi.org/10.1088/1361-6528/ad2480/meta>
- Hummers Jr, W. S., & Offeman, R. E. (1958). Preparation of graphitic oxide. *Journal of the American Chemical Society*, 80(6), 1339.
- Iijima, S. (1991). Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*, 354(6348), 56–58. <https://doi.org/10.1038/354056a0>
- Janjua, T. I., Cao, Y., Kleitz, F., Linden, M., Yu, C., & Popat, A. (2023). Silica nanoparticles: A review of their safety and current strategies to overcome biological barriers. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 203, 115115. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2023.115115>
- Journet, C., & Bernier, P. (1998). Production of carbon nanotubes. *Applied Physics A: Materials Science & Processing*, 67(1).
- Kelsall, R. W., Hamley, I. W., & Geoghegan, M. (2005). *Nanoscale Science and Technology*. <https://doi.org/10.1002/0470020873>
- Khan, I., Saeed, K., & Khan, I. (2019). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(7), 908–931. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.05.011>
- Khotimah, K., **Handayani, M.**, Rahmawati, N., Tjahjono, A., Ristianingrum, W. D., Prasetyo, J., Elena, N., & Lutfi, M. (2024). Effect of functionalized multi-walled carbon nanotubes on adsorbents derived from cocoa waste for lead (II) adsorption in aqueous solutions. *AIP Conference Proceedings*, 3003(1). <https://doi.org/10.1063/5.0186400>
- Kim, K. S., Zhao, Y., Jang, H., Lee, S. Y., Kim, J. M., Kim, K. S., Ahn, J.-H., Kim, P., Choi, J.-Y., & Hong, B. H. (2009). Large-scale pattern growth of graphene films for stretchable transparent electrodes. *Nature*, 457(7230), 706–710. <https://doi.org/10.1038/nature07719>

- Krisnandi, Y. K., Abdullah, I., Prabawanta, I. B. G., & **Handayani, M.** (2020). In-situ hydrothermal synthesis of nickel nanoparticle/reduced graphene oxides as catalyst on CO<sub>2</sub> methanation. *AIP Conference Proceedings*, 2242(1). <https://doi.org/10.1063/5.0007992>
- Kroto, H. W., Heath, J. R., O'Brien, S. C., Curl, R. F., & Smalley, R. E. (1985). C60: Buckminsterfullerene. *Nature*, 318(6042), 162–163. <https://doi.org/10.1038/318162a0>
- Kuila, T., Mishra, K., Khanra, P., & Kim, H. (2013). Recent Advances in the Efficient Reduction of graphene oxide and its application as energy storage electrode materials. *RSC Publishing*, 5(52), 52–71. <https://doi.org/10.1039/c2nr32703a>
- Larasati, F., Kusumastuti, Y., Mindaryani, A., & **Handayani, M.** (2022). Surface modification of multi-walled carbon nanotubes with polysaccharides. *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, 22(1), 82–92. <https://doi.org/10.22146/ajche.69866>
- Latiff, N. M., Fu, X., Mohamed, D. K., Veksha, A., **Handayani, M.**, & Lisak, G. (2020). Carbon based copper (II) phthalocyanine catalysts for electrochemical CO<sub>2</sub> reduction: Effect of carbon support on electrocatalytic activity. *Carbon*, 168, 245–253. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.06.066>
- Li, N., Zhao, P., & Astruc, D. (2014). Anisotropic gold nanoparticles: synthesis, properties, applications, and toxicity. *Angewandte Chemie International Edition*, 53(7), 1756–1789. <https://doi.org/10.1002/anie.201300441>
- Li, W., Xu, H., Cui, M., Zhao, J., Liu, F., & Liu, T. (2019). Synthesis of sulfonated graphene/carbon nanotubes/manganese dioxide composite with high electrochemical properties. *Ionics*, 25(3), 999–1006. <https://doi.org/10.1007/s11581-018-2767-0>

- Majidah, S., Rizalputri, L. N., Ariasena, E., Raditya, A. N., Ropii, B., Salsabila, N., Uperianti, **Handayani, M.**, Hartati, Y. W., & Anshori, I. (2024). Evaluating bioreceptor immobilization on Gold Nanospikes (AuNS)-modified Screen-Printed Carbon Electrode (SPCE) as enzymatic glucose biosensor. *Nanocomposites*, 10(1), 125–137. <https://doi.org/10.1080/20550324.2024.2335692>
- Malathi, A., Priyadharsan, A., **Handayani, M.**, Hasan, I., Divya, G., Sivaranjani, K., & Sivakumar, S. (2024). Boosted solar-driven photocatalysis: silver molybdate/reduced graphene oxide nanocomposites for methylene blue decomposition. *Ionics*, 30(3), 1603–1614. <https://doi.org/10.1007/s11581-023-05346-8>
- Muqoyyanah, M., Khoerunnisa, F., **Handayani, M.**, Rahmayanti, Y. D., Triadi, H. A., Annifah, R. U., Iasya, Y. K. A. A., Gunawan, T., Lestari, W. W., & Sanjaya, E. H. (2023). Effect of silver nanoparticles on the morphological, antibacterial activity and performance of graphene oxide-embedded polyvinylidene fluoride membrane. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(6), 111394. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111394>
- Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V, Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S. V, Grigorieva, I. V, & Firsov, A. A. (2004). Electric field effect in atomically thin carbon films. *Science*, 306(5696), 666–669. <https://doi.org/10.1126/science.1102896>
- Osterrieth, J. W. M., Rampersad, J., Madden, D., Rampal, N., Skoric, L., Connolly, B., Allendorf, M. D., Stavila, V., Snider, J. L., Ameloot, R., Marreiros, J., Ania, C., Azevedo, D., Vilarrasa-garcia, E., Santos, B. F., Bu, X., Chang, Z., Bunzen, H., Champness, N. R., ... Fairen-jimenez, D. (2022). How Reproducible are Surface Areas Calculated from the BET Equation ? *Advanced Science News*, 2201502. <https://doi.org/10.1002/adma.202201502>
- Park, S., & Ruoff, R. S. (2009). Chemical methods for the production of graphenes. *Nature Nanotechnology*, 4(4), 217–224. <https://doi.org/10.1038/nnano.2009.58>

- Prasetyo, A. B., **Handayani, M.**, Sulistiyono, E., Firdiyono, F., Febriana, E., Mayangsari, W., Wahyuningsih, S., Pramono, E., Maksum, A., & Riastuti, R. (2023). Fabrication of high purity silica precipitates from quartz sand toward photovoltaic application. *Journal of Ceramic Processing Research*, 24(1), 103–110. <https://doi.org/10.36410/jcpr.2023.24.1.103>
- Prasetyo, A. B., **Handayani, M.**, Sulistiyono, E., Syahid, A. N., Febriana, E., Mayangsari, W., Muslih, E. Y., Nugroho, F., & Firdiyono, F. (2022). Development of high purity amorphous silica from emulsifier silicon by pyrolysis process at temperature of 700 oC. *Journal of Physics: Conference Series*, 2190(1), 12013. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2190/1/012013>
- Prasetyo, A. B., Mayangsari, W., Febriana, E., Ridhova, A., Sulistiyono, E., Firdiyono, F., **Handayani, M.**, & Soedarsono, J. W. (2024). Synthesis of silica precipitates from ferronickel slag using water leaching with alkali fusion treatment. *AIP Conference Proceedings*, 3003(1). <https://doi.org/10.1063/5.0186214>
- Primastari, S. D., Kusumastuti, Y., & **Handayani, M.** (2022). Functionalization of multi-walled carbon nanotube (MWCNT) with CTACe surfactant and polyethylene glycol as potential drug carrier. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 963(1), 12033. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/963/1/012033>
- Priyadharsan, A., Ramar, K., **Handayani, M.**, Kasilingam, T., Gnanamoorthy, G., Shaik, M. R., Shaik, B., & Guru, A. (2024). Hydrothermal green synthesis of Aloe Vera Gel-Biotemplated iron oxide nanoparticles for robust photocatalytic degradation of methylene blue, chromium (VI) reduction, and antibacterial efficacy. *Water, Air, & Soil Pollution*, 235(5), 309. <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07120-6>
- Putri, R. G., Syafera, Y., Larasati, F., Putri, N. R. E., **Handayani, M.**, & Kusumastuti, Y. (2020). Effect of reaction time on modification of multi-walled carbon nanotubes with HNO<sub>3</sub>. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 742(1), 12038. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/742/1/012038>

- Rahmayanti, Y. D., **Handayani, M.**, Jamaluddin, K., Suharty, N. S., Anshori, I., Khoerunnisa, F., Lestari, W. W., Sanjaya, E. H., & Gunawan, T. (2024). Fabrication of chitosan/graphene oxide/TiO<sub>2</sub> (Ch/GO/TiO<sub>2</sub>) nanocomposite film for photocatalytic degradation of acetaminophen. *AIP Conference Proceedings*, 3003(1). <https://doi.org/10.1063/5.0186401>
- Ristiana, D. D., **Handayani, M.**, Anggoro, M. A., Widagdo, B. W., Angelina, E., Sutanto, H., Anshori, I., Febriana, E., Firdiyono, F., Sulistiyono, E., Prasetyo, A. B., Lusiana, & Astawa, I. N. G. P. (2024). Reduced graphene oxide/nano-silica (rGO/n-SiO<sub>2</sub>) nanocomposite for electrode materials of supercapacitor with a high cycling stability. *South African Journal of Chemical Engineering*, 48(October 2023), 130–137. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2024.01.012>
- Rudiyanto, A. (2020). *Pedoman Teknis Penyusunan Rencana Aksi—Tujuan Pembangunan Berkelanjutan/Sustainable Development Goals (TPB/SDGs)*. Kedeputian Bidang Kemaritiman dan Sumber Daya Alam.
- Shenashen, M. A., El-Safty, S. A., & Elshehy, E. A. (2014). Synthesis, morphological control, and properties of silver nanoparticles in potential applications. *Particle & Particle Systems Characterization*, 31(3), 293–316. <https://doi.org/10.1002/ppsc.201300181>
- Sihombing, Y. A., Sari, R. I., Hermanto, B. R., **Handayani, M.**, Kusumocahyo, S. P., Ulum, M. F., Siburian, R., Kurniawan, C., Widiarti, N., & Hartati, Y. W. (2024). Enhanced uric acid detection using functionalized multi-walled carbon nanotube/AgNi nanocomposites: A comparative study on screen-printed carbon electrode (SPCE) and fabric-based biosensors. *Sensors and Actuators Reports*, 8, 100223. <https://doi.org/10.1016/j.snr.2024.100223>

- Sivaranjani, K., Priyadharsan, A., **Handayani, M.**, Ansar, S., Dasha Kumar, K., Dharmaraja, J., & Sivakumar, S. (2024). Unveiling solar-powered efficiency for methylene blue photodegradation with Ag-doped CeO<sub>2</sub>/ZnO nanocomposites. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 35(20), 1417. <https://doi.org/10.3390/moleculeS-29215152>
- Stöber, W., Fink, A., & Bohn, E. (1968). Controlled growth of monodisperse silica spheres in the micron size range. *Journal of Colloid and Interface Science*, 26(1), 62–69. [https://doi.org/10.1016/0021-9797\(68\)90272-5](https://doi.org/10.1016/0021-9797(68)90272-5)
- Suvarnaphaet, P., & Pechprasarn, S. (2017). Graphene-based materials for biosensors: a review. *Sensors*, 17(10), 2161.
- Yu, H., Zhang, B., Bulin, C., Li, R., & Xing, R. (2016). High-efficient synthesis of graphene oxide based on improved hummers method. *Scientific Reports*, 6(1), 36143. <https://doi.org/10.3390/s17102161>
- Yuliantoro, H., Kusumastuti, Y., Mindaryani, A., **Handayani, M.**, & Rochmadi. (2021). Functionalization of single-walled carbon nanotubes with a HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> mixture through different treatments: A DFT supported study. *AIP Conference Proceedings*, 2349(1), 20071. <https://doi.org/10.1063/5.0051916>
- Zhu, Z., Garcia-Gancedo, L., Flewitt, A. J., Xie, H., Moussy, F., & Milne, W. I. (2012). A critical review of glucose biosensors based on carbon nanomaterials: carbon nanotubes and graphene. *Sensors*, 12(5), 5996–6022. <https://doi.org/10.3390/s120505996>

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## **DAFTAR CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET, DAN INOVASI**

### **Karya Tulis Ilmiah**

- |                                   |         |
|-----------------------------------|---------|
| 1. Bagian dari Buku Internasional | 2 buah  |
| 2. Jurnal Internasional           | 78 buah |
| 3. Jurnal Nasional                | 8 buah  |
| 4. Prosiding Internasional        | 42 buah |
| 5. Prosiding Nasional             | 5 buah  |

### **Kekayaan Intelektual**

- |                   |         |
|-------------------|---------|
| 1. Paten Nasional |         |
| a) Terdaftar      | 36 buah |
| b) Tersertifikasi | - buah  |

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

### Bagian dari Buku Internasional

1. Ogawa, T., & **Handayani, M.** (2017). Design and Syntheses of Molecules for Nonlinear and Nonsymmetric Single-Molecule Electric Properties. In *Molecular Architectonics: The Third Stage of Single Molecule Electronics* (pp. 419-437). Springer International Publishing.
2. **Handayani, M.**, Rahmayanti, Y. D., Anshori, I. (2023). Graphene and Carbon nanotubes as glucose sensors” (pp. 205-240). Nova Publisher.

### Jurnal Internasional

3. Alaguvel, K., Arun, V., Rahmayanti, Y. D., **Handayani, M.**, Parvathy, S., Vijayakumar, P., Dhanush, C., Sivaranjani, K., & Sivakumar, S. (2025). Inorganic–carbon nanohybrid rGO/Ag–CeO<sub>2</sub> nanocomposites with structural insights and dual photocatalytic–antibacterial properties. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*. Springer Nature
4. Suyambulingam, I., Somasundaram, R., Divakaran, D., Boominathan, S., Senthamaraikannan, P., Ayrilmis, N., & **Handayani, M.** (2025). Isolation of microcrystalline cellulose from vegetable waste biomass and its potential as a high-performance green reinforcement in biocomposites. *Bioresource Technology Reports*, 32, 102337. Elsevier
5. Hardiansyah, A., Maulana, R. F., **Handayani, M.**, Wang, K.-S., Budi, C. S., Yudasari, N., Isnaeni, I., Cheng, Y.-W., & Liu, T.-Y. (2025). Synthesis and characterization of CuO–ZnO/rGO nanocomposite using one-step hydrothermal method for photodegradation of malachite green (MG) dyes. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 158, 106471. Elsevier.

6. Kandiah, K., Negara, W., Arumugam, P., Subramaniam, R. T., **Handayani, M.**, & Kamaraj, C. (2025). Efficacy of *Streptomyces achromogenes* MAA01-influenced hydroxyapatite/graphene oxide nanocomposites for bone ossification. *3 Biotech*, 15(9), 292. Springer International Publishing.
7. Iasya, Y. K. A. A., Khoerunnisa, F., Dwi, S. S., Putri, R. A., Nurhayati, M., Arrozi, U. S. F., Permana, Y., **Handayani, M.**, Astuti, W. D., Da, O. W., & Irnanda, I. (2025). Synergetic effect of ZnO/NiO nanocomposite on the enhancement of photocatalytic degradation efficiency of dyes molecules. *Communications in Science and Technology*, 10(1), 1–9.
8. Laksemana, I. K. A., Adi, R. K., **Handayani, M.**, Rahmayanti, Y. D., Anggoro, M. A., Muflikhun, M. A., & Triawan, F. (2025). Antibacterial enhancement and mechanical characterization of PLA resin through the addition of AgNO<sub>3</sub> for DLP 3D printing. *Materials Letters*, 139105. North-Holland.
9. Wafi, A., Roza, L., Timuda, G. E., **Handayani, M.**, Yudasari, N., Khan, A., Khan, I. A., Atmaja, L., & Horváth, O. (2025). Ultrasonic and vitamin C mediated synthesis of plasmonic Ag-, Cu-, and Ag/Cu-TiO<sub>2</sub> for photocatalytic degradation of Rhodamine B. *Surfaces and Interfaces*, 107135. Elsevier.
10. Anggoro, M. A., **Handayani, M.**, Anshori, I., Esmawan, A., Widagdo, B. W., & Sunnardianto, G. K. (2025). Facile synthesis of ternary reduced graphene oxide-zinc oxide-activated carbon nanocomposite (rGO/ZnO/AC) for high-performance electrode material of supercapacitor. *Diamond and Related Materials*, 112570. Elsevier.
11. Al Habib, I., Ismail, A. I., Umanigrum, D., Purniawan, A., **Handayani, M.**, Ogata, G., Einaga, Y., & Triana, Y. (2025). Detection of Quinine in Phospate Buffered 0, 1 M by Using Boron-Doped Diamond Electrodes. *Engineering Chemistry*, 9, 23–32.

12. Anshori, I., Munifah, K. L., Ariasena, E., Fa'iq, M. A., Pradana, A., Akbar, M. R., Syamsunarno, M.R.A.A., **Handayani, M.**, Purwidyantri, A., & Prabowo, B. A. (2025). Development of 3D printed click-and-fit modular microfluidics for an integrated electrochemical platform. *Progress in Additive Manufacturing*, 10(4), 2691–2701.
13. Arun, V., Priyadharsan, A., Rahmayanti, Y. D., Afzal, M., Gnanasekaran, L., Permana, Y., Astuti, W.D., Da, O.W., Khoerunnisa, F., & **Handayani, M.** (2025). Synthesis and photocatalytic performance of ZnO/NiO-decorated reduced graphene oxide nanohybrids for methylene blue degradation. *Ionics*, 1–19.
14. Natayu, A., Setiawan, I., **Handayani, M.**, Asmara, Y. P., & Saptaji, K. (2025). Optimization of stereolithography 3D printed photopolymer using halloysite nanotubes reinforcement for hot embossing master mold application. *Progress in Additive Manufacturing*, 1–17.
15. Dendy, D., Lestari, W. W., Anshori, I., Surawijaya, A., **Handayani, M.**, Wahyuningsih, S., Saraswati, T.E., & Suharbiansah, R. S. R. (2025). Enhanced Indigo Carmine Adsorption Using Ethylenediamine-Modified MIL-101 (Cr) Materials. *Materials Chemistry and Physics*, 130465.
16. **Handayani, M.**, Suryani, I. O., Anggoro, M. A., Setiawan, I., Harwanto, U. N., & Prasetyo, J. (2025, January). Synthesis of graphene quantum dots derived from D-glucose based-nanocomposites and its physicochemical properties. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3223, No. 1). AIP Publishing.
17. Rohmat, N., Bakhri, S., Nalang, Y. H., Amwin, O., Giyanto, Affi, J., Gunawarman, **Handayani, M.**, Yetri, Y., Siburian, R. and Anshori, I., & Anshori, I. (2025, January). The effect of nitrogen doped graphene-like carbon synthesized from coconut shell on conductivity property. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3223, No. 1, p. 050010). AIP Publishing LLC.

18. Giyanto, Rohmat, N., Affi, J., Gunawarman, **Handayani, M.**, Yetri, Y., & Anshori, I. (2025, January). The effect of pyrolysis temperatures on synthesized graphene nanosheets-like carbon property extracted from coconut shells. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3223, No. 1, p. 030015). AIP Publishing LLC.
19. Ramadhan, M. R., Destiny, K. D., Leoriza, M. D., Sabriena, N., Kurniawan, F., Ismail, A. I., **Handayani, M.**, Ogata, G., Einaga, Y., & Triana, Y. (2025). Electrochemical behaviour of amodiaquine detection using boron doped diamond electrodes. *International Journal of Electrochemical Science*, 20(1), 100913.
20. Alya Nabilah, G., Adi Nugroho, R., Dendy, D., **Handayani, M.**, Sukowati, C., Tiribelli, C., Lory Crocè, S., & Wahyu Lestari, W. (2025). Dynamic pH-Responsive Release and Biological Impact of In Situ Quercetin-Modified MIL-101 (Fe)-NH<sub>2</sub>. *ChemNanoMat*, 11(1), e202400197.
21. Muadhif, F. I., **Handayani, M.**, Anggoro, M. A., Rahmayanti, Y. D., Ristiana, D. D., Khotimah, K., Anshori, I., Esmawan, A., Faris, A., Lailia, L.R. and Sunnardianto, G.K., & Rohmawati, L. (2025). Graphene oxide modified with magnesium hydroxide derived from dolomites for dyes adsorptions and supercapacitor. *Materials Chemistry and Physics*, 329, 130041.
22. Marsudi, S., Sunandar, K., Syafril, E., Leonita, S., Herlina Lumingkewas, R., Sudiarmanto, S., **Handayani, M.** & Jaeni Gunawan, M. (2024). GREEN SINTESIS NANOKOMPOSIT REDUCED GRAPHENE OXIDE (Rgo) TERDEKORASI ZEOLITIC IMIDAZOLATE FRAMEWORKS-8 (ZIF-8) UNTUK CO<sub>2</sub> CAPTURE.
23. Laksemana, I. K. A., Muflikhun, M. A., **Handayani, M.**, Rahmayanti, Y. D., Mahmuddin, F., & Triawan, F. (2024, December). On the Buckling Behavior of DLP 3D Printed PLA with AgNO<sub>3</sub> Addition. In *Materials Science Forum* (Vol. 1134, pp. 93–104). Trans Tech Publications Ltd.

24. Begum, S. S., Divakaran, D., Suyambulingam, I., Senthamaraikannan, P., **Handayani, M.**, Murali, A., & Han, S. S. (2024). Comprehensive characterization of bioplasticizer from the *Murraya koenigii* leaves: From biomass to biomaterial for polymer composite applications. *Industrial Crops and Products*, 222, 119950
25. Majidah, S., Rizalputri, L. N., Ariasena, E., Raditya, A. N., Ropii, B., Salsabila, N., Uperianti, **Handayani, M.**, Hartati, Y. W., & Anshori, I. (2024). Evaluating bioreceptor immobilization on Gold Nanospikes (AuNS)-modified Screen-Printed Carbon Electrode (SPCE) as enzymatic glucose biosensor. *Nanocomposites*, 10(1), 139–151.
26. Priyadharsan, A., Kamaraj, C., Ranjith, R., Sivakumar, S., Dewiani, R. Y., Thammasak, R., Periyasami, G., & **Handayani, M.** (2024). Synthesis of multifunctional rGO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/FeTiO<sub>3</sub> ternary nanocomposites for photocatalyst, antibacterial, and ecotoxicity assessment of zebrafish embryo model. *Journal of Alloys and Compounds*, 1007, 176256.
27. Sihombing, Y. A., Sari, R. I., Hermanto, B. R., **Handayani, M.**, Kusumocahyo, S. P., Ulum, M. F., Siburian, R., Kurniawan, C., Widiarti, N., & Hartati, Y. W. (2024). Enhanced uric acid detection using functionalized multi-walled carbon nanotube/AgNi nanocomposites: A comparative study on screen-printed carbon electrode (SPCE) and fabric-based biosensors. *Sensors and Actuators Reports*, 8, 100223.
28. Nugraha, A. D., Hakim, M. L., Pramana, A., Triawan, F., **Handayani, M.**, Rahmayanti, Y. D., & Muflikhun, M. A. (2024). Fracture Toughness in SPCC/CFRP Hybrid Laminates: Mode I and Mode II Perspectives. *Results in Engineering*, 103090.
29. Ariasena, E., Raditya, A. N., Salsabila, N., Asih, G. I. N., Uperianti, Sari, R. I., **Handayani, M.**, Siburian, R., Kurniawan, C., & Widiarti, N. (2024). Evaluation of electrodeposition synthesis of gold nanodendrite on screen-printed carbon electrode for nonenzymatic ascorbic acid sensor. *Scientific Reports*, 14(1), 22854.

30. Prabhuraj, T., Gomathi, A., Priyadharsan, A., **Handayani, M.**, Ansar, S., Kumar, K. A. R., & Maadeswaran, P. (2024). Design of a High-Performance WO<sub>3</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Z-Scheme Photocatalyst for Effective Phenol Degradation and Antibacterial Activity. *Journal of Cluster Science*, 1–16.
31. Anshori, I., Munifah, K. L., Ariasena, E., Fa'iq, M. A., Pradana, A., Akbar, M. R., Syamsunarno, M. R. A. A., **Handayani, M.**, Purwidyantri, A., & Prabowo, B. A. (2024). Development of 3D printed click-and-fit modular microfluidics for an integrated electrochemical platform. *Progress in Additive Manufacturing*, 1–11.
32. Sivaranjani, K., Priyadharsan, A., **Handayani, M.**, Ansar, S., Dasha Kumar, K., Dharmaraja, J., & Sivakumar, S. (2024). Unveiling solar-powered efficiency for methylene blue photodegradation with Ag-doped CeO<sub>2</sub>/ZnO nanocomposites. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 35(20), 1417.
33. Susanto, B., Kumar, V. V., Sean, L., **Handayani, M.**, Triawan, F., Rahmayanti, Y. D., Ardianto, H. & Muflikhun, M. A. (2024). Investigating Microstructural and Mechanical Behavior of DLP-Printed Nickel Microparticle Composites. *Journal of Composites Science*, 8(7), 247.
34. Susilowati, O., Lestari, W. W., **Handayani, M.**, Sukowati, C., Tiribelli, C., Crocè, L. S., Masykur, A., Wibowo, F.R., Ardyanto, T.D., & Saputra, O. A. (2024). One pot synthesis of UiO-66-NH<sub>2</sub> containing curcumin and cytotoxic evaluation toward liver cancer cells. *Materials Letters*, 365, 136460.
35. Rajendran, R., Rojviroon, O., Vasudevan, V., Arumugam, P., **Handayani, M.**, Akechatree, N., Leelert, Y., & Rojviroon, T. (2024). Magnetically separable ternary heterostructure photocatalyst CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/rGO: Enhancing photocatalytic degradation and bacterial inactivation. *Journal of Water Process Engineering*, 63, 105443.

36. Febriana, E., Mayangsari, W., Yudanto, S. D., Sulistiyono, E., **Handayani, M.**, Firdiyono, F., Maksum, A., Prasetyo, A.B., & Soedarsono, J. W. (2024). Novel method for minimizing reactant in the synthesis of sodium silicate solution from mixed-phase quartz-amorphous  $\text{SiO}_2$ . *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100656.
37. Hermawan, A., Salsabilla, Z., Prasetyo, V. G., Irmawati, Y., Septiani, N. L. W., Hardiansyah, A.,... & **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*, 1–12.
38. Krishnasamy, M., Arumugam, P., Jayanthi, T. S., Choudhary, S., Rojviroon, T., Matheswaran, P., **Handayani, M.**, Periyasami, G., Diravidamani, B. & Rajendran, R. (2024). Engineered  $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{MnO}_2$  Nanocomposite for Exceptional Photocatalytic Methylene Blue Degradation and Robust Antibacterial Impact. *Journal of Cluster Science*, 1–11.
39. Priyadharsan, A., Ramar, K., **Handayani, M.**, Kasilingam, T., Gnanamoorthy, G., Shaik, M. R., ... & Guru, A. (2024). Hydrothermal Green Synthesis of Aloe Vera Gel-Biotemplated Iron Oxide Nanoparticles for Robust Photocatalytic Degradation of Methylene Blue, Chromium (VI) Reduction, and Antibacterial Efficacy. *Water, Air, & Soil Pollution*, 235(5), 1–19.
40. Hermadianti, S. A., **Handayani, M.**, Anggoro, M. A., Ristiana, D. D., Anshori, I., Esmawan, A., ... & Ermawati, F. U. (2024). Flower like-novel nanocomposite of  $\text{Mg}(\text{Ti}_{0.99}\text{Sn}_{0.01})\text{O}_3$  decorated on reduced graphene oxide (rGO) with high capacitive behavior as supercapacitor electrodes. *Nanotechnology*, 35(25), 255702.
41. Ristiana, D. D., **Handayani, M.**, Anggoro, M. A., Widagdo, B. W., Angelina, E., Sutanto, H., ... & Prasetyo, A. B. (2024). Reduced graphene oxide/nano-silica ( $\text{rGO/n-SiO}_2$ ) nanocomposite for electrode materials of supercapacitor with a high cycling stability. *South African Journal of Chemical Engineering*, 48(1), 130–137.

42. Malathi, A., Priyadharsan, A., **Handayani, M.**, Hasan, I., Divya, G., Sivaranjani, K., & Sivakumar, S. (2024). Boosted solar-driven photocatalysis: silver molybdate/reduced graphene oxide nanocomposites for methylene blue decomposition. *Ionics*, 30(3), 1603-1614.
43. Abdullah, I., Suryani, R. A., Ristiana, D. D., Maristya, A. H., Krisnandi, Y. K., & **Handayani, M.** (2024). Nanosilver-decorated reduced graphene oxide for catalytic carboxylation of phenylacetylene with CO<sub>2</sub>. *Materials Chemistry and Physics*, 314, 128852.
44. Khoerunnisa, F., Yolanda, Y. D., Nurhayati, M., Hendrawan, H., Sanjaya, E. H., Triwardono, J., J., Astuti, W.D., **Handayani, M.**, Da Oh, W., & Ooi, B. S. (2024). pH-responsive chitosan/poly (vinyl pyrrolidone) based hydrogel composites: Antibacterial properties and release kinetics of diclofenac sodium. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 92, 105308.
45. Prifiharni, S., Senaputri, Y. Y., Priyotomo, G., Nikitasari, A., Kusumastuti, R., Musabikha, S., ... & **Handayani, M.** (2024). Effect of Graphene Oxide Sealing on the Corrosion Resistance of Anodized Aluminum Oxide. *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, 14(2), 156–163.
46. Giyanto, Jon, A., Gunawarman, **Handayani, M.**, Yetri, Y., & Rohmat, N. (2024). Characterisation of Graphene derived from Coconut Shells: Impact of Ammonia Doping and the Sonication Method. *Ceramics-Silikaty*, 68(1), 116–120.
47. Anshori, I., Ula, L. R., Asih, G. I. N., Ariasena, E., Raditya, A. N., Mulyaningsih, Y., **Handayani, M.**, Purwidyantri, A., & Prabowo, B. A. (2023). Durable nonenzymatic electrochemical sensing using silver decorated multi-walled carbon nanotubes for uric acid detection. *Nanotechnology*, 35(11), 115501.
48. **Handayani, M.**, Hendrik, Abbas, A., Anshori, I., Mulyawan, R., Satriawan, A., ... & Rahmayanti, Y. D. (2023). Development of graphene and graphene quantum dots toward biomedical engineering applications: A review. *Nanotechnology Reviews*, 12(1), 20230168.

49. Muqoyyanah, M., Khoerunnisa, F., **Handayani, M.**, Rahmayanti, Y. D., Triadi, H. A., Annifah, R. U., ... & Astuti, W. D. (2023). Effect of silver nanoparticles on the morphological, antibacterial activity and performance of graphene oxide-embedded polyvinylidene fluoride membrane. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(6), 111394.
50. Adelka, Y. F., Purnomo, D., Widyaningrum, B. A., **Handayani, M.**, Sutiawan, J., Umemura, K., ... & Kusumah, S. S. (2023). Effectiveness of Nanocatalyst in the Improvement of Sorghum Bagasse Particleboard Bonded with Bio-Adhesive. *Jurnal Sylva Lestari*, 11(3), 382–395.
51. Mamba'udin, A., **Handayani, M.**, Triawan, F., Rahmayanti, Y. D., & Muffikhun, M. A. (2023). Excellent characteristics of environmentally friendly 3D-printed nasopharyngeal swabs for medical sample collection. *Polymers*, 15(16), 3363.
52. Affi, J., **Handayani, M.**, Anggoro, M. A., Esmawan, A., Sabarman, H., Satriawan, A., ... & Anshori, I. (2023). Electrochemical and capacitive behavior of reduced graphene oxide from green reduction of graphene oxide by urea for supercapacitor electrodes. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 34(22), 1638.
53. Anshori, I., Heriawan, E. V., Suhayat, P. Y., Wicaksono, D. H., Kusumocahyo, S. P., Satriawan, A., ... & **Handayani, M.** (2023). Fabric-Based Electrochemical Glucose Sensor with Integrated Millifluidic Path from a Hydrophobic Batik Wax. *Sensors*, 23(13), 5833.
54. Hidayat, D., Lestari, W. W., Dendy, D., Khoerunnisa, F., **Handayani, M.**, Sanjaya, E. H., & Gunawan, T. (2023). Adsorption studies of anionic and cationic dyes on MIL-100 (Cr) synthesized using facile and green mechanochemical method. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 33(6), 1548–1561.

55. Prasetyo, A. B., **Handayani, M.**, Sulistiyono, E., Firdiyono, F., Febriana, E., Mayangsari, W., ... & Soedarsono, J. W. (2023). Fabrication of high purity silica precipitates from quartz sand toward photovoltaic application. *Journal of Ceramic Processing Research*, 24(1), 103–110.
56. Khoerunnisa, F., Amanda, P. C., Nurhayati, M., Hendrawan, H., Lestari, W. W., Sanjaya, E. H., **Handayani, M.**, ... & Lim, J. (2023). Promotional effect of ammonium chloride functionalization on the performance of polyethersulfone/chitosan composite-based ultrafiltration membrane. *Chemical Engineering Research and Design*, 190, 366–378.
57. Anshori, I., Kepakisan, K. A. A., Nuraviana Rizalputri, L., Rona Althof, R., Nugroho, A. E., Siburian, R., & **Handayani, M.** (2022). Facile synthesis of graphene oxide/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocomposite for electrochemical sensing on determination of dopamine. *Nanocomposites*, 8(1), 155–166.
58. **Handayani, M.**, Suwaji, B. I., Ihsantia Ning Asih, G., Kusumaningsih, T., Kusumastuti, Y., Rochmadi, & Anshori, I. (2022). In-situ synthesis of reduced graphene oxide/silver nanoparticles (rGO/AgNPs) nanocomposites for high loading capacity of acetylsalicylic acid. *Nanocomposites*, 8(1), 74–80.
59. Ciptasari, N. I., **Handayani, M.**, Kaharudin, C. L., Afkauni, A. A., Hatmanto, A. D., Anshori, I., ... & Soedarsono, J. W. (2022). Synthesis of nanocomposites reduced graphene oxide-silver nanoparticles prepared by hydrothermal technique using sodium borohydride as a reductor for photocatalytic degradation of Pb ions in aqueous solution. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(5), 120.
60. Anshori, I., Althof, R. R., Rizalputri, L. N., Ariasena, E., **Handayani, M.**, Pradana, A., ... & Yuliarto, B. (2022). Gold nanopikes formation on screen-printed carbon electrode through electrodeposition method for non-enzymatic electrochemical sensor. *Metals*, 12(12), 2116.

61. Rizalputri, L. N., Anshori, I., **Handayani, M.**, Gumilar, G., Septiani, N. L. W., Hartati, Y. W., ... & Yulianto, B. (2022). Facile and controllable synthesis of monodisperse gold nanoparticle bipyramid for electrochemical dopamine sensor. *Nanotechnology*, 34(5), 055502.
62. Anshori, I., Ramadhan, I. F., Ariasena, E., Siburian, R., Affi, J., **Handayani, M.**, ... & Harimurti, S. (2022). ESPotensio: A low-cost and portable potentiostat with multi-channel and multi-analysis electrochemical measurements. *IEEE Access*, 10, 112578–112593.
63. Triawan, F., Surya, M. J., **Handayani, M.**, & Nandiyanto, A. B. D. (2022). Investigation of Graphene Oxide-based Nanocomposite Coating Rupture Strength on Titanium Alloy by Tensile Test for Orthopedic Implant. *Journal of Engineering Science and Technology*, 17(4), 2846–2860.
64. Anshori, I., Lukito, V., Adhawiyah, R., Putri, D., Harimurti, S., Rajab, T. L. E., **Handayani, M.** and Purwidyantri, A., & Prabowo, B. A. (2022). Versatile and low-cost fabrication of modular lock-and-key microfluidics for integrated connector mixer using a stereolithography 3D printing. *Micromachines*, 13(8), 1197.
65. **Handayani, M.**, Mulyaningsih, Y., Anggoro, M. A., Abbas, A., Setiawan, I., Triawan, F., & Lisak, G. (2022). One-pot synthesis of reduced graphene oxide/chitosan/zinc oxide ternary nanocomposites for supercapacitor electrodes with enhanced electrochemical properties. *Materials Letters*, 314, 131846.
66. **Handayani, M.**, Asih, G. I. N., Kusumaningsih, T., & Kusumastuti, Y. (2022). Functionalization of multi-walled carbon nanotubes–silver nanoparticle (MWCNTs-AgNPs) as a drug delivery system for ibuprofen. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, 12, 795–801.

67. Sutiawan, J., Hadi, Y. S., Nawawi, D. S., Abdillah, I. B., Zulfiana, D., Lubis, M. A. R., **Handayani, M.**, & Hermawan, D. (2022). The properties of particleboard composites made from three sorghum (*Sorghum bicolor*) accessions using maleic acid adhesive. *Chemosphere*, 290, 133163.
68. Anshori, I., Althof, R. R., Rizalputri, L. N., Ariasena, E., **Handayani, M.**, Pradana, A., & Yulianto, B. (2022). Gold nanospikes formation on screen-printed carbon electrode through electrodeposition method for non-enzymatic electrochemical sensor. *Metals*, 12(12), 2116.
69. Larasati, F., Kusumastuti, Y., Mindaryani, A., & **Handayani, M.** (2022). Surface modification of multi-walled carbon nanotubes with polysaccharides. *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, 82–92.
70. Saputra, O. A., Lestari, W. A., Safitriyono, W. N., **Handayani, M.**, Lestari, W. W., & Wibowo, F. R. (2021).  $\beta$ -Amino alcohol-based organosilane tailored magnetite embedded mesoporous silica nanoparticles exhibit controlled-release of curcumin triggered by pH. *Materials Letters*, 305, 130804.
71. **Handayani, M.**, Nafi'ah, N., Nugroho, A., Rasyida, A., Prasetyo, A. B., Febriana, E., & Firdiyono, F. (2021). The Development of Graphene/Silica Hybrid Composites: A review for their applications and challenges. *Crystals*, 11(11), 1337.
72. Abbas, A., Eng, X. E., Ee, N., Saleem, F., Wu, D., Chen, W., **Handayani, M.**, & Lim, T. M. (2021). Development of reduced graphene oxide from biowaste as an electrode material for vanadium redox flow battery. *Journal of Energy Storage*, 41, 102848.
73. Sulistiyono, E., **Handayani, M.**, Prasetyo, A. B., Irawan, J., Febriana, E., Firdiyono, F., & Muslih, E. Y. (2021). Implementation of sulfuric acid leaching for aluminum and iron removal for improvement of low-grade silica from quartz sand of Sukabumi, Indonesia. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(6), 111.

74. Anshori, I., Nuraviana Rizalputri, L., Rona Althof, R., Sean Surjadi, S., Harimurti, S., Gumilar, G., & **Handayani, M.** (2021). Functionalized multi-walled carbon nanotube/silver nanoparticle (f-MWCNT/AgNP) nanocomposites as non-enzymatic electrochemical biosensors for dopamine detection. *Nanocomposites*, 7(1), 97–108.
75. Latiff, N. M., Fu, X., Mohamed, D. K., Veksha, A., **Handayani, M.**, & Lisak, G. (2020). Carbon based copper (II) phthalocyanine catalysts for electrochemical CO<sub>2</sub> reduction: Effect of carbon support on electrocatalytic activity. *Carbon*, 168, 245–253.
76. Saputra, O. A., Wibowo, F. R., Lestari, W. W., & **Handayani, M.** (2020). Highly monodisperse and colloidal stable of L-serine capped magnetite nanoparticles synthesized via sonochemistry assisted co-precipitation method. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 11(2), 025012.
77. Darsono, N., **Handayani, M.**, Lestari, F. P., Erryani, A., Putrayasa, I. N. G., Thaha, Y. N., Sihalocho, Y. I., & Sutanto, H. (2020). Effect of multiwalled carbon nanotubes (Mwcnts) on the micro-hardness and corrosion behaviour mg-zn alloy prepared by powder metallurgy. *Materials Science Forum*, 1000 MSF, 115–122. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1000.115>
78. Abd El-Mageed, A. I., **Handayani, M.**, Chen, Z., Inose, T., & Ogawa, T. (2019). Assignment of the Absolute-Handedness Chirality of Single-Walled Carbon Nanotubes by Using Organic Molecule Supramolecular Structures. *Chemistry—A European Journal*, 25(8), 1941–1948.
79. **Handayani, M.**, Tanaka, H., Katayose, S., Ohto, T., Chen, Z., Yamada, R., & Ogawa, T. (2019). Three site molecular orbital controlled single-molecule rectifiers based on perpendicularly linked porphyrin–imide dyads. *Nanoscale*, 11(47), 22724–22729.

80. **Handayani, M.**, Gohda, S., Tanaka, D., & Ogawa, T. (2014). Design and Synthesis of Perpendicularly Connected Metal Porphyrin–Imide Dyads for Two-Terminal Wired Single Molecular Diodes. *Chemistry–A European Journal*, 20(25), 7655–7664.

### Jurnal Nasional

81. Awali, J., Hizam, F., Destiny, K. D., Al Habib, I., Nabila, N., **Handayani, M.**, & Triana, Y. (2024). Characterization and Electrochemical Behaviour of Boron Doped Diamond in Detecting Amodiaquine. *Indonesian Physical Review*, 7(3), 522–537.
82. Setiawan, I., Pingak, C. T. R., Natayu, A., Hadisujoto, B., & **Handayani, M.** (2023). Mechanical Properties Analysis on the Reduced Graphene Oxide/Silver Nano Particle/Poly Lactic Acid Composites. *Indonesian Journal of Computing, Engineering, and Design (IJoCED)*, 5(2), 118–128.
83. Mahendra, B. A., Herbirowo, S., Saefuloh, I., & **Handayani, M.** (2022). Pengembangan Material Maju Superkonduktor Mg-B dengan Penambahan Graphene Oxide melalui Proses Powder in Sealed Tube. *Jurnal Mesin Nusantara*, 5(1), 96–107.
84. Widagdo, B. W., **Handayani, M.**, & Suharto, A. (2020, October). Dampak pandemi covid-19 terhadap perilaku peserta didik pada proses pembelajaran daring menggunakan metode pengukuran skala likert. *ESIT* (Vol. 15, No. 2, pp. 63–70).
85. Yuswono, Y., Saefudin, S., & **Handayani, M.** (2018). Pembuatan Amalgam Kandungan Cu Tinggi untuk tambal gigi dan pengaruh kandungan Hg terhadap nilai kekerasan. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 8(2), 109–115.
86. Firdiyono, F., **Handayani, M.**, Sulistiyono, E., & Antoro, I. D. (2016). Percobaan Pendahuluan Perbandingan Daya Serap Unsur Minor Dalam Larutan Natrium Silikat [Preliminary Comparative Study on the Adsorption of Minor Elements in Sodium Silicate Solution]. *Metalurgi*, 27(1), 15–26.

87. **Handayani, M** (2014). Mengenal Nanosains. *Jurnal Ilmu Berbagi*, 12(1), 38–43.
88. Randy, A., Sondari, D., Triwulandari, E., & **Handayani, M.** (2010). Preparation of Polyurethane Microcapsule Using 1, 3 Propanediolas the Polyol Component. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 12(1), 46–51.

## Prosiding Internasional

89. Himarosa, R. A., Gornes, W., Sean, L., Budiman, K., Wiranata, A., Aginta, R., Rahma, A. N., Patmonoaji, A., Triawan, F., & **Handayani, M.** (2024). Novel design of 3D-printed one-way valve inspired by biological heart. *AIP Conference Proceedings*, 3115(1).
90. Rohmat, N., **Handayani, M.**, Lusiana, L., Nasution, S. A., & Pawawoi, P. (2024, June). The effect of sintering temperature on the microstructure and mechanical properties of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) reinforced-magnesium metal matrix composites. *AIP Conference Proceedings*, 3103(1).
91. Darsono, N., Sulaiman, F. H., **Handayani, M.**, Khaerudini, D. S., Thaha, Y. N., & Phiciato, P. (2024, June). A simple preliminary test method on the effect of nano-ZnO in the manufacturing of synthetic graphite from coal tar pitch (CTP). *AIP Conference Proceedings*, 3103(1).
92. Prasetyo, A. B., Mayangsari, W., Febriana, E., Ridhova, A., Sulistyono, E., Firdiyono, F., **Handayani, M.**, & Soedarsono, J. W. (2024, February). Synthesis of silica precipitates from ferronickel slag using water leaching with alkali fusion treatment. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3003, No. 1). AIP Publishing.
93. Firdiyono, F., **Handayani, M.**, Sulistyono, E., Prasetyo, A. B., & Febriana, E. (2024, February). Synthesis of amorphous silica from silicone oil by way of gradually roasting process. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3003, No. 1). AIP Publishing.

94. Thaha, Y. N., Darsono, N., **Handayani, M.**, Akbar, A. Y., Ridova, A., Phiciato, P., ... & Mutaqqin, M. (2024, February). Temperature-dependence of static contact angle for citric acid droplet on polyaniline/carbon nanotube and polyaniline/carbon sphere-nanotube composite films. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3003, No. 1). AIP Publishing.
95. Khotimah, K., **Handayani, M.**, Rahmawati, N., Tjahjono, A., Ristianingrum, W. D., Prasetyo, J., ... & Lutfi, M. (2024, February). Effect of functionalized multi-walled carbon nanotubes on adsorbents derived from cocoa waste for lead (II) adsorption in aqueous solutions. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3003, No. 1). AIP Publishing.
96. Rahmayanti, Y. D., **Handayani, M.**, Jamaluddin, K., Suharty, N. S., Anshori, I., Khoerunnisa, F., & Gunawan, T. (2024, February). Fabrication of chitosan/graphene oxide/TiO<sub>2</sub> (Ch/GO/TiO<sub>2</sub>) nanocomposite film for photocatalytic degradation of acetaminophen. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3003, No. 1). AIP Publishing.
97. Ciptasari, N. I., **Handayani, M.**, Afkauni, A. A., Kaharudin, C. L., Hatmanto, A. D., Maksum, A., & Soedarsono, J. W. (2024, February). Photocatalytic performance assessment of rGO-AgNPs nanocomposites using urea reductor for methyl orange dye degradation. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3003, No. 1). AIP Publishing.
98. Febriana, E., Mayangsari, W., Prasetyo, A. B., Irawan, J., Sulistiyono, E., **Handayani, M.**, & Soedarsono, J. W. (2024, February). Reducing impurities of silica sand by one step and two step leaching. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3003, No. 1). AIP Publishing.
99. Surya, M. J., **Handayani, M.**, Triawan, F., Thaha, Y. N., & Darsono, N. (2023, April). Electrochemical properties of graphene oxide/calcium carbonate/chitosan nanocoating of Ti-6Al-4V for biomedical implant. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2646, No. 1). AIP Publishing.

100. Yulita, D., Putra, M. I. R., Dini, S. U., Pradana, A., **Handayani, M.**, & Anshori, I. (2022, June). Simple Qualitative Modelling of Particle Size Analysis using Ray Tracing Method. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2243, No. 1, p. 012083). IOP Publishing.
101. Prasetyo, A. B., **Handayani, M.**, Sulistiyono, E., Syahid, A. N., Febriana, E., Mayangsari, W., & Firdiyono, F. (2022, March). Development of high purity amorphous silica from emulsifier silicon by pyrolysis process at temperature of 700 oC. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2190, No. 1, p. 012013). IOP Publishing.
102. Febriana, E., Angelina, E., Mayangsari, W., **Handayani, M.**, Irawan, J., Prasetyo, A. B., & Sutanto, H. (2022, March). The effect of using solvent medium in the ultrasonication of silica precipitates. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2190, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.
103. Primastari, S. D., Kusumastuti, Y., & **Handayani, M.** (2022). Functionalization of multi-walled carbon nanotube (MWCNT) with CTACe surfactant and polyethylene glycol as potential drug carrier. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 963, No. 1, p. 012033). IOP Publishing.
104. **Handayani, M.**, Kepakisan, K. A. A., Anshori, I., Darsono, N., & Nugraha T, Y. (2021, August). Graphene oxide based nanocomposite modified screen printed carbon electrode for qualitative cefixime detection. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2382, No. 1). AIP Publishing.
105. Febriana, E., **Handayani, M.**, Susilo, D. N. A., Yahya, M., Ganta, M., & Sunnardianto, G. K. (2021, August). A simple approach of synthesis of graphene oxide from pure graphite: Time stirring duration variation. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2382, No. 1). AIP Publishing.

106. Ciptasari, N. I., Darsono, N., **Handayani, M.**, & Soedarsono, J. W. (2021, August). Synthesis of graphite oxide using hummers method: Oxidation time influence. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2382, No. 1). AIP Publishing.
107. Yuliantoro, H., Kusumastuti, Y., Mindaryani, A., **Handayani, M.**, & Rochmadi, R. (2021, June). Functionalization of single-walled carbon nanotubes with a HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> mixture through different treatments: A DFT supported study. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2349, No. 1). AIP Publishing.
108. Anshori, I., Harimurti, S., Hartono, M. S., Althof, R. R., Rizalputri, L. N., **Handayani, M.**, & Yuliarto, B. (2021, May). Low-cost Fabrication of PDMS Microfluidic Chamber using Digital Cutter Machine. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1912, No. 1, p. 012021). IOP Publishing.
109. Anshori, I., Harimurti, S., Rizalputri, L. N., Hartono, M. S., Althof, R. R., **Handayani, M.**, & Yuliarto, B. (2021, May). Modified screen-printed electrode using graphene ink for electrochemical sensor application. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1912, No. 1, p. 012022). IOP Publishing.
110. Febriana, E., Pitriani, P., **Handayani, M.**, Irawan, J., Prasetyo, A. B., Sulistiyono, E., & Firdiyono, F. (2021, May). Adsorption of Metal Ion Manganese (Mn) in Sodium Silicate Solution using Chitosan. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1912, No. 1, p. 012037). IOP Publishing.
111. **Handayani, M.**, Mukhsin, S. A., Sulistiyono, E., Triwardono, J., Firdiyono, F., Febriana, E., & Rahardjo, S. B. (2021, May). The Influence of Graphene Oxide and Cristobalite Phase of Silica Precipitate on Chitosan-Based Nanocomposites. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1912, No. 1, p. 012036). IOP Publishing.

112. Febriana, E., Manurung, U. A. B., Prasetyo, A. B., **Handayani, M.**, Muslih, E. Y., Nugroho, F., & Firdiyono, F. (2020, June). Dissolution of quartz sand in sodium hydroxide solution for producing amorphous precipitated silica. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 858, No. 1, p. 012047). IOP Publishing.
113. Sulistiyono, E., **Handayani, M.**, Prasetyo, A. B., Irawan, Y., Febriana, E., Sembiring, S. N., & Yustanti, E. (2020, June). Identification of Quartz Sand From the Hills of Gunung Walat at Sukabumi Regency for Raw Materials of Nano Silica Precipitate. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 858, No. 1, p. 012048). IOP Publishing.
114. Krisnandi, Y. K., Abdullah, I., Prabawanta, I. B. G., & **Handayani, M.** (2020, June). In-situ hydrothermal synthesis of nickel nanoparticle/reduced graphene oxides as catalyst on CO<sub>2</sub> methanation. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2242, No. 1). AIP Publishing.
115. Putri, R. G., Syafera, Y., Larasati, F., Putri, N. R. E., **Handayani, M.**, & Kusumastuti, Y. (2020). Effect of reaction time on modification of multi-walled carbon nanotubes with HNO<sub>3</sub>. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 742, No. 1, p. 012038). IOP Publishing.
116. **Handayani, M.**, Ganta, M., Darsono, N., Sulistiyono, E., Lestari, F. P., Erryani, A., & Azhari, N. S. (2019, September). Multi-walled carbon nanotubes reinforced-based magnesium metal matrix composites prepared by powder metallurgy. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 578, No. 1, p. 012041). IOP Publishing.
117. Sulistiyono, E., **Handayani, M.**, Arwanda, M. R., & Kusumaningsih, T. (2019, September). Fabrication of Nano-Calcium Carbonate Precipitate by Ultrasonic Milling Technique using Ethylene Glycol Media. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 578, No. 1, p. 012038). IOP Publishing.

118. **Handayani, M.**, Sulistiyono, E., Rokhmanto, F., Darsono, N., Fransisca, P. L., Erryani, A., & Wardono, J. T. (2019, September). Fabrication of graphene oxide/calcium carbonate/chitosan nanocomposite film with enhanced mechanical properties. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 578, No. 1, p. 012073). IOP Publishing.
119. Yahya, M. S., Sunnardianto, G. K., & **Handayani, M.** (2019, June). The effect of single and double vacancy on hydrogenated graphene for hydrogen storage application. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 541, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.
120. Susilo, D. N. A., Ganta, M., Sunnardianto, G. K., & **Handayani, M.** (2019, June). The effect of boron dopant on hydrogenated graphene for hydrogen storage application. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 541, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.
121. **Handayani, M.**, Ganta, M., Susilo, D. N. A., Yahya, M. S., Sunnardianto, G. K., Darsono, N., & Erryani, A. (2019, June). Synthesis of graphene oxide from used electrode graphite with controlled oxidation process. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 541, No. 1, p. 012032). IOP Publishing.
122. Sulistiyono, E., **Handayani, M.**, Arwanda, M. R., Kusumaningsih, T., & Firdiyono, F. (2019, June). The effect of alcohol media in the synthesis of calcium carbonate nanoparticles by ultrasonic waves. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 541, No. 1, p. 012054). IOP Publishing.
123. Ganta, M., Susilo, D. N. A., Sunnardianto, G. K., & **Handayani, M.** (2019, June). The effect of nitrogen dopant on hydrogenated graphene for hydrogen storage application. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 541, No. 1, p. 012003). IOP Publishing.

124. Wahyuningsih, S., Suharty, N. S., Pramono, E., Ramelan, A. H., Sasongko, B., Dewi, A. O. T., **Handayani, M.**, & Firdiyono, F. (2018, May). Iron and boron removal from sodium silicate using complexation methods. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1964, No. 1). AIP Publishing.
125. Wahyuningsih, S., Ramelan, A. H., Suharty, N. S., **Handayani, M.**, Firdiyono, F., Sulistiyono, E., & Kristiawan, Y. R. (2018, March). Phosphorus Elimination at Sodium Silicate from Quartz Sand Roasted with Complexation using Chitosan-EDTA. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 333, No. 1, p. 012050). IOP Publishing.
1. Sulistiyono, E., **Handayani, M.**, Firdiyono, F., & Fajariani, E. N. (2018, March). Precipitation Rate Investigation on synthesis of precipitated calcium carbonate. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 333, No. 1, p. 012042). IOP Publishing.
126. **Handayani, M.**, Sulistiyono, E., Firdiyono, F., & Fajariani, E. N. (2018, March). Synthesis of Calcite Nano Particles from Natural Limestone assisted with Ultrasonic Technique. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 333, No. 1, p. 012043). IOP Publishing.
127. Ibrahim, A., Liu, G., Komatsu, N., Inose, T., **Handayani, M.**, Chen, Z., & Ogawa, T. (2017, April). First Investigation of Single-Walled Carbon Nanotubes Handedness Chirality Utilized By Scanning Tunneling Microscopy. In Electrochemical Society Meeting Abstracts 231 (No. 14, pp. 925–925). The Electrochemical Society, Inc..
128. Ogawa, T., **Handayani, M.**, Inose, T., Tamaki, T., Fukumori, M., Miyamoto, F., & Tanaka, H. (2015, November). Functionality emergence of single molecule electronics. In 2015 IEEE CPMT Symposium Japan (ICSJ) (pp. 134–135). IEEE.

129. **Handayani, M.**, Gohda, S., Tanaka, H., Tanaka, D., & Ogawa, T. (2014, April). Influence of Bound Metals on the Electrical Properties of Single Molecule Junction Porphyrin-Imides Linked to SWNTs. In *Electrochemical Society Meeting Abstracts* 225 (No. 43, pp. 1627–1627). The Electrochemical Society, Inc.

### **Prosiding Nasional**

130. **Handayani, M.**, & Sulistiyono, E. (2009, June). Uji persamaan Langmuir dan Freundlich pada penyerapan limbah Chrom (Vi) oleh Zeolit. In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR–BATAN Bandung* (Vol. 3, pp. 130–136).
131. **Handayani, M.**, & Sulistiyono, E. (2009). Kinetika Adsorpsi Zeolit Hijau Daerah Cidada Tasikmalaya, Jawa Barat terhadap Larutan Ion Chromium (VI). In *Prosiding Seminar Kimia dan Pendidikan Kimia*, Hal 278 (Vol. 288).
132. Sulistiyono, E., & **Handayani, M.** (2009). Uji karakteristik Zeolit Hijau dan Putih dari Karangnunggal Tasikmalaya. In *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*, Hal 360 (Vol. 366).
133. Setiawan, I., **Handayani, M.**, Dwiantoro, I., Irawan, D., & Siswayanti, B. (2007). Pemanfaatan teknologi fuel cell sebagai alternative penyediaan energi bersih di Indonesia. *Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Pusat Penelitian Metalurgi*, 22(2).
134. Sulistiyono, E., & **Handayani, M.** Sintesis Komposit Poly (3, 4-Ethylenedioxythiophene)-Poly (Styrene-4-Sulfonate) Untuk Support Lapisan Katalis Fuel Cell. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir, PTNBR – BATAN, Bandung* (Vol. 3, pp. 138–143).

## Paten

135. **Handayani, M.**, Rahmayanti, Y. D., Muqoyyanah, Kavitaningrum, Gunawan, T., & Anggoro, M. A. Sintesis Nanopartikel Tembaga Oksida (CuO). Menggunakan Ekstrak Lempuyang Gajah sebagai Agen Pereduksi dan Produk yang Dihasilkan. Paten Terdaftar, No. 2025-1742373180-typ4, 2025.
136. **Handayani, M.**, Sunnardianto, G. K., Hermadianti, S. A., & Anshori, I. Metode Pembuatan Grafena Oksida Tereduksi Menggunakan Ekstrak Cengkeh (*Syzygium aromaticum*) sebagai Elektroda Superkapasitor. Paten Terdaftar, No. S00202507122, 2025
137. **Handayani, M.**, Fatimah, G. L. N., Fauzi, A. D., Anggoro, M. A., & Arisila, D. V. Metode Pembuatan Grafena Oksida Tereduksi (rGO) Doping Boron Menggunakan Reduktor Ekstrak Kayu Secang (*Caesalpinia sappan L.*). Paten Terdaftar, No. P00202507114, 2025.
138. **Handayani, M.**, Sudiarmanto, Arisila, D. V., Marsudi, S., Kuntolaksono, S., & Gunawan, M. J. Metode Pembuatan Nanokomposit Grafena Oksida Tereduksi Ekstrak Daun Kelor dengan Zeolite Imidazole Framework-8 (rGO-M/ZIF-8) secara Eksitu. Paten Terdaftar, No. P00202507113, 2025.
139. **Handayani, M.**, Rahmayanti, Y. D., Muqoyyanah, Kusuma, H. H., Khadijah, U. L., Anggita, S. R., Azizah, T. S., & Hermadianti, S. A. Metode Sintesis Nanopartikel Nikel Oksida (NiO NPs) Menggunakan Ekstrak Daun Miana. Paten Terdaftar, No. S00202507121, 2025.
140. Angel, Julia., **Handayani, M.**, Muqoyyanah., Fitri, A. D., Firdaus, M. Komposisi Nanopartikel Seng Oksida Menggunakan Ekstrak Daun Miana (*Coleus Scutellarioides (L.) Benth*) sebagai Agen Pereduksi. Paten Terdaftar, No. S00202508968, 2025.

141. Rahmayanti, Y. D., **Handayani, M.**, Muqoyyanah., Kusuma, H. D., Azizah, T. S., Putra, Y. W. P., Khadijah, U. L. Metode Pembuatan Nanopartikel Seng Oksida Menggunakan Ekstrak Daun Kelor (*Moringa oleifera*). Paten Terdaftar, No. P00202507871, 2025.
142. Putri, W. B. K., Danuansa, F., Rahmayanti, Y. D., Hermawan, A., **Handayani, M.** Metode Sintesis Partikel Komposit Nano Magnetit dengan Karbon Dot berbasis Sumber Hayati serta Produk yang Dihasilkan. Paten Terdaftar, No. P00202509596, 2025.
143. Sari, A. Y., Asri, N. S., Tetuko, A. P., Sebayang, P., Setiadi, E. A., Rahmayanti, Y. D., & **Handayani, M.** Proses Pembuatan Komposit Multi-Walled Carbon Nanotubes Terfungsionalisasi (fMWCNT) – Nanopartikel Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) Menggunakan Larutan Amonia serta Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) dan Produk yang Dihasilkannya. Paten Terdaftar, No. P00202414644, 2024.
144. Putri, W. B. K., **Handayani, M.**, Yudasari, N., Rahmayanti, Y. D., & Danuansa, F. Serat Nano Polivinil Alkohol Karbon Kuantum Dot Gelatin dengan Kulit Tomat sebagai Sumber Karbonnya. Paten Terdaftar, No. P00202410228, 2024.
145. Muqoyyanah., **Handayani, M.**, Rahmayanti, Y. D., & Dewi, R. T. Metode Pembuatan Serat Poliester Teremban rGO-AgNPs. Paten Terdaftar, No. P00202411962, 2024.
146. Muqoyyanah., **Handayani, M.**, Rahmayanti, Y. D., Afkauni, A. A., & Nuryono. Metode Sintesis Nanokomposit Terner Ag-ZnO/rGO dan Produk yang Dihasilkannya untuk Degradasi Fenol Melalui Proses Fotokatalisis. Paten Terdaftar, No. P00202410224, 2024.
147. Angel, J., **Handayani, M.**, Anshori, I., & Safitri, D. A. Metode Sintesis Graphene Oxide Tereduksi (rGO) Menggunakan Green Chemistry dan Produk yang Dihasilkannya. Paten Terdaftar, No. P00202415228, 2024.

148. Rahmayanti, Y. D., **Handayani, M.**, Muqoyyanah., Redhyka, G. G., Putra, Y. W. P., Anggoro, M. A., Kusumandari, D., & Ristiana, D. D. Metode Pembuatan Nanokomposit Termer Karbon Dot Terdoping B,N - Nanopartikel Perak-Grafena Oksida Secara Ex Situ dan Produk yang Dihasilkan. Paten Terdaftar, No. P00202410247, 2024.
149. Rahmayanti, Y. D., **Handayani, M.**, Muqoyyanah., Ristiana, D. D., Esmawan, A., Prayitno, T. B., Anggoro, M. A., & Tarihoran, L. A. Metode Pembuatan Grafena Oksida Tereduksi Menggunakan Green Reductor Ekstrak Jambu Biji (Psidium guajava) dan Produk yang Dihasilkannya. Paten Terdaftar, No. S00202413590, 2024.
150. **Handayani, M.**, Rahmayanti, Y. D., Ristiana, D. D., Muqoyyanah., Rohmatun. I., & Kusumaningsih. T., Metode Sintesis Graphene Quantum Dots berbasis Limbah Bonggol Jagung dan produk yang dihasilkannya. Paten Terdaftar, No. P00202405668, 2024
151. Rahmayanti, Y. D., **Handayani, M.**, Muqoyyanah., Redhyka, G. G., Putra, Y. W. P., Kusumandari., Ristiana, D. D., & Anggoro, M. A. Metode Pembuatan Nanokomposit Termer Karbon Dot Terdoping B, N-Nanopartikel Perak – Grafena Oksida secara Ex-situ dan Produk yang dihasilkan. Paten Terdaftar, No. P00202410247, 2024
152. Muqoyyanah., **Handayani, M.**, Rahmayanti, Y. D., Ristiana, D. D., Esmawan, A., Anggoro, M. A., Arisila, D. V., & Budi, E. Metode Sintesis Mangan Dioksida secara Hidrothermal dengan Variasi Suhu dan Karakteristik Produk yang dihasilkannya. Paten Terdaftar, No. P00202314785, 2024
153. Putri, W. B. K., Danuansa, F., Yudasari, N., Wardhani, R. A. K., Rahmayanti, Y. D., & **Handayani, M.** Serat Nano Polivinil Alkohol Karbon Kuantum Dot Gelatin dengan Kulit Tomat sebagai Sumber Karbon nya. Paten Terdaftar, No. P00202410228, 2024.

154. Soedarsono, J.W.M., Firdiyono, F., Febriana, E., Prasetyo, A.B., **Handayani, M.**, Sulistiyono, E., Mayangsari, W., Lalasari, L.H., Arini, T., & Maksum, A. Metode pembuatan timah sulfat dengan satu tahap pelarutan. Paten Indonesia No. P00202313993, 2023
155. Soedarsono, J.W.M., Firdiyono, F., Sulistiyono, E., Febriana, E., Prasetyo, A.B., **Handayani, M.**, Mayangsari, W., & Maksum. *Sistem Presipitasi yang Digunakan dalam Proses Pembuatan Silika Presipitat*. Paten Terdaftar, No. P00202313933, 2023.
156. **Handayani, M.**, Rahmayanti, Y. D., Ristiana, D. D., Muqoyyanah., Anggoro, M. A., Esmawan, A., Harsojo., Arisila, D. V., & Budi, E., Metode Pembuatan Nanokomposit Grafena Oksida yang Tereduksi Mangan Dioksida (rGO-MnO<sub>2</sub>) menggunakan Proses Hidrotermal dan produk yang dihasilkannya. Paten Terdaftar, No. P00202309668, 2023
157. **Handayani, M.**, Ristiana, D. D., Rahmayanti, Y. D., Anggoro, M. A., Anshori, I., Asih, G. I. N., Agnelia, Y. F., & Kusumaningsih, T., Metode sintesis Graphene Oxide Tereduksi (rGO) oleh L-Asam Askorbat dan produk yang dihasilkannya. Paten Terdaftar, No. P00202308233, 2023
158. **Handayani, M.**, Ristiana, D. D., Rahmayanti, Y. D., Anggoro, M. A., Anshori, I., Asih, G. I. N., Agnelia, Y. F., & Kusumaningsih, T., Metode Penghantaran Obat pada Material berbasis Graphene Oxide Tereduksi (rGO) menggunakan Senyawa Kurkumin sebagai Obat secara In-vitro dan Karakter Produk yang dihasilkannya. Paten Terdaftar, No. P00202308232, 2023
159. **Handayani, M.**, Ristiana, D. D., Rahmayanti, Y. D., Anggoro, M. A., Anshori, I., Asih, G. I. N., Agnelia, Y. F., & Kusumaningsih, T., Metode Pembuatan Komposit Graphene Oxide Tereduksi (rGO) – Nanopartikel Perak (AgNPs) secara In-situ menggunakan Green Reductor Asam Askorbat dan Produk yang dihasilkannya. Paten Terdaftar, No. P00202308312, 2023

160. **Handayani, M.**, Ristiana, D. D., Rahmayanti, Y. D., Anggoro, M. A., Anshori, I., Asih, G. I. N., Kusumaningsih, T., & Kusumastuti, Y. Metode Pembuatan Nanokomposit Multi-Walled Carbon Nanotubes terdekori Silver Nanoparticles untuk Aplikasi Sistem Pengantar Obat pada Senyawa Kurkumin. Paten Terdaftar, No. P00202308292, 2023
161. Khotimah, K., **Handayani, M.**, Rahmayanti, Y. D., Hermawan, A., Yulianti, R. T., Wardhani, R. A. K., & Yudianti, R. Metode Sintesis Nanokomposit Carbon Dots/Grafena Oksida Tereduksi (CDs/rGO) menggunakan Prekursor Daun Suji. Paten Terdaftar, No. S00202314829, 2023
162. **Handayani, M.**, Rahmayanti, Y. D., Khotimah, K., Widayatno, W. B., Ristiana, D. D., Sunnardianto, G. K., Rohmawati, L., Muadhif, F. I., Laila, L. R., & Faris, A. Metode Sintesis Nanokomposit Biner Graphene Oxide – Magnesium Oxide dan Produk yang dihasilkannya. Paten Terdaftar, No. P00202304419, 2023
163. **Handayani, M.**, Ristiana, D. D., Khotimah, K., Rahmayanti, Y. D., Widayatno, W. B., Suhandi, A., Sunnardianto, G. K., Anggoro, M. A., Rohmawati, L., Muadhif, F. I., & Laila, L. R. Metode Sintesis Ternary Nanokomposit Seng Oksida, Magnesium Oksida, dan Grafena Oksida secara Ex-Situ serta Produk yang dihasilkannya. Paten Terdaftar, No. P00202314808, 2023
164. Febriana, E., Prasetyo, A. B., Firdiyono, F., Sulistiyono, E., Yudanto, S. D., **Handayani, M.**, Mayangsari, W., Roberto, R., Wahyuadi, J., & Maksum, A. Metode Minimalisasi Pelarut dalam Pembuatan Larutan Sodium Silikat. Paten Terdaftar, No. P00202308286, 2023
165. Herbirowo, S., Yuwono, A. H., Imaduddin, A., Pramono, A. W., **Handayani, M.**, Nugraha, H., Utama, D. P., & Hendrik. Metode Pembuatan Kawat Monofilamen Baja Tahan Karat Superkonduktor MgB<sub>2</sub> dengan Penambahan Graphene Oxide dan Produk yang dihasilkan. Paten Terdaftar, No. P00202311520, 2023

166. Febriana, E., **Handayani, M.**, Sulistiyono, E., Prasetyo, A. B., Firdiyono, F., Mayangsari, W., Nugroho, F., & Muslih, E. Y. Metode Pembuatan Nano Silika Presipitat menggunakan Spray Dryer. Paten Terdaftar, No. P00202205473, 2022
167. Febriana, E., Mayangsari, W., Prasetyo, A. B., Setiawan, I., Sulistiyono, E., Firdiyono, F., & **Handayani, M.** Metode Fusi – Reduksi untuk Ekstraksi Nikel dari Bijih Nikel Laterit. Paten Terdaftar, No. P00202214946, 2022
168. Anshori, I., **Handayani, M.**, Pradana, A., Akbar, M. R., Syamsunarno, M. R. A. D., Althof, R. R., Rizalputri, L. N., Ariasena, E., Ula, L. R., Sulistiyorini, I., & Anggraeni, N. Elektroda Karbon tersablon sebagai Sensor Elektrokimia yang lebih Sensitif yang di Modifikasi dengan Material Nanopartikel Emas berbentuk Duri-Duri (*Spikes*) dan Proses Pembuatannya. Paten Terdaftar, No. P00202214755, 2022
169. Anshori, I., Lukito, V., Adhawiyah, R. E., Pradana, Syamsunarno, M. R. A. D., **Handayani, M.**, Akbar, M. R., & Rizalputri, L. N. Metode Fabrikasi Platform Fluida Berdimensi hingga Submillimeter berbasis Cetak Tiga Dimensi. Paten Terdaftar, No. P00202105952, 2021
170. Febriana, E., Firdiyono, F., **Handayani, M.**, Sulistiyono, E., Prasetyo, A. B., Mayangsari, W., Nugroho, F., & Muslih, E. Y. Metode Pembuatan Silika Presipitat dari Bahan Baku Pasir Kuarsa dengan Pemanggangan menggunakan Senyawa Basa diikuti dengan Pelarutan Air dan Pengendapan Asam. Paten Terdaftar, No. P00201911826, 2019

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### A. Data Pribadi

|                        |                                                                                                                     |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nama                   | : Murni Handayani, Ph.D.                                                                                            |
| Tempat, Tanggal Lahir  | : Klaten, 7 Juni 1979                                                                                               |
| Anak ke                | : 4 dari 4 Bersaudara                                                                                               |
| Jenis Kelamin          | : Perempuan                                                                                                         |
| Nama Ayah Kandung      | : Yanto Miharjo                                                                                                     |
| Nama Ibu Kandung       | : Painah                                                                                                            |
| Nama Suami             | : Bambang Wisnu<br>Widagdo, S.T, M.Sc.IT                                                                            |
| Jumlah Anak            | : 4                                                                                                                 |
| Nama Anak              | : 1. Mufida Washifah Fazila<br>2. Rasyiqul Zafran Kiyoshi<br>3. Falisha Aila Ramadhani<br>4. Kalila Feisya Almahyra |
| Nama Unit (PRSN)       | : Pusat Riset Sistem Nanoteknologi                                                                                  |
| Nama Organisasi<br>dan | : Organisasi Riset Nanoteknologi<br>Material (ORNM)                                                                 |
| Nama Instansi          | : Badan Riset dan Inovasi Nasional                                                                                  |
| Judul Orasi            | : Nanoteknologi Berbasis<br>Nanokarbon dan Nanopartikel<br>untuk Mewujudkan Tujuan<br>Pembangunan Berkelanjutan     |

Ilmu : Teknik

Bidang : Nanoteknologi

Kepakaran : Nanomaterial Fungsional

No. SK Pangkat Terakhir : SK Kepala BRIN Nomor 4307/I/KP/2023, tanggal 25 Agustus 2023

No. SK Peneliti Ahli Utama : Keppres Nomor 13/M Tahun 2023, tanggal 21 Maret 2023

Tautan Scopus : <https://www.scopus.com/author/submit/profile.uri?authorId=57202087591>

Tautan Google Scholar : <https://scholar.google.co.id/citations?user=xU6X5-gAAAAJ&hl=en>

## B. Pendidikan Formal

| No. | Jenjang | Nama Sekolah/ PT/Universitas    | Tempat/<br>Kota/<br>Negara | Tahun<br>Lulus |
|-----|---------|---------------------------------|----------------------------|----------------|
| 1.  | SD      | SD N Jomboran 1                 | Klaten                     | 1991           |
| 2.  | SMP     | SMP N 1 Klaten                  | Klaten                     | 1994           |
| 3.  | SMA     | SMA N 1 Klaten                  | Klaten                     | 1997           |
| 4.  | S-1     | Universitas Sebelas Maret (UNS) | Surakarta                  | 2003           |
| 5.  | S-2     | Osaka University                | Jepang                     | 2013           |
| 6.  | S-3     | Osaka University                | Jepang                     | 2016           |

Buku ini tidak diperjualbelikan.

### C. Pendidikan Nonformal

| No. | Nama Pelatihan/<br>Pendidikan                                    | Tempat/Kota/ Negara                                             | Tahun     |
|-----|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.  | Diklat Jabatan Pegawai Negeri Sipil-LIPI                         | Graha Insan Cita, Depok                                         | 2005      |
| 2.  | Diklat Fungsional Peneliti Tingkat Pertama                       | Pusbindiklat LIPI, Bogor                                        | 2006      |
| 3.  | Postdoctoral Research fellow                                     | Osaka University, Jepang                                        | 2016–2017 |
| 4.  | Pelatihan Audit Internal Sistem Manajemen Mutu SNI ISO 9001:2015 | Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-LIPI, Tangerang Selatan | 2017      |
| 5.  | Visiting Research Scientist                                      | Nanyang Technological University (NTU), Singapore               | 2019      |
| 6.  | Visiting Research Scientist                                      | TU Braunschweig, Jerman                                         | 2019      |
| 7.  | Metallography Training                                           | Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-LIPI, Tangerang Selatan | 2020      |
| 8.  | Visiting Research Scientist                                      | Nanyang Technological University (NTU), Singapore               | 2023      |

**D. Jabatan Struktural**

| No. | Jabatan/Pekerjaan                                                                                | Nama Instansi | Tahun          |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
| 1.  | Koordinator Kelompok Penelitian Karbon, metaloid dan hibrida, Pusat Riset Metalurgi dan Material | LIPI          | 2020–2021      |
| 2.  | Kepala Pusat Riset Sistem Nanoteknologi                                                          | BRIN          | 2024– sekarang |

**E. Jabatan Fungsional**

| No. | Jenjang Jabatan       | TMT Jabatan    |
|-----|-----------------------|----------------|
| 1.  | Peneliti Ahli Pertama | 1 Juli 2008    |
| 2.  | Peneliti Ahli Muda    | 1 Agustus 2010 |
| 3.  | Peneliti Ahli Madya   | 1 Mei 2021     |
| 4.  | Peneliti Ahli Utama   | 21 Maret 2023  |

**F. Penugasan Khusus Nasional/Internasional**

| No. | Jabatan/Pekerjaan                     | Pemberi Tugas                                | Tahun |
|-----|---------------------------------------|----------------------------------------------|-------|
| 1.  | Organizing Committee Member           | University of Malaya, Malaysia               | 2014  |
| 2.  | Ketua Seminar Internasional ISMM 2018 | Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-LIPI | 2018  |
| 3.  | Expert Sharing Program                | Sampoerna University                         | 2018  |

| <b>No.</b> | <b>Jabatan/Pekerjaan</b>                                                      | <b>Pemberi Tugas</b>                         | <b>Tahun</b>      |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------|
| 4.         | Narasumber Kuliah Pakar Prodi S-2 Kimia                                       | UNS                                          | 2018              |
| 5.         | Narasumber Seminar Karir F-MIPA UNS                                           | Dekan-UNS                                    | 2018              |
| 6.         | Dosen NIDK                                                                    | Universitas Pamulang                         | 2019–<br>Sekarang |
| 7.         | Pemateri Kuliah Tamu                                                          | Universitas Ahmad Dahlan                     | 2019              |
| 8.         | Scientific Comittee pada Konferensi Internasional Indonesia Science Expo 2020 | LIPI                                         | 2020              |
| 9.         | Technical program 4th International Seminar on Metallurgy and Materials       | Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-LIPI | 2020              |
| 10.        | Koordinator Kelompok Penelitian Material Karbon, Metaloid dan Hibrida         | LIPI                                         | 2020              |
| 11.        | Steering Committee, 5th ISMM 2021                                             | Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-LIPI | 2021              |
| 12.        | Pemateri Kuliah Pakar                                                         | FMIPA UGM                                    | 2022              |
| 13.        | Pemateri Kuliah Pakar                                                         | Institut Teknologi Indonesia                 | 2023              |
| 14.        | Narasumber FGD Universitas Sari Mutiara Indonesia-PSDMBPB                     | PSDMBPB-ESDM                                 | 2024              |

## G. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

| No. | Nama Kegiatan                                                              | Peran/Tugas | Penyelenggara<br>(Kota, Negara) | Tahun |
|-----|----------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------|-------|
| 1.  | National Seminar of Applied Science for Technology Innovation (Astechnova) | Presenter   | Yogyakarta                      | 2009  |
| 2.  | National Seminar of Science and Nuclear Technology BTNBR-BATAN             | Presenter   | Bandung                         | 2009  |
| 3.  | The 92nd Annual Meeting of the Chemical Society in Japan,                  | Presenter   | Yokohama, Jepang.               | 2012  |
| 4.  | AsiaNANO2012                                                               | Presenter   | Lijiang, China                  | 2012  |
| 5.  | 23rd Symposium on Physical Organic Chemistry                               | Presenter   | Kyoto, Jepang                   | 2012  |
| 6.  | The 93rd Annual Meeting of the Chemical Society in Japan                   | Presenter   | Shiga, Jepang                   | 2013  |
| 7.  | 24rd Symposium on Physical Organic Chemistry                               | Presenter   | Tokyo, Jepang                   | 2013  |
| 8.  | Scientific Oral Presentation Award                                         | Presenter   | Tokushima, Jepang               | 2013  |
| 9.  | MRS Fall Meeting                                                           | Presenter   | Boston, Amerika                 | 2014  |
| 10. | 94th Annual Meeting of the Chemical Society of Japan                       | Presenter   | Nagoya, Jepang                  | 2014  |

Buku ini tidak diperjualbelikan.

| No. | Nama Kegiatan                                                                             | Peran/Tugas | Penyelenggara<br>(Kota, Negara) | Tahun |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------|-------|
| 11. | The Electrochemical Society-ECS Meeting 225th                                             | Presenter   | Florida, Amerika                | 2014  |
| 12. | 7th International Conference on Molecular Electronics                                     | Presenter   | Strasbourg, Perancis            | 2014  |
| 13. | OS Colloquium Series, Universiti Teknologi Mara (UITM)                                    | Presenter   | Kuala Lumpur, Malaysia          | 2014  |
| 14. | The Material Research Society of Indonesia (MRS-Id) Meeting 2014                          | Presenter   | Bali, Indonesia                 | 2014  |
| 15. | National conference on Material and Metallurgy, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) | Presenter   | Tangerang Selatan               | 2014  |
| 16. | Symposium on Recent progress in single molecule electronics and single molecule magnet    | Presenter   | Osaka, Jepang                   | 2014  |
| 17. | Symposium on Recent progress in Molecular and Organic Devices                             | Presenter   | Osaka, Jepang                   | 2014  |
| 18. | 2nd International symposium on Interactive Materials Science Cadet Program                | Presenter   | Osaka, Jepang                   | 2014  |

| No. | Nama Kegiatan                                                                | Peran/Tugas     | Penyelenggara<br>(Kota, Negara) | Tahun |
|-----|------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------|-------|
| 19. | 2nd International conference on advanced material for better future          | Keynote Speaker | Surakarta                       | 2017  |
| 20. | International workshop on Nanomaterials for Sensors Technology 2018          | Keynote Speaker | Bandung                         | 2018  |
| 21. | Symposium on Women in Chemistry                                              | Invited Speaker | Canada                          | 2018  |
| 22. | 1st Indonesian Carbon Meeting                                                | Keynote Speaker | Tangerang Selatan               | 2019  |
| 23. | 4th International symposium on current progress in functional materials 2019 | Invited Speaker | Bali                            | 2019  |
| 24. | 13th Asian Conference on Chemical Sensors 2019                               | Invited Speaker | Bali                            | 2019  |
| 25. | Nanoscientific Symposium Asia 2020                                           | Invited Speaker | Singapore (Virtual)             | 2020  |
| 26. | 5th International Conference on Advanced Materials for Better Future         | Presenter       | Surakarta (Virtual)             | 2020  |
| 27. | The 4th ISMM 2020                                                            | Presenter       | Tangerang Selatan               | 2020  |
| 28. | Webinar on Atomic Force Microscope (AFM)                                     | Invited Speaker | Tangerang Selatan               | 2021  |

Buku ini tidak diperjualbelikan.

| No. | Nama Kegiatan                                                                                       | Peran/Tugas     | Penyelenggara<br>(Kota, Negara) | Tahun |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------|-------|
| 29. | Webinar Seminar of Faculty of Mathematic and Natural Science-UGM                                    | Keynote Speaker | Yogyakarta (Virtual)            | 2022  |
| 30. | National Workshop on XRD                                                                            | Keynote Speaker | Tangerang Selatan               | 2023  |
| 31. | Collaboration Talk BRIN-UPSI Malaysia                                                               | Keynote Speaker | Virtual                         | 2023  |
| 32. | National Seminar of Chemical Engineering, Unpam                                                     | Keynote Speaker | Tangerang Selatan               | 2023  |
| 33. | Forum group discussion on advanced material extraction processes from coal. Sari Mutiara University | Invited Speaker | Medan                           | 2024  |
| 34. | ITSF Seminar on Science and Technology                                                              | Presenter       | Virtual                         | 2024  |
| 35. | 1st International Seminar on Nanotechnology, Nanomaterials and Devices, BRIN                        | Keynote Speaker | Tangerang Selatan               | 2024  |
| 36. | The 10th International Symposium on Applied Chemistry (ISAC 2024)                                   | Invited Speaker | Yogyakarta                      | 2024  |

| No. | Nama Kegiatan                                                                                                                            | Peran/Tugas     | Penyelenggara<br>(Kota, Negara) | Tahun |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------|-------|
| 37. | Sharing Session on Nanotechnology                                                                                                        | Keynote Speaker | Virtual                         | 2025  |
| 38. | International Seminar on Innovative Energy Technologies for a Sustainable Future : Bridging Research and Application, Periyar University | Keynote Speaker | Virtual                         | 2025  |

## H. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

| No. | Nama Jurnal                                              | Penerbit                  | Peran/<br>Tugas | Tahun           |
|-----|----------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|
| 1.  | Alchemy                                                  | Universitas Sebelas Maret | Editor          | 2019 – Sekarang |
| 2.  | Indonesian Journal of Computing, Engineering and Design, | Sampoerna University      | Editor          | 2019 – Sekarang |
| 3.  | Jurnal Riset Kimia                                       | Universitas Andalas       | Editor          | 2021–sekarang   |
| 4.  | Materials                                                | MDPI                      | Reviewer        | 2021–2022       |
| 5.  | Gels                                                     | MDPI                      | Reviewer        | 2021–2022       |
| 6.  | Organics                                                 | MDPI                      | Reviewer        | 2021-2022       |
| 7.  | Molecules                                                | MDPI                      | Reviewer        | 2021-2022       |

| No. | Nama Jurnal                                           | Penerbit             | Peran/<br>Tugas | Tahun |
|-----|-------------------------------------------------------|----------------------|-----------------|-------|
| 8.  | Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers | Elsevier             | Reviewer        | 2022  |
| 9.  | Chemical Physic Letters                               | Elsevier             | Reviewer        | 2022  |
| 10. | Journal of Environmental Management                   | Elsevier             | Reviewer        | 2022  |
| 11. | International Journal of Energy Research              | Wiley                | Reviewer        | 2022  |
| 12. | Polymers                                              | MDPI                 | Reviewer        | 2022  |
| 13. | Processes                                             | MDPI                 | Reviewer        | 2022  |
| 14. | Inorganic and Nanometal Chemistry                     | Taylor and Francis   | Reviewer        | 2023  |
| 15. | Sustainability                                        | MDPI                 | Reviewer        | 2023  |
| 16. | Jikom                                                 | Universitas Pamulang | Editor          | 2024  |
| 17. | Discover Materials                                    | Springer Nature      | Reviewer        | 2024  |
| 18. | Chemosphere                                           | Elsevier             | Reviewer        | 2024  |
| 19. | International Journal of Energy Research              | Wiley                | Reviewer        | 2024  |

## I. Capaian dalam Bidang Iptek, Riset, dan Inovasi

### 1. Karya Tulis Ilmiah

#### a) Kualifikasi Karya

| No. | Kualifikasi Karya                                          | Jumlah |
|-----|------------------------------------------------------------|--------|
| 1.  | Buku Internasional                                         | -      |
| 2.  | Buku Nasional                                              | -      |
| 3.  | Bagian dari Buku Internasional                             | 2      |
| 4.  | Bagian dari Buku Nasional                                  | -      |
| 5.  | Jurnal Internasional                                       | 78     |
| 6.  | Jurnal Nasional                                            | 8      |
| 7.  | Prosiding Internasional                                    | 42     |
| 8.  | Prosiding Nasional                                         | 5      |
| 9.  | Paten Internasional                                        | -      |
|     | Terdaftar                                                  | -      |
|     | Tersertifikasi                                             | -      |
| 10. | Paten Nasional                                             | -      |
|     | Terdaftar                                                  | 36     |
|     | Tersertifikasi                                             | -      |
| 11. | Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)                        | -      |
| 12. | Rumpun atau Galur Hewan/Ikan/Benih Unggul<br>Tanaman Hutan | -      |
| 13. | Hak Cipta                                                  | -      |
| 14. | Desain Industri                                            | -      |
| 15. | Desain dan Tata Letak Sirkuit Terpadu                      | -      |
| 16. | Transaksi Lisensi                                          | -      |

Buku ini tidak diperjualbelikan.

### b) Kualifikasi Penulis

| No.   | Kualifikasi Penulis     | Jumlah |
|-------|-------------------------|--------|
| 1.    | Penulis Tunggal         | 1      |
| 2.    | Bersama Penulis Lainnya | 134    |
| Total |                         | 135    |

### c) Kualifikasi Bahasa

| No.   | Kualifikasi Bahasa | Jumlah |
|-------|--------------------|--------|
| 1.    | Bahasa Indonesia   | 13     |
| 2.    | Bahasa Inggris     | 122    |
| 3     | Bahasa Lainnya     | -      |
| Total |                    | 135    |

## 2. Kekayaan Intelektual

| No. | Kualifikasi Karya                                       | Jumlah |
|-----|---------------------------------------------------------|--------|
| 1.  | Paten Internasional                                     | -      |
|     | Terdaftar                                               | -      |
|     | Tersertifikasi                                          | -      |
| 2.  | Paten Nasional                                          | -      |
|     | Terdaftar                                               | 36     |
|     | Tersertifikasi                                          | -      |
| 3.  | Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)                     | -      |
| 4.  | Rumpun atau Galur Hewan/Ikan/Benih Unggul Tanaman Hutan | -      |
| 5.  | Hak Cipta                                               | -      |
| 6.  | Desain Industri                                         | -      |
| 7.  | Desain dan Tata Letak Sirkuit Terpadu                   | -      |

### 3. Kerjasama bersama Mitra

| No. | Kualifikasi Karya | Jumlah |
|-----|-------------------|--------|
| 1.  | Transaksi Lisensi | -      |

### J. Pembinaan Kader Ilmiah

#### Pejabat Fungsional Peneliti

| No. | Nama                      | Instansi | Peran/Tugas    | Tahun |
|-----|---------------------------|----------|----------------|-------|
| 1.  | Muqoyyanah                | BRIN     | Mentor         | 2022  |
| 2.  | Nurhayati Indah Ciptasari | BRIN     | Pembimbing S-3 | 2022  |

#### Postdoctoral

| No. | Nama                  | Instansi                                                                    | Peran/Tugas | Tahun     |
|-----|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------|
| 1.  | Desinta Dwi Ristiana  | BRIN                                                                        | Mentor/Host | 2022–2023 |
| 2.  | Priyadharsan Arumugam | 1. BRIN<br>2. Saveetha Institute of Medical and Technical Sciences (SIMATS) | Mentor/Host | 2023–2024 |

#### Mahasiswa

| No. | Nama            | Instansi             | Peran/Tugas    | Tahun |
|-----|-----------------|----------------------|----------------|-------|
| 1.  | Abdul Jabbar    | Universitas Atmajaya | Pembimbing S-1 | 2018  |
| 2.  | Dannie Lastwang | Universitas Atmajaya | Pembimbing S-1 | 2018  |

| No. | Nama                        | Instansi                      | Peran/Tugas    | Tahun |
|-----|-----------------------------|-------------------------------|----------------|-------|
| 3.  | Yohanes Imron Sihalo        | Universitas Atmajaya          | Pembimbing S-1 | 2018  |
| 4.  | Muhammad Ganta              | Sampoerna University          | Pembimbing S-1 | 2018  |
| 5.  | Dwi Naufal Arif Susilo      | Sampoerna University          | Pembimbing S-1 | 2018  |
| 6.  | Christina Juniati Hutabarat | Institut Teknologi Kalimantan | Pembimbing S-1 | 2019  |
| 7.  | Ida Bagus Gede Prabawanta   | Universitas Indonesia         | Pembimbing S-1 | 2019  |
| 8.  | Rini Asti Suryani           | Universitas Indonesia         | Pembimbing S-1 | 2019  |
| 9.  | Nur Amalina                 | Institut Teknologi Kalimantan | Pembimbing S-1 | 2019  |
| 10. | Rizki Arwanda               | Universitas Sebelas Maret     | Pembimbing S-1 | 2019  |
| 11. | Ron Wilson Simanungkalit    | Universitas Atmajaya          | Pembimbing S-1 | 2019  |
| 12. | Admiral Danishwara          | Universitas Atmajaya          | Pembimbing S-1 | 2019  |
| 13. | Ika Oktavia Suryani         | Sampoerna University          | Pembimbing S-1 | 2019  |
| 14. | Steven Sean Surjadi         | Institut Teknologi Bandung    | Pembimbing S-1 | 2020  |

| No. | Nama                         | Instansi                         | Peran/Tugas    | Tahun |
|-----|------------------------------|----------------------------------|----------------|-------|
| 15. | Lionel Valdarant             | Institut Teknologi Bandung       | Pembimbing S-1 | 2020  |
| 16. | Komang Arya Attyla Kepakisan | Institut Teknologi Bandung       | Pembimbing S-1 | 2020  |
| 17. | Lugita Analia Risanty R.     | Institut Teknologi Bandung       | Pembimbing S-1 | 2020  |
| 18. | Muhammad Aulia Anggoro       | Sampoerna University             | Pembimbing S-1 | 2020  |
| 19. | Muhammad Jaka Surya          | Sampoerna University             | Pembimbing S-1 | 2020  |
| 20. | Yana Mulyaningsih            | Sampoerna University             | Pembimbing S-1 | 2020  |
| 21. | Geolita Ihsantia Ning Asih   | Universitas Sebelas Maret        | Pembimbing S-1 | 2020  |
| 22. | Galuh Saputri                | Universitas Pamulang             | Pembimbing S-2 | 2020  |
| 23. | Nilovar Asyiah               | Universitas Pamulang             | Pembimbing S-2 | 2020  |
| 24. | Nurhasanah                   | Universitas Pamulang             | Pembimbing S-2 | 2020  |
| 22. | Ardian Kris Bramantyo        | Institut Teknologi Sains Bandung | Pembimbing S-1 | 2021  |

Buku ini tidak diperjualbelikan.

| No. | Nama                    | Instansi                   | Peran/Tugas    | Tahun |
|-----|-------------------------|----------------------------|----------------|-------|
| 23. | Elga Sakhi              | Swiss German University    | Pembimbing S-1 | 2021  |
| 24. | Ellysa Angelina         | Universitas Unika Atmajaya | Pembimbing S-1 | 2021  |
| 25. | Linta Rahmatul Ula      | Institut Teknologi Bandung | Pembimbing S-1 | 2021  |
| 26. | Rahmatul Fajriah        | Institut Teknologi Bandung | Pembimbing S-1 | 2021  |
| 27. | Eduardus Ariasena       | Institut Teknologi Bandung | Pembimbing S-1 | 2021  |
| 28. | Andjani Widya Hermasita | Institut Teknologi Bandung | Pembimbing S-1 | 2021  |
| 29. | Kornelia Agnes Juliati  | Universitas Unika Atmajaya | Pembimbing S-1 | 2021  |
| 30. | Dwi Rizki Primaswari    | Universitas Gadjah Mada    | Pembimbing S-2 | 2021  |
| 31. | Yessica Farah Agnelia   | Universitas Sebelas Maret  | Pembimbing S-1 | 2021  |
| 32. | Dawam Agung Pribadi     | Universitas Pamulang       | Pembimbing S-1 | 2022  |
| 33. | Afif Akmal Afkauni      | Universitas Gadjah Mada    | Pembimbing S-1 | 2022  |

| No. | Nama                            | Instansi                         | Peran/Tugas    | Tahun |
|-----|---------------------------------|----------------------------------|----------------|-------|
| 33. | Agung Esmawan                   | Universitas Gadjah Mada          | Pembimbing S-2 | 2022  |
| 34. | Eugene Emmanuel joseph Theodore | Universitas Unika Atmajaya       | Pembimbing S-1 | 2022  |
| 35. | Irvan Samsi                     | Universitas Unika Atmajaya       | Pembimbing S-1 | 2022  |
| 36. | Ayu Candra Sekar Rurisa         | Sampoerna University             | Pembimbing S-1 | 2022  |
| 37. | Charline tiara Rehuellah Pingak | Sampoerna University             | Pembimbing S-1 | 2022  |
| 38. | Hanisa Awaliyah Muhidin         | Institut Teknologi Sains Bandung | Pembimbing S-1 | 2022  |
| 39. | Arini Rahma Adzkia              | Institut Teknologi Bandung       | Pembimbing S-1 | 2022  |
| 40. | Diah Ayu Safitri                | Institut Teknologi Bandung       | Pembimbing S-1 | 2022  |
| 41. | Uperianti                       | Institut Teknologi Bandung       | Pembimbing S-1 | 2022  |
| 42. | Qurriyatus Zahro                | Sampoerna University             | Pembimbing S-1 | 2022  |

| No. | Nama                             | Instansi                   | Peran/Tugas    | Tahun |
|-----|----------------------------------|----------------------------|----------------|-------|
| 43. | Samso Supriyatna                 | Universitas Pamulang       | Pembimbing S-2 | 2022  |
| 44. | Afiani Agus Abdillah             | Universitas Pamulang       | Pembimbing S-2 | 2022  |
| 45. | Muhammad Rizki Abdullah          | Universitas Pamulang       | Pembimbing S-2 | 2022  |
| 46. | Nurhayati Indah Ciptasari        | Universitas Indonesia      | Pembimbing S-3 | 2023  |
| 46. | Jonathan Sugriwo                 | Universitas Unika Atmajaya | Pembimbing S-1 | 2023  |
| 47. | Jonathan Adrian Nauli Simatupang | Universitas Unika Atmajaya | Pembimbing S-1 | 2023  |
| 48. | Asni Balqis                      | Universitas Airlangga      | Pembimbing S-1 | 2023  |
| 49. | Daffa Viandika Arisila           | Universitas Negeri Jakarta | Pembimbing S-1 | 2023  |
| 50. | Salma Majidah                    | Institut Teknologi Bandung | Pembimbing S-1 | 2023  |
| 51. | Ghina Alya Nabilah               | Universitas Sebelas Maret  | Pembimbing S-1 | 2023  |
| 52. | Oni Susilowati                   | Universitas Sebelas Maret  | Pembimbing S-1 | 2023  |
| 53. | Layla Afianti Maksum             | Universitas Sebelas Maret  | Pembimbing S-1 | 2023  |

| No. | Nama                     | Instansi                    | Peran/Tugas    | Tahun |
|-----|--------------------------|-----------------------------|----------------|-------|
| 54. | Adelia Pragesti          | Institut Teknologi Sumatera | Pembimbing S-1 | 2024  |
| 55. | Anggi Anggraini          | Universitas Ahmad Dahlan    | Pembimbing S-1 | 2024  |
| 56. | Elviana La'salina Muhlis | Institut Teknologi Bandung  | Pembimbing S-1 | 2024  |
| 57. | Ian Martadisastra        | Universitas Unika Atmajaya  | Pembimbing S-1 | 2024  |
| 58. | Ivan                     | Universitas Unika Atmajaya  | Pembimbing S-1 | 2024  |
| 59. | Nadhira Puteri Wiandra   | Universitas Indonesia       | Pembimbing S-1 | 2024  |
| 60. | Caroline Apriliany       | Universitas Indonesia       | Pembimbing S-1 | 2024  |
| 61. | Zilfa Iftinaan           | Universitas Sebelas Maret   | Pembimbing S-1 | 2024  |
| 62. | Gafira Laili Nur Fatimah | Universitas Airlangga       | Pembimbing S-1 | 2024  |
| 63. | Ukhti Lutfia Khadijah    | UIN walisongo               | Pembimbing S-1 | 2024  |
| 64. | Muhammad Husein          | Universitas Pamulang        | Pembimbing S-2 | 2024  |
| 65. | Dzulfia Syafrina Amalia  | Universitas Pamulang        | Pembimbing S-2 | 2024  |

Buku ini tidak diperjualbelikan.

| No. | Nama                          | Instansi                             | Peran/Tugas    | Tahun |
|-----|-------------------------------|--------------------------------------|----------------|-------|
| 66. | Amirul Hilman                 | Universitas Pamulang                 | Pembimbing S-2 | 2024  |
| 67. | Mochamad Fachruddin Zikrullah | Universitas Pamulang                 | Pembimbing S-2 | 2024  |
| 68. | Salma Majidah                 | Universitas Airlangga                | Pembimbing S-1 | 2025  |
| 69. | Khairunnisa Arifah            | Universitas Airlangga                | Pembimbing S-1 | 2025  |
| 70. | Meylani Rheinia Lumintang     | Universitas Brawijaya                | Pembimbing S-1 | 2025  |
| 71. | Mareta Silpiana               | UIN Sultan Maulana Hasanuddin Banten | Pembimbing S-1 | 2025  |
| 72. | Divi Arrofi                   | Universitas Sebelas Maret            | Pembimbing S-1 | 2025  |
| 73. | Ika Fitriani                  | Universitas Sebelas Maret            | Pembimbing S-1 | 2025  |
| 74. | Afit Diana                    | Universitas Sebelas Maret            | Pembimbing S-1 | 2025  |
| 75. | Syadza Aisyah Hermadianti     | Institut Teknologi Bandung           | Pembimbing S-2 | 2025  |
| 76. | Fariz Ikham                   | Institut Teknologi Bandung           | Pembimbing S-2 | 2025  |

| No. | Nama                   | Instansi                   | Peran/Tugas    | Tahun |
|-----|------------------------|----------------------------|----------------|-------|
| 77. | Muhammad Aulia Anggoro | Institut Teknologi Bandung | Pembimbing S-2 | 2025  |
| 78. | Nur Rohmat             | Universitas Andalas        | Pembimbing S-3 | 2025  |
| 79. | Sugiyanto              | Universitas Andalas        | Pembimbing S-3 | 2025  |
| 80. | Parlindungan Sitorus   | Universitas Sumatera Utara | Pembimbing S-3 | 2025  |

## K. Organisasi Profesi Ilmiah

| No. | Jabatan | Nama Organisasi                              | Tahun         |
|-----|---------|----------------------------------------------|---------------|
| 1.  | Anggota | The Chemical Society of Japan (JCS)          | 2012–2017     |
| 2.  | Anggota | The Indonesian chemical society (HKI)        | 2014–2018     |
| 3.  | Anggota | The electrochemical Society (ECS)            | 2012–2017     |
| 4.  | Anggota | Material Research Society (MRS)              | 2014–2017     |
| 5.  | Anggota | Material Research Society-Indonesia (MRS-Id) | 2013–2017     |
| 6.  | Anggota | JSPS Alumni Association of Indonesia (JAAI)  | 2019–sekarang |
| 7.  | Anggota | HIMPENINDO                                   | 2019–2021     |
| 8.  | Anggota | Perhimpunan Periset Indonesia (PPI)          | 2021–sekarang |

## L. Tanda Penghargaan

| No. | Nama Penghargaan                                                                                  | Pemberi Penghargaan                                             | Tahun |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------|
| 1.  | First winner on Scientific Oral Presentation Award, Tokushima University                          | PPI-Tokushima University                                        | 2013  |
| 2.  | Best Poster Presentation Award on 7th International Conference on Molecular Electronics, Perancis | The ChemPubSoc Europe Societies, Wiley-VCH,                     | 2014  |
| 3.  | JSPS HOPE Fellow, The 9th HOPE Meeting with Nobel Laurates                                        | Japan Society for the Promotion of Science (JSPS)               | 2017  |
| 4.  | Satya Lancana Karya Satya X                                                                       | Presiden RI                                                     | 2017  |
| 5.  | Finalis – L'oreal Unesco for Women in Science National Fellowship 2017                            | L'oreal Indonesia                                               | 2017  |
| 6.  | Indonesia Delegation for Symposium of Women in Chemistry-Canada                                   | The Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons (OPCW) | 2018  |
| 7.  | Finalis – L'oreal Unesco for Women in Science National Fellowship 2018                            | L'oreal Indonesia                                               | 2018  |
| 8.  | Japan-ASEAN Science, Technology and Innovation Platform Net Award                                 | Japan Science and Technology Agency (JST)                       | 2022  |
| 9.  | STRG award-Indonesia Toray Science Foundation                                                     | Indonesia Toray Science Foundation                              | 2023  |
| 10. | Best presenter of 29th ITSF Seminar on Science and Technology                                     | Indonesia Toray Science Foundation                              | 2024  |
| 11. | Satya Lancana Karya Satya XX                                                                      | Presiden RI                                                     | 2025  |

Pada orasi ini, akan disampaikan state of the art tentang inovasi, perkembangan, peluang dan tantangan penelitian Material Nanokarbon dan Nanopartikel dalam mewujudkan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) di Indonesia terutama di bidang energi, lingkungan dan kesehatan.

Orasi ini diharapkan dapat memberikan pemahaman tentang perkembangan material nanokarbon dan nanopartikel, Jenis jenis material nanokarbon dan nanopartikel, metode sintesis dan karakterisasinya serta aplikasi material nanokarbon dan nanopartikel sebagai teknologi hijau dalam berbagai bidang seperti bidang energi sebagai material elektroda superkapasitor dan baterai, di bidang lingkungan dengan pemanfaatan nanocarbon dan nanopartikel sebagai katalis untuk reduksi CO<sub>2</sub>, pengolahan limbah dan remediasi lingkungan untuk degradasi dan penghilangan zat warna, logam berat dan antibiotik serta dalam bidang kesehatan seperti aplikasi untuk biosensor dan sistem penghantar obat.

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.2328



ISSN 3090-8485



9 773090 848005

Buku ini tidak diperjualbelikan.