

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET  
BIDANG TEKNIK MATERIAL**

**PENGEMBANGAN  
NANOKOMPOSIT BERBASIS  
NANOSELULOSA DAN NANOKARBON  
SEBAGAI MATERIAL FUNGSIONAL**



**OLEH:  
RIKE YUDIANTI**

**BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL  
JAKARTA, 10 MARET 2022**

**PENGEMBANGAN NANOKOMPOSIT  
BERBASIS NANOSELULOSA DAN NANOKARBON  
SEBAGAI MATERIAL FUNGSIONAL**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dilarang mereproduksi atau memperbanyak seluruh atau sebagian dari buku ini dalam bentuk atau cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

© Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang No. 28 Tahun 2014

*All Rights Reserved*

Buku ini tidak diperjualbelikan.



**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET  
BIDANG TEKNIK MATERIAL**

**PENGEMBANGAN NANOKOMPOSIT  
BERBASIS NANOSELULOSA DAN NANOKARBON  
SEBAGAI MATERIAL FUNGSIONAL**

**OLEH:  
RIKE YUDIANTI**

**BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL  
JAKARTA, 10 MARET 2022**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2022 Badan Riset dan Inovasi Nasional  
Pusat Riset Kimia

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Pengembangan Nanokomposit Berbasis Nanoselulosa dan Nanokarbon sebagai Material Fungsional/Rike Yudianti. Jakarta: Penerbit BRIN, 2022.

xi + 50 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-623-7425-58-8 (cetak)  
978-623-7425-57-1 (e-book)




- |                 |                        |
|-----------------|------------------------|
| 1. Nanokomposit | 2. Nanoselulosa        |
| 3. Nanokarbon   | 4. Material Fungsional |

668

*Copy editor* : Rina Kamila & Novia Stuti Putri Indrasari  
*Proofreader* : Anggy Denok Sukmawati  
Penata Isi : Rahma Hilma Taslima  
Desainer Sampul : Imam Setyawan

Cetakan : Maret 2022



Diterbitkan oleh:  
Penerbit BRIN  
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah  
Gedung BJ Habibie, Jln. M.H. Thamrin No.8,  
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,  
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340  
Whatsapp: 0811-8612-369  
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.

## BIODATA RINGKAS



**Rike Yudianti**, lahir di Majalengka pada tanggal 21 Juli 1968, adalah anak kelima dari enam bersaudara dari Hj. Soekarman Prijohartono (Alm.) dan Siti Kartisih (Alm.) Menikah dengan Drs. Winardi dan dikaruniai dua orang anak, yaitu Fajar Abdurrahman, M.T. dan Ayu Hanifah.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 3/M Tahun 2022 tanggal 19 Januari 2022 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Utama terhitung mulai 1 Oktober 2021.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Nomor 54/HK/2022 tanggal 12 Februari 2022 tentang Majelis Pengukuhan Profesor Riset, yang bersangkutan dapat melakukan orasi Pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri Kebon Baru I Cirebon tahun 1981, Sekolah Menengah Pertama Negeri 3 Cirebon pada tahun 1984, Sekolah Menengah Atas Negeri 2 Cirebon pada tahun 1987. Memperoleh Gelar Sarjana Jurusan Fisika, Institut Teknologi Bandung pada tahun 1992, Gelar Doktor di bidang Fisika Kimia dari Kyoto University tahun 2010.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain *Application for X-ray Diffraction and Energy Dispersive Analysis* (2012), *Training Draft Paten Level 1* (2012), *Exploring the Soft Matter at Nanometer Scale by Small Angle Scattering* di Indonesia (2012), *Leadership Development Program (LDP)* di Belanda (2014), *Fabrication on Solar Module Based on Dye Sensitized Solar Cell* di Swedia (2016), *Electron and Ion Beam Microscopy Characterization*

*of Nanotechnology Materials* (2017), *Advanced Photovoltaic Technology* (2018), dan *X-ray Diffraction of Structural Material Analysis* di Jerman (2019).

Pernah menduduki jabatan struktural sebagai Kepala Loka Penelitian Teknologi Bersih LIPI (2016–2017) dan Kepala Pusat Penelitian Fisika LIPI (2017–2021), kemudian dilanjutkan menjadi Pelaksana Tugas Kepala Pusat Riset Fisika, Organisasi Riset Ilmu Pengetahuan Teknik BRIN hingga saat ini.

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Asisten Peneliti Madya tahun 1997, Ajun Peneliti Muda 1999, Ajun Peneliti Madya 2004, Peneliti Ahli Madya 2009, dan Peneliti Ahli Utama 2017.

Menghasilkan 85 karya tulis ilmiah, baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain, dalam bentuk buku, jurnal, prosiding, paten; dan 67 di antaranya dalam bahasa Inggris.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu pembimbing skripsi (S1) pada Universitas Sumatera Utara, Universitas Islam Nusantara, Institut Teknologi Telkom, dan Universitas Ahmad Dahlan; pembimbingan tesis (S2) pada Institut Teknologi Bandung, Universitas Gajah Mada; pembimbingan disertasi S3 pada Universitas Indonesia, Institut Teknologi Bandung, dan Osaka University.

Aktif dalam kegiatan penelitian dan kerja sama *The World Academic of Science* (2003–2004); *Korea Institute of Material Science and Asia Countries Project* (2018–2020); *Research Collaborative Program* LIPI-Osaka University (2018–2023); *Asean-India Science Technology and Development Program* (2019–2020); dan *Bilateral LIPI-JSPS Joint Research Program* (2021–2022). Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu

sekretaris dan Deputi II Perhimpunan Polimer Indonesia, serta anggota Himpunan Peneliti Indonesia, anggota Masyarakat Nano Indonesia, dan anggota Himpunan Fisika Indonesia.

Menerima tanda penghargaan Satyalencana Karya Satya X (tahun 2004), Satyalencana Karya Satya XX (tahun 2014), dan Satyalencana Wirakarya (tahun 2019) dari Presiden Republik Indonesia.

Buku ini tidak diperjualbelikan.





## DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS .....	v
PRAKATA PENGUKUHAN .....	xi
I. PENDAHULUAN .....	1
II. PERKEMBANGAN IPTEK NANOSELULOSA DAN NANOKARBON .....	3
2.1 Perkembangan Iptek Nanoselulosa dan Nanokarbon .....	3
2.2 Potensi Nanoselulosa dan Nanokarbon .....	5
III. PENGEMBANGAN NANOSELULOSA DAN NANOKARBON SEBAGAI MATERIAL FUNGSIONAL .....	9
3.1 Pengembangan dan Pemanfaatan Nanokomposit berbasis Nanoselulosa .....	9
3.2 Pengembangan Nanokomposit berbasis Nanokarbon .....	11
IV. PELUANG PEMANFAATAN NANOSELULOSA DAN NANOKARBON DI INDONESIA .....	17
V. KESIMPULAN .....	20
VI. PENUTUP .....	21
UCAPAN TERIMA KASIH .....	22
DAFTAR PUSTAKA .....	25
LAMPIRAN .....	32
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH .....	34
DAFTAR RIWAYAT HIDUP .....	44



## PRAKATA PENGUKUHAN

*Bismillaahirrahmaanirrahiim.*

*Assalamu 'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.*

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset 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 (BRIN).

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

**“PENGEMBANGAN NANOKOMPOSIT BERBASIS  
NANOSELULOSA DAN NANOKARBON  
SEBAGAI MATERIAL FUNGSIONAL ”**

Buku ini tidak diperjualbelikan.



## I. PENDAHULUAN

Permasalahan di bidang lingkungan dan energi telah menjadi isu strategis yang mendapat perhatian, baik skala nasional maupun global. Salah satu isu serius permasalahan lingkungan di Indonesia adalah sampah plastik yang mencapai 64 juta ton/tahun dan 3,2 juta ton dibuang ke laut, sedangkan 10 miliar lembar atau 85.000 ton kantong plastik per tahun yang dibuang di daratan<sup>1</sup>. Isu lingkungan juga dipengaruhi oleh ketersediaan air bersih yang memberikan dampak bagi kesehatan. Hal ini sejalan dengan konsep pembangunan berkelanjutan dalam *Sustainable Development Goals* (SDGs) pada sektor lingkungan hidup<sup>2</sup>.

Di bidang energi, keterbatasan sumber daya energi fosil yang berasal dari minyak bumi menjadi isu utama yang persediaannya dari tahun ke tahun semakin menipis dan diprediksi tahun 2033 total produksi energi dalam negeri sudah tidak mampu memenuhi konsumsi domestik<sup>3</sup>. Masalah ini mendorong adanya solusi strategis pada pengembangan nanokomposit ramah lingkungan untuk mengatasi permasalahan lingkungan dan energi baru terbarukan untuk mengatasi keterbatasan energi fosil. Kedua solusi strategis tersebut membutuhkan ketersediaan bahan baku atau komponen pilihan berbasis logam, plastik, keramik, dan karbon dengan karakteristik unggul yang berpotensi digunakan sebagai material ramah lingkungan dan material energi<sup>4</sup>.

Nanokomposit merupakan material alternatif sebagai solusi yang masih terbuka lebar potensi aplikasinya sebagai material fungsional. Nanokomposit berbasis nanoselulosa banyak diminati karena merupakan bahan baku yang dapat diperbarui, ramah lingkungan, kuat, dan ringan<sup>5</sup>. Bioselulosa merupakan salah satu sumber nanoselulosa yang mengandung hampir 100% nanoselulosa dan tumbuh alami membentuk jaringan makromolekular

tiga dimensi<sup>6,7</sup>. Pada pengembangannya bioselulosa sebagai bahan dasar nanokomposit berpotensi menghasilkan sifat baru sebagai material fungsional lingkungan<sup>6</sup>. Material fungsional merupakan material yang masih mempunyai sifat aslinya, tetapi dapat menghasilkan sifat khusus yang baru.

Nanokomposit berbasis nanokarbon berpotensi menghasilkan produk yang lebih inovatif dan unggul. *Carbon Nanotube* (CNT) merupakan salah satu nanokarbon berstruktur selimut heksagonal karbon dan berbentuk tubular dengan susunan atom karbon paralel dengan arah tubularnya<sup>8</sup>. Keunggulan karakteristik intrinsik dari CNT melahirkan karakteristik unik seperti sifat elektronik, optik, dan magnetik yang tidak ditemukan di nanoselulosa. CNT berukuran 1–100 nm tidak dapat berdiri sendiri sehingga pengembangan nanokomposit menjadi penting dilakukan untuk menghasilkan material dengan sifat baru.

Berdasarkan latar belakang permasalahan lingkungan dan energi, serta potensi nanoselulosa dan nanokarbon, pada naskah orasi ini disampaikan pemanfaatan nanokomposit berbasis nanoselulosa dan nanokarbon sebagai material fungsional. Bioselulosa mempunyai potensi besar sebagai kemasan yang ramah lingkungan untuk mengatasi permasalahan sampah plastik yang tidak dapat didegradasi secara alami<sup>4,9</sup>. Sementara itu, nanokomposit CNT merupakan material fotokatalis dan *support* elektrokatalis yang dapat digunakan sebagai pengganti *carbon black* pada sel bahan bakar berbasis polimer.

Naskah orasi ini memaparkan perkembangan iptek dan potensi nanoselulosa dan nanokarbon, pengembangan nanokomposit berbasis nanoselulosa dan nanokarbon, serta peluang pemanfaatan nanoselulosa dan nanokarbon di Indonesia, yang akan disampaikan pada Bab II–IV.

## II. PERKEMBANGAN IPTEK NANOSELULOSA DAN NANOKARBON

Pada Bab II ini disampaikan perkembangan iptek nanoselulosa dan nanokarbon yang menunjukkan potensinya sebagai bahan baku nanokomposit.

### 2.1 Perkembangan Iptek Nanoselulosa dan Nanokarbon

Selulosa adalah biopolimer terbarukan yang diberi nama oleh ilmuwan Prancis Anselme Payen pada awal abad ke-19 dan merupakan bahan yang paling melimpah di bumi dan diakui sebagai komponen utama dari biomassa tanaman. Selulosa yang diproduksi oleh alam dengan pertumbuhan 100 miliar hingga 1 triliun ton per tahun adalah sejenis polisakarida dengan berat molekul tinggi yang disusun oleh glukosa<sup>10</sup>. Meskipun perkembangan selulosa berbasis kayu mengalami perkembangan yang pesat, pemanfaatan selulosa ini mempunyai keterbatasan karena tingkat penggunaan kayu yang tinggi sebagai bahan baku pulp untuk kertas. Hal ini menyebabkan perkembangan selulosa berbasis kayu mengalami perubahan ke pengembangan selulosa berbasis nonkayu, seperti daun nanas, serat rami, dan bambu yang masih terbuka lebar pemanfaatannya.

Mulai abad ke-20 pemanfaatan selulosa sebagai serat alternatif mulai terbuka bagi industri biokomposit. Industri ini mengurangi tingkat penggunaan serat selulosa berbasis kayu yang cenderung berlebih. Namun, penggunaan serat selulosa berbasis kayu dan nonkayu adalah bahan baku yang tidak berkelanjutan, memiliki kualitas yang tidak seragam, dan memerlukan proses kimiawi pada pemisahannya<sup>11</sup>.

Perkembangan riset menunjukkan ditemukannya selulosa berukuran nano yang terdapat di dalam hidrogel yang mampu-



nyai karakteristik unik tetapi belum dieksplorasi pemanfaatannya. Pada perkembangannya, nanoselulosa dihasilkan secara sintesis dari *Acetobacter xylinum* yang disebut bioselulosa yang mengandung 99% nanoselulosa murni tanpa memerlukan pemisahan kimiawi<sup>12,13</sup>. Bioselulosa yang ditemukan oleh Adrian John Brown pada tahun 1896 membutuhkan glukosa dan oksigen sebagai unsur penting untuk pertumbuhannya<sup>14</sup>. *Acetobacter xylinum* dinyatakan sebagai produsen nanoselulosa yang paling efisien<sup>15</sup> sebagai alternatif bahan baku nanokomposit yang masih dijamin keberlanjutannya. Selulosa berukuran nano ini banyak digunakan sebagai *nanofiller* penguat nanokomposit. Nanoselulosa mempunyai beberapa keunggulan, di antaranya permukaan yang luas, sangat ringan, mudah dibentuk, mampu menembus batas kinerja material konvensional, serta mempunyai nilai ekonomis yang sangat tinggi. Zhiqiang Fang, seorang ilmuwan dari *University of Maryland*<sup>16</sup>, telah menghasilkan kayu transparan seperti kaca yang mempunyai kekuatan melebihi baja dengan bobot yang lebih ringan. Struktur sel dan natural nanofiber yang dimiliki kayu mengakibatkan material ini tidak mudah pecah.

Perkembangan nanokarbon diawali dengan pengembangan *graphitic carbon*, *porous carbon*, karbon aktif, dan serat karbon yang banyak dimanfaatkan sebagai penguat tahan korosi. Saat ini perkembangan menunjukkan material karbon banyak digunakan sebagai bahan elektroda pada berbagai perangkat energi dengan keunggulannya yang ringan, konduktif 0,1–10 S/cm, dan *specific surface area* lebih dari 254 m<sup>2</sup>/g<sup>17,18</sup>.

Dalam perkembangan dunia optik dan mikroskopi, realisasi teori dan konsep teknologi nano semakin terlihat jelas secara praktikal. *Carbon nanotube* sebagai salah satu nanokarbon mempunyai karakteristik yang menjanjikan. Penemuannya pada tahun 1991 oleh Sumio Iijima menjadi terobosan perkembangan

teknologi nano<sup>19</sup>. Analisis penemuannya menunjukkan morfologi yang tubular dan berukuran nanometer dengan struktur dasar heksagonal. CNT mengikuti hukum fisika kuantum, dengan mengecilnya ukuran menjadi nanometer, karakteristiknya berubah secara signifikan. Perkembangan teknologi pembuatan CNT, dari *arc discharge* hingga laser ablasi dan *chemical vapour deposition*, menunjukkan potensi pemanfaatannya pada berbagai bidang aplikasi yang cukup menjanjikan. Teknik rekayasa dan manipulasi ukuran, bentuk, dan distribusi material nano sangatlah diperlukan sebagai tahap krusial untuk menghasilkan nanokomposit dengan karakteristik baru yang lebih inovatif<sup>20</sup>. Kemajuan teknologi saat ini menunjukkan nanokomposit CNT berperan pada berbagai bidang, seperti bioteknologi, telekomunikasi, energi, dan lingkungan. Pesatnya perkembangan riset dan inovasi nanokomposit CNT menunjukkan peluang diproyeksikannya material ini sebagai pendukung industri elektronik dalam beberapa tahun mendatang.

## 2.2 Potensi Nanoselulosa dan Nanokarbon

Selulosa mengandung hampir 40% massa karbon yang begitu berlimpah dan berharga sehingga dapat memenuhi kebutuhan manusia<sup>21,22,23</sup>. Oleh karena itu, selulosa dianggap sebagai sumber bahan baku yang tidak habis-habisnya untuk kebutuhan hidup manusia sebagai produk yang ramah lingkungan dan biokompatibel<sup>24</sup>.

Penelitian nanoselulosa yang dihasilkan secara alami dari hidrogel tanaman *Lamiacea* spp. telah menjadi bagian dari perjalanan riset sejak tahun 2004, diikuti dengan sumber nanoselulosa lain dari bakteri selulosa yang disebut bioselulosa pada tahun 2006<sup>25</sup>. Hidrogel merupakan polimer hidrofilik yang mengandung 83–89% molekul air membentuk tekstur gel. Hasil pengamatan menunjukkan hidrogel yang dihasilkan

dari lapisan epicarp berbentuk helikoidal. Hal ini menunjukkan fenomena yang unik sebagai *Tinny Soft Treasure on Earth* yang dihasilkan dari *cylindrical cell* melalui *funnel structure* dan *guard cell* (Gambar 1)<sup>20</sup>. Berdasarkan hasil penelitian, hidrogel mengandung hemiselulosa *starch-galactan* dan *4-O-methylglucuronic acid* dan *glucuronic acid* yang tersubstitusi pada O-2  $\beta$ -(1,4) silopiranosida<sup>26,27</sup> sebagai pembentuk struktur gel melalui ikatan hidrogen, *divalent cationic bridge*, dan elektrostatik<sup>28</sup>.

Hidrogel membangun struktur makromolekul tiga dimensi yang membentuk *non-freezable bound water* yang berinteraksi secara bebas menghasilkan *free water* dan *freezable bound water*. Pembentukan *bound water* sangat dipengaruhi oleh *acidic polysaccharide* yang membentuk struktur hidrofilik<sup>29</sup>. Interaksi molekul gel dengan air membentuk permukaan yang sensitif terhadap rangsangan luar, seperti pH, suhu, dan ion eksternal untuk menghasilkan respons dinamis.

Di Indonesia, bioselulosa disintesis menggunakan air kelapa sebagai limbah yang belum optimal pemanfaatannya. Bioselulosa akrab sebagai matriks makanan bernama *Nata de Coco*<sup>24</sup> yang mempunyai jaringan kuat dengan ikatan  $\beta$ -1,4 glikosida. Bioselulosa mengandung hampir 99% nanoselulosa berbentuk fiber berukuran 5–6 nm, 3.000 kali lebih kecil daripada serat kayu membentuk jaringan yang padat dan kenyal. Bioselulosa membangun *interlayer* kompak sebagai jaringan makromolekular tiga dimensi dengan kekuatan mekanis 23,5 GPa melebihi aluminium sehingga memberikan karakteristik yang unik. Modifikasi struktur menjadikan nanoselulosa sebagai penguat dan berpotensi menjadi matriks transparan, bersifat konduktif, dan magnetis<sup>4</sup>.

Teknologi nano berkembang atas dasar sifat baru yang dihasilkan oleh material nano. Rekayasa material nano berupa

pengendalian ukuran, bentuk, dan morfologi, serta penataan material ukuran nano menjadi hal penting untuk menghasilkan material yang mempunyai sifat baru. Karakteristik material nano menjadi berbeda dibandingkan material berukuran besar/makro. Ada dua alasan penyebab perubahan sifat. *Pertama*, material nano mempunyai *surface area* yang lebih besar daripada material makro. *Kedua*, efek kuantum yang mendominasi bahan berukuran nano seperti sifat optik, elektronik, dan magnetik material penyusunnya. Fenomena baru dalam fisika kuantum yang muncul tidak dijumpai pada fenomena fisika klasik. Fenomena unik ini sangat menjanjikan dan telah memberikan perubahan yang besar bagi perkembangan ilmu pengetahuan dunia<sup>30,31</sup>.

Dalam beberapa perspektif, material cerdas merupakan jawaban atas masalah-masalah kontemporer. Dengan terbatasnya sumber daya, material cerdas diharapkan dapat meningkatkan keberlanjutan dari suatu material melalui perbaikan efisiensi, kinerja, dan performanya. Karakteristik intrinsik CNT yang tidak dimiliki oleh serat nanoselulosa, di antaranya konduktivitas listrik lebih tinggi daripada tembaga, konduktivitas panas lebih tinggi daripada berlian, daya tahan terhadap temperatur tinggi, lebih ringan daripada aluminium, serta sifat elektronik dapat diatur, keras, kuat tetapi mudah dibengkokkan. *The miracle of CNT* merupakan harapan kontribusi nyata terhadap perkembangan teknologi nano dan menjadi terobosan di bidang ilmu material<sup>20</sup>. Perkembangan dan pemanfaatan CNT makin banyak digunakan sebagai material fungsional energi dan lingkungan, seperti elektrokatalis, elektroda, fotokatalis, dan *hydrogen storage*.

Merujuk pada segala potensi material nano, peneliti dan akademisi maupun industri telah banyak menguraikan pentingnya pemanfaatan teknologi nano. Material berskala nano yang menjadi dasar nanosains dan teknologi nano, telah men-

jadi salah satu topik penelitian paling populer hingga saat ini. CNT dikategorikan sebagai bahan dimensi satu yang sifatnya dipengaruhi oleh ukuran dimensi ini. Tantangan yang muncul pada pembuatan dan proses modifikasi CNT ke dalam matriks nanokomposit adalah bagaimana mengatasi energi permukaan yang sangat besar karena luas permukaan atau rasio permukaan terhadap volume yang besar, untuk memastikan distribusi ukuran, morfologi, kristalinitas, komposisi kimia, dan struktur mikro yang seragam yang menghasilkan sifat yang diinginkan.

Hal ini menunjukkan bahwa bioselulosa sebagai sumber serat nanoselulosa dan CNT sebagai sumber nanokarbon mempunyai potensi karakteristik unggul sebagai material fungsional di bidang lingkungan dan energi.

### III. PENGEMBANGAN NANOSELULOSA DAN NANOKARBON SEBAGAI MATERIAL FUNGSIONAL

Pada Bab III ini disampaikan pengembangan nanokomposit berbasis nanoselulosa dari bioselulosa dan nanokarbon dari *carbon nanotube* (CNT) yang berpotensi pemanfaatannya sebagai material fungsional.

#### 3.1 Pengembangan dan Pemanfaatan Nanokomposit berbasis Nanoselulosa

Pengembangan nanoselulosa dengan menambahkan polimer ramah lingkungan ke dalam nanoselulosa akan mengubah karakteristik nanokomposit yang dihasilkan menjadi lebih elastis dan fleksibel sehingga berpotensi sebagai kemasan ramah lingkungan. Di samping itu, pengembangan lebih jauh nanoselulosa dengan modifikasi struktur rantai panjang  $\beta(1,4)$  glikosida telah menghasilkan karakteristik baru bersifat magnetik dari nanokomposit selulosa yang mempunyai potensi pemanfaatannya sebagai absorber partikel logam dalam lingkungan.

##### 3.1.1 Nanoselulosa sebagai Plastik Ramah Lingkungan

Sejak tahun 1999, penelitian tentang pemanfaatan nanoselulosa dari bioselulosa mulai mengalami perkembangan yang pesat. Pengembangan pemanfaatan bioselulosa diikuti oleh perkembangan isu tentang plastik konvensional yang mengandung berbagai zat berbahaya pencemar lingkungan, seperti *styrene tremer*, *bisphenol A* serta masih banyak lagi produk samping dari plastik konvensional. Pada penelitian ini telah dilakukan tiga pendekatan untuk menghasilkan plastik yang fleksibel dan elastis tetapi tetap mudah didegradasi<sup>32,33,34</sup>. Pendekatan pertama, defibrilasi dengan mengubah dimensi serat nano. Melalui pendekatan ini

dihasilkan penurunan kekakuan dari 23,5 GPa hingga 160–180 MPa dan adanya interaksi grup hidrofilik nanoselulosa dengan karboksimetilselulosa. Karboksimetilselulosa dan gliserol berperan menurunkan kekakuannya hingga mendekati sifat plastisnya seperti kemasan<sup>35</sup>. Selain itu, karboksimetilselulosa berfungsi sebagai penghambat ikatan hidrogen di dalam struktur inter dan intra-molekular selulosa yang berpotensi dimanfaatkan sebagai *edible film* untuk memperbaiki rasa, tekstur, warna, sekaligus berfungsi meningkatkan stabilitas penampilan dan mengurangi tingkat kebusukan<sup>6,36</sup>.

Sementara itu, pendekatan kedua dilakukan dengan impregnasi. Impregnasi polimer yang larut dalam air dan ramah lingkungan, seperti diasetilglisero<sup>34</sup>, *palm oil*<sup>37</sup>, dan *castor oil*<sup>32</sup> ke dalam struktur selulosa, merupakan pendekatan tanpa merusak jaringan nanoselulosa. Perkembangan ilmu pengetahuan menunjukkan bahwa pembuatan nanokomposit bioselulosa juga dapat dilakukan secara *in-situ* sebagai pendekatan ketiga dengan memanfaatkan polimer larut air, seperti *polyvinyl alcohol*, glukomannan dan lignin yang berafinitas pada medium pertumbuhan bioselulosa secara statis dan agitasi<sup>33</sup>. Afinitas polimer ke dalam serat nanoselulosa membentuk gap ikatan hidrogen sehingga menghasilkan nanokomposit yang lebih fleksibel. Modifikasi permukaan nanoselulosa telah berhasil mengubah intermolekular menjadi lebih fleksibel dan elastis. Pendekatan ketiga, yaitu kombinasi defibrilasi dan impregnasi. Kombinasi ini menghasilkan penurunan sifat mekanis yang cukup signifikan akibat perubahan dimensi dan ikatan hidrogen yang mengubah

karakteristik bioselulosa menjadi kemasan ramah lingkungan yang aman<sup>10</sup>.

### 3.1.2 Nanoselulosa sebagai Absorber Partikel Logam

Inovasi teknologi melalui modifikasi permukaan nanoselulosa telah berhasil mengubah struktur dasar nanoselulosa. Kombinasi perlakuan mekanis dan kimiawi pada permukaan nanoselulosa menunjukkan penurunan sifat mekanis karena reduksi dimensi serat nanoselulosa. Seiring dengan perkembangan teknologi, hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi permukaan nanoselulosa dengan *dimethyl acetamide* dan litium klorida dapat mengubah ikatan hidrogen proton hidroksil selulosa dan anion klorida dengan menghasilkan karakteristik fisis yang sangat berbeda (Gambar 2)<sup>35,38</sup>. Bioselulosa berubah menjadi plastik transparan dan fleksibel dengan kekuatan tarik 58,5 MPa. Modifikasi permukaan secara kimiawi memberikan potensi tidak saja sebagai plastik transparan dan fleksibel, tetapi juga sebagai plastik transparan yang mempunyai sifat magnetik sebagai absorber metal. Hasil menunjukkan bahwa intrusi nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ke dalam sistem nanokomposit termodifikasi mengubah karakteristiknya menjadi magnetik yang berfungsi sebagai absorber partikel logam pada sistem air terpolusi logam. Hal ini menunjukkan bahwa nonoteknologi telah berhasil mengubah karakteristik material asalnya menjadi material dengan sifat baru dan lebih inovatif.

### 3.2 Pengembangan Nanokomposit Berbasis Nanokarbon

*Carbon nanotube* bersifat kuat dan fleksibel, tetapi sangat kohesif sehingga membuatnya cenderung aglomerasi, sulit disebar-kan di dalam cairan, seperti air, etanol, minyak, polimer, atau resin epoksi. Aglomerasi yang sangat tinggi antar-tubularnya yang disebabkan oleh gaya *Van der Waals* dan hidrofobitasitas



permukaan menjadi tantangan mendasar bagi pengembangannya sebagai nanokomposit. Pengembangan teknik dilakukan untuk mencari metode yang efisien untuk mendispersikan dan menurunkan hidrofobitas permukaan CNT. Proses purifikasi dan fungsionalisasi kovalen dapat menghilangkan impuritas<sup>39,40</sup> dan membangun gugus aktif pada permukaan heksagonal karbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi permukaan secara kimiawi telah membentuk gugus fenolik (-OH), lakton (C=O), dan karboksilat (-COOH) sebagai defek heksagonal karbon dengan tetap menjamin struktur heksagonal sebagai media transfer elektron<sup>39,41,42</sup>. Sementara itu, fungsionalisasi nonkovalen dengan tanpa merusak heksagonal karbon dilakukan dengan menutup permukaan tubular dengan surfaktan dalam upaya menstabilkan dispersitasnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *sodium dodecylsulfate* (SDS), *cetyl trimethyl-ammonium bromide* (CTAB)<sup>43</sup>, *triton X-series*<sup>44</sup>, dan polimer non-aromatik, seperti *carboxymethyl cellulose* (CMC)<sup>45</sup> dan PVA<sup>46</sup>, dapat memberikan dispersi melalui interaksi hidrofobik  $\pi$ - $\pi$ , CH- $\pi$ ,<sup>47</sup> dan NH- $\pi$ . Hingga saat ini, pendekatan gabungan antara proses fungsionalisasi dan ultrasonikasi merupakan teknik yang memberikan dispersi yang cukup stabil. Hal ini menjadi pendekatan yang ideal untuk menghasilkan nanokomposit berbasis CNT dengan sifat yang baru.

### 3.2.1 Nanokomposit CNT sebagai Material Elektrokatalis

*Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) merupakan salah satu teknologi sel bahan bakar berbasis polimer. PEMFC merupakan perangkat pembangkit energi dengan cara elektrokimia menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar dan oksigen sebagai pembakarnya. Cara kerjanya cukup sederhana, digambarkan sebagai aki yang terdiri atas dua elektroda dan satu elektrolit polimer padat. Kontribusi PEMFC adalah sebagai sumber energi penghasil listrik secara terus-menerus melalui

reaksi elektrokimia dari oksigen dan hidrogen. Perangkat ini merupakan salah satu solusi energi baru terbarukan.

Perkembangan PEMFC saat ini difokuskan pada peningkatan kinerja sel bahan bakar dan mengurangi tingkat penggunaan platinum yang cenderung mahal. Platina sebagai logam mulia memberikan kontribusi harga yang besar, yaitu 51% terhadap total harga sel bahan bakar. Ukuran, bentuk, dan morfologi platinum telah memberikan pengaruh signifikan pada sifat elektrokatalitiknya.

Pada tahun 2008, pemanfaatan CNT sebagai substitusi karbon nanopartikel yang didoping metal platina melalui proses reduksi telah menjadi bagian dari rencana strategis nasional<sup>43,48</sup>. Strategi ini dilakukan karena keterbatasan performa *carbon black* sebagai media transport massa pada densitas arus yang tinggi. Pemanfaatan nanokomposit Pt/CNT sebagai elektrokatalis dalam upaya meningkatkan kinerja sel bahan bakar sekaligus mengurangi penggunaan platina yang cenderung mahal. CNT diyakini dapat mengatasi kendala ini dengan memberikan karakteristik yang lebih efisien dan efektif sebagai transport proton dengan luas permukaan yang besar dan struktur mesoporos.

Pada penelitian ini, pembuatan nanokomposit Pt/CNT dilakukan melalui proses reduksi *ethylene glycol* dengan tensi permukaan yang rendah 47,9 mN/m dan viskositas 20,1 cP, membentuk suspensi yang stabil untuk pertumbuhan platina secara homogen pada heksagonal karbon. Telah dihasilkan platina dengan diameter 4,1–4,3 nm dan struktur kubik telah berhasil tumbuh secara homogen pada heksagonal karbon. Peran Pt/CNT telah berhasil meningkatkan performa dari 3,5 menjadi 18,4 m<sup>2</sup>/g absorpsi hidrogen dibandingkan Pt/C (Gambar 3)<sup>43,48</sup>. Peningkatan performa ini terjadi pula pada pemanfaatan Pt/CNT di

dalam *Direct Methanol Fuel Cell* sebesar 35–50% dibandingkan *carbon black*<sup>49,50,51</sup>.

Elektrokatalis mempunyai sifat hidrofobik, berpori, dan konduktif sehingga penting sebagai pembangkit energi listrik berbahan bakar hidrogen. Hasil penelitian menunjukkan elektrokatalis berbasis CNT mempunyai densitas arus 60 mA/cm<sup>2</sup> lebih tinggi dibandingkan Pt/C (Gambar 4)<sup>44</sup>. Untuk mendapatkan kinerja tinggi, sel bahan bakar tidak hanya dipengaruhi oleh kinerja elektrokatalis, tetapi elektrolit dan elektroda juga menjadi faktor internal yang penting<sup>52</sup>. Faktor lain seperti suplai bahan bakar, temperatur, dan sistem *water management* juga menjadi hal krusial bagi kinerja sel bahan bakar.

### 3.2.2 Nanokomposit CNT sebagai Material Fotokatalis

Perlindungan dan perbaikan lingkungan dari pencemaran merupakan isu penting dalam peningkatan kualitas hidup manusia yang berkelanjutan. Selain sampah, air memiliki faktor yang tidak kalah penting dalam setiap aktivitas manusia. Pencemaran air akibat limbah rumah tangga dan industri ditunjukkan dengan perubahan warna dan bau yang dapat mengganggu kesehatan. Beberapa teknik telah digunakan untuk mengatasi pencemaran air melalui pengendapan kimia, koagulasi konvensional, *reverse osmosis*, elektrodialisis, elektrolisis, adsorpsi, dan degradasi fotokatalitik. Dari teknik yang digunakan, gabungan fotoadsorpsi dan fotodegradasi dari material fotokatalis direkomendasikan sebagai metode yang ramah lingkungan, murah, dan efisien. Sementara itu, fotoadsorpsi akan menghasilkan limbah padat sehingga menjadi kurang efisien.

Oleh karena itu, *heterogenous* material fotokatalis menjadi pilihan yang tepat untuk mendegradasi kekeruhan air akibat polutan melalui tiga proses, yaitu absorpsi, fotoadsorpsi, dan fotodegradasi melalui transfer muatan untuk menghasilkan

radikal. Keuntungan material fotokatalis *heterogenous* adalah kemampuannya untuk mengintegrasikan fungsi melalui pemanfaatan sinar UV dengan menghasilkan hidroksil radikal sebagai pendegradasi polutan, media transfer muatan untuk mencegah rekombinasi elektron dan photoadsorpsi<sup>53</sup>. Efektivitas fotodegradasi tergantung pada ukuran partikel, luas permukaan spesifik, dan morfologi dari material fotokatalisnya.

Pada penelitian ini, semikonduktor optik seperti *titanium dioxide* ( $\text{TiO}_2$ ) dan *zinc oxide* ( $\text{ZnO}$ ) dengan bandgap 3–3,2 eV dan 3,37 eV telah digunakan dalam proses fotodegradasi melalui proses redoks yang diinduksi sinar UV menghasilkan eksitasi elektron. CNT bersifat konduktif elektron berpotensi sebagai material *support* semikonduktor  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{ZnO}$  dalam upaya meningkatkan efektivitas fotodegradasi. *Heterogenous* material fotokatalis dari kombinasi CNT dengan material semikonduktor ( $\text{ZnO}$  dan  $\text{TiO}_2$ ) telah dihasilkan dan telah terbukti terjadi peningkatan fotoaktivitasnya. Kristalisasi  $\text{TiO}_2$  pada heksagonal karbon CNT telah berhasil terdispersi secara homogen melalui pemanasan gelombang mikro dengan panjang gelombang antara 1,0 cm–1,0 m sehingga mempercepat kristalisasi dan nukleasi dengan distribusi ukuran partikel yang sempit. Transformasi kristal dari ortorombik ke tetragonal menunjukkan adanya transformasi fasa dari *brookite* ke anatase dengan *band gap* 3,2 eV dengan fotoaktivitas yang lebih aktif dibandingkan fasa campuran. Hasil telah menunjukkan bahwa nanokomposit CNT/ $\text{TiO}_2$  dan CNT/ $\text{ZnO}$  di dalam sistem sebesar 60 sampai dengan 88,6% selama 2 hingga 10 jam menunjukkan material heterostruktur memberikan efek yang cukup signifikan terhadap proses fotodegradasi pencemaran air<sup>54</sup>. Heterostruktur semikonduktor dengan CNT berperan sebagai penangkap elektron yang mencegah terjadinya rekombinasi antara pasangan ( $e^-/h^+$ ) dan pembangkit *sensitizer* dari material fotokatalis merupakan peran penting yang dihasilkan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

#### IV. PELUANG PEMANFAATAN NANOSULOSA DAN NANOKARBON DI INDONESIA

Peluang pemanfaatan nanosulosa sebagai bagian dari perkembangan teknologi nano di Indonesia sangat besar, mengingat Indonesia sebagai salah satu negara dengan megabiodiversitas dunia dan populasi penduduk sebesar  $\pm 270$  juta jiwa sebagai modal untuk pengembangan teknologi nano berbasis sumber daya alam. Saat ini, sumber daya alam yang melimpah di Indonesia menjadikan negara ini hanya sebagai penyuplai bahan mentah dengan nilai rendah dibandingkan bahan yang telah melalui proses pengolahan sehingga dapat memberikan nilai tambah dan nilai ekonomis yang tinggi. Oleh karena itu, peran riset dan inovasi bagi perkembangan teknologi proses dan pengolahan menjadi hal yang cukup penting.

Peluncuran *Making Indonesia 4.0* sebagai sebuah peta jalan dan strategi Indonesia memasuki era digital memberikan peluang terhadap perkembangan teknologi nano sebagai bagian dari era Revolusi Industri keempat<sup>55</sup>. Salah satu komitmen pemerintah untuk mendukung pengembangan material maju adalah material fungsional, telah tercantum dalam Rencana Induk Riset Nasional 2015–2045 yang meliputi logam tanah jarang, material untuk *energy storage* (baterai), material katalis, dan bahan baku untuk industri besi dan baja.

Rekam jejak saat ini menunjukkan beberapa lembaga riset dan perguruan tinggi di Indonesia telah mengisi perkembangan teknologi pemanfaatan nanosulosa dan nanokarbon pada tingkat nasional maupun global<sup>56,57,58</sup>. Pemanfaatan nanosulosa sebagai kemasan ramah lingkungan dengan tingkat kristalinitas tinggi masih menjadi tantangan dalam hal konsistensi struktur kristal dan ukuran partikelnya yang seragam. Modifikasi proses

dan struktur nanoselulosa masih terus dilakukan dalam upaya meningkatkan nilai ekonomis produksinya hingga skala industri. Modifikasi nanoselulosa dengan pati dan gliserol merupakan upaya meningkatkan elastisitas produk dan nilai ekonomis produksinya. Sementara itu, plastik ramah lingkungan berbahan dasar pati sudah dikembangkan di Indonesia sejak beberapa waktu yang lalu. Upaya meningkatkan karakteristiknya melalui modifikasi struktur menggunakan berbagai sumber bahan baku pati dilakukan. Namun, secara komersial industri yang memproduksi masih terbatas karena permintaan di dalam negeri masih rendah. Beberapa industri di Indonesia telah memproduksi dan memasarkan bioplastik dengan berbagai merek. Namun, harga plastik ramah lingkungan masih lebih mahal daripada plastik konvensional karena kapasitas produksinya belum optimal dan teknologi proses belum berkembang luas. Selain itu, belum adanya aturan pembatasan penggunaan plastik konvensional juga membuat bioplastik belum banyak digunakan. Nanoselulosa menjadi alternatif bahan baku kemasan ramah lingkungan yang bersifat *edible* yang dapat dimakan langsung dan praktis penggunaannya. Peluang pemanfaatannya masih cukup terbuka lebar dalam upaya meningkatkan daya tahan pangan seiring dengan semakin sadarnya masyarakat terhadap kesehatan dan potensi bahaya dari pengawet sintetis sekaligus menjawab isu nasional di bidang lingkungan.

Penelitian CNT sebagai salah satu sumber nanokarbon menunjukkan perkembangannya hingga saat ini. Potensi karakteristiknya menjadi bahan diskusi yang intensif pada beberapa komunitas ilmiah sebagai material fungsional, khususnya energi dan lingkungan<sup>9,59,60</sup>. Sejak tahun 2002, penelitian PEMFC telah menghasilkan berbagai *prototipe* komponen PEMFC, seperti membran elektrolit, *bipolar plate*, *current collector*, *gas dif-*

*fusion layer*, dan elektrokatalis yang pengembangannya masih berskala laboratorium.

Sementara itu, di Indonesia teknologi *fuel cell* sudah digunakan di beberapa *Base Transceiver Station* (BTS) industri telekomunikasi. Tercatat 600 BTS sudah menggunakan teknologi *fuel cell*, tetapi beberapa komponen materialnya masih impor<sup>61</sup>. Diprediksi pada tahun 2033 total produksi energi dalam negeri sudah tidak mampu lagi memenuhi konsumsi domestik.<sup>3</sup> Kebutuhan energi yang terus meningkat menjadi tantangan agar energi baru terbarukan berbasis sumber daya lokal menjadi program prioritas yang dapat diterapkan di tanah air ini. Pengembangan material energi, khususnya material elektrokatalis dalam upaya mengurangi penggunaan platinum yang masih mahal dan mengurangi komponen material impor, menjadi krusial. Hal ini menjadi peluang yang besar dan akselerator bagi pertumbuhan hasil penelitian material energi di Indonesia.

## V. KESIMPULAN

Pengembangan nanokomposit berbasis nanoselulosa dan nanokarbon telah berhasil memberikan kontribusi yang signifikan terhadap karakteristik nanokomposit sebagai material fungsional. Modifikasi permukaan nanoselulosa dari bioselulosa telah menunjukkan adanya potensi nanokomposit untuk dijadikan bahan alternatif kemasan ramah lingkungan dan material absorber yang bersifat magnetik. Melalui teknologi proses yang tepat, nanokomposit berbasis nanokarbon dari CNT telah mengindikasikan material fungsional sebagai material *support* elektrokatalis dan fotokatalis. Hasil penelitian ini telah menunjukkan nanokomposit berbasis nanoselulosa dan nanokarbon mempunyai prospek kemanfaatannya sebagai material fungsional yang berkontribusi dalam aspek lingkungan dan energi.



## VI. PENUTUP

Pengembangan nanoselulosa dan nanokarbon memberikan peluang pemanfaatan yang besar bagi industri dan masyarakat luas. Tantangan ke depan bagi pengembangan dan pemanfaatan nanoselulosa dan nanokarbon adalah diperlukannya usaha yang maksimal, infrastruktur yang memadai, dan kebijakan yang mendukung kualitas riset yang lebih baik untuk memberikan dampak bagi aspek lingkungan dan energi. Ekspansi infrastruktur riset berupa sumber daya manusia yang kompeten dan sarana riset yang memadai menjadi modal penting untuk menghasilkan penguatan riset dan inovasi. Dengan demikian diharapkan tercipta kolaborasi dan inovasi teknologi dengan mitra eksternal. Saat ini, anggaran riset yang bergulir 24,6 trilyun atau 1,1% APBN di Indonesia masih belum memberikan dampak riset yang memadai. Belum lagi sinergi dan kolaborasi riset dari berbagai kekuatan institusi litbang, pemerintah, industri, dan masyarakat juga belum optimal. Oleh karena itu, diperlukan upaya keras secara masif dan komprehensif untuk menghasilkan satu sinergisitas, integritas, dan kolaborasi yang kuat dalam upaya mendukung penguatan daya saing melalui riset dan inovasi nasional.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Mengakhiri Orasi Pengukuhan Profesor Riset ini, izinkan saya menyampaikan rasa syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala nikmat dan karunia-Nya sehingga acara ini dapat berjalan sesuai dengan harapan. Acara ini juga dapat terselenggara atas kontribusi besar dari beberapa pihak.

Pertama-tama saya ucapkan terima kasih pada Presiden Republik Indonesia, Ir. H. Joko Widodo; Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Dr. Laksana Tri Handoko; Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Ir. Bambang Subiyanto; Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani; Tim Penelaah Naskah Orasi Ilmiah, Prof. Dr. Ir Subyakto, Prof. Dr. Ratno Nuryadi, Prof. Dr. Ir. Myrtha Karina, dan Prof. Dr. Nurul Taufiqurrahman; Plt. Sekretaris Utama Nur Tri Aries Suestiningtyas, M.A.; Plt. Kepala Biro Organisasi dan Sumber Daya Manusia, Ratih Retno Wulandari S.Sos., M.Si. sehingga naskah orasi saya layak disampaikan pada hari ini. Yang terhormat, Plt. Kepala Organisasi Riset Ilmu Pengetahuan Teknik Dr. Eng. Budi Prawara; dan Plt. Kepala Organisasi Riset Ilmu Pengetahuan Teknik terdahulu, Prof. Dr. Eng. Agus Haryono, terima kasih untuk kesempatan yang telah diberikan.

Perjalanan karier saya tidak terlepas dari dukungan dan kesempatan yang diberikan oleh Drs. Tun A. Saanin, Drs. Arjuno Brojonegoro, Dr. Anung Kusnowo, Dr. Achiar Oemry, dan Dr. Bambang Widiyatmoko, kepada merekalah apresiasi saya diberikan. Penghormatan dan penghargaan yang setinggi-tingginya saya berikan kepada Prof. Jun-ichi Azuma yang mengajarkan dan membimbing saya untuk tekun melakukan riset dengan baik. Terima kasih kepada Prof. Dr. Myrtha Karina sebagai

*Home Advisory JSPS Ronpaku Program* yang telah banyak membimbing selama ini.

Terima kasih atas dukungannya selama ini saya sampaikan kepada seluruh sivitas Pusat Riset Fisika tempat saya bekerja dan melakukan penelitian selama ini.

Terima kasih kepada Ibu Lucia Indrarti dan Ibu Holia Onggo yang telah membantu dan memberikan semangat selama saya di Pusat Penelitian Fisika Bandung. Kepada para guru dan dosen yang telah mendidik saya di bangku sekolah dan kuliah yang tidak dapat saya sebut satu per satu.

Penghormatan tertinggi dan diikuti dengan rasa cinta kasih sepenuh hati, saya haturkan kepada orang tua saya, Almarhum Ayahanda Soekarman Prijohartono dan Almarhumah Ibunda tercinta Siti Kartisih atas segala cinta kasihnya mendidik, membimbing, dan membesarkan saya hingga sekarang ini, semoga limpahan rahmat dan karunia-Nya selalu tercurah kepada kedua orang tua saya. Kepada suami tercinta, Winardi yang terus mendampingi dengan penuh pengertian, sabar, dan ikhlas tanpa kenal lelah serta ananda tersayang, Fajar Abdurrahman dan Ayu Hanifah yang selalu sabar dan mengerti penuh, rasa sayang dan kasih, saya ucapkan terima kasih. Semoga Allah senantiasa melindungi kita semua. Kakanda dan adinda tercinta terima kasih untuk doa dan dukungannya.

Ucapan terima kasih yang tulus kepada panitia penyelenggara orasi ilmiah dan seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, dengan dukungan dan partisipasi Saudara, acara ini dapat terselenggara dengan baik, lancar penuh hikmat.

Dengan mengucapkan Alhamdulillah, saya akhiri orasi ilmiah ini. Terima kasih atas perhatian hadirin semua dan mohon maaf atas kekurangan dan kekhilafan dalam menyampaikan

orasi ilmiah ini. Semoga Allah Swt. memberikan kekuatan dan menjadikan kita semua pemimpin bagi orang-orang yang bertakwa.

*Wa billahi taufiq wal hidayah, Wassalamualaikum wa rahmatullahi wa barokatuh.*

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. World Bank. Hotspot sampah laut Indonesia. Public Disclosure Authorized 2018; 1–49.
2. United Nations Department of Global Communications. Sustainable Development Goals 2020.
3. Sugiyono A. Outlook energi Indonesia 2015–2035. Prospek energi baru terbarukan. *J. Energi dan Lingkungan* 2016; 12(2): 87–96.
4. Indriyati, **Yudianti R**, Indrarti L. Development of bacterial cellulose/activated carbon composites prepared by in situ and cast-drying methods. *Asian Transaction on Basic Applied Science* 2012; 2(5): 21–24.
5. Suhas SK, Gupta VK, Carrott PJM, Singh R, Chaudhary M. Cellulose: A review as natural, modified and activated carbon adsorbent. *Bioresources Technology* 2016; 26: 1066–1076.
6. Azeredo HMC, Barud H, Farinas CS, Vasconcelos VM, Claro AM. Bacterial cellulose as a raw material for food and food packaging applications. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 2019; 3: 1–14.
7. **Yudianti R**, Karina M, Sakamoto M, Azuma J. Precise structure of acidic polysaccharide present in salvia hydrogels. *Wood Science Journal* 2019; 1(2): 95–102.
8. Martinez-Hernandez AL, Velasco-Santos C, Castano VM. Carbon nanotubes composites: processing, grafting and mechanical and thermal properties. *Current Nanoscience* 2010; 6(1): 12–39.
9. Sabrina Q, Rina RC, Hardiansyah A, Lestariningsih T, Subhan A, Rifai A, **Yudianti R**, Uyama H. Preparation and characterization of nanofibrous cellulose as solid polymer electrolyte for lithium-ion battery applications. *RSC Advances* 2021; 11(37): 22929–22936.
10. Hon DNS. Cellulose: a random walk along its historical path. *Cellulose* 1994; 1: 1–25.

11. Indrarti L, **Yudianti R**. Morphological and thermal properties of alkali treated bacterial cellulose from coconut water. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 2012; 13: 221–225.
12. Shim H, Karina M, **Yudianti R**, Indrarti L, Azuma J, Uyama H. One-sided surface modification of bacterial cellulose sheet as 2,3-dialdehyde. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 2015; 54: 305–309.
13. Shim H, Karina M, **Yudianti R**, Indrarti L, Azuma J. One-dimensional shrinkage and swelling of crosslinked bacterial cellulose gel. *Chemistry Letter* 2016; 45: 253–255.
14. Ross P, Mayer R, Benziman M. Cellulose biosynthesis and function in bacteria. *Microbiological Reviews* 1991; 55: 35–58.
15. Delmer DP, Benzimantt M, Padan E. Requirement for a membrane potential for cellulose synthesis in intact cells of *Acetobacter xylinum*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 1982; 79: 5282–5286.
16. Fang Z, Zhu H, Preston C, Han X. Highly transparent and writable wood all-cellulose hybrid nanostructured paper. *Journal of Materials Chemistry* 2013; C 1: 6191–6197.
17. Onggo H, Syampurwadi A, **Yudianti R**. Pembuatan gas diffusion electrode dengan teknik screen printing: pengaruh microporous layer terhadap struktur mikro dan kinerja elektrokatalis. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 2013; 14(4): 253–258.
18. Izumi R, Yao Y, Tsuda T, Torimoto T, Kuwabata S. Pt-Nanoparticle-supported carbon electrocatalysts functionalized with a protic ionic liquid and organic salt. *Advanced Material Interfaces* 2018; 5(3): 1701123–1701128.
19. Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature* 1991; 354: 56–58.
20. **Yudianti R**, Azuma J. Studies on properties of cellulosic hydrogels in salvia nutlets: tiny soft treasures on earth. Lambert Academic Publishing; 2012.

21. Nevell TP, Zeronian SH. Cellulose chemistry and its applications. John Wiley;1987: 140250212.
22. Iguchi M, Yamanaka S, Budhiono A. Bacterial cellulose: a masterpiece of nature's arts. *Journal Material Science* 2000; 35: 261–270.
23. Zeng M, Laromaine A. Bacterial cellulose films: influence of bacterial strain and drying route on film properties. *Cellulose* 2014; 21: 4455–4469.
24. Klemm A, Heublein D, Fink B, Bohn. Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte Chemie International*; 2005.
25. **Yudianti R**, Indrarti L, Azuma J. Structure and physical properties of natural gellous material. *Journal of Applied Science* 2007; 7(4): 580–584.
26. **Yudianti R**, Indrarti L, Karina K, Sakamoto M, Azuma J. Chemical compositions of hydrocolloids produced from nutlets of salvias. *Journal of Tropical Wood Science and Technology* 2007; 5(1): 12–16.
27. **Yudianti R**, Indrarti L, Sakamoto M, Azuma J. Cellulose-hemicellulose present in hydrocolloids from *Salvia* spp. *The Sixth International Wood Science Seminar*, 2005.
28. **Yudianti R**, Karina M, Sakamoto M, Azuma J. Effects of salts on rheological behaviour of salvia hydrogels. *Macromolecular Research* 2009; 17: 332–338.
29. **Yudianti R**, Karina M, Sakamoto M, Azuma J. DSC Analysis on water state of salvia hydrogels. *Macromolecular Research* 2009; 17(12): 1015–1020.
30. Vysikaylo PI. Quantum size effects arising from nanocomposites physical doping with nanostructures having high electron affinity. *Series Natural Sciences* 2021; 3: 150–175.
31. Roduner E. Size matters: Why nanomaterials are different. *Chemical Society Reviews* 2006; 35(7): 583–592.

32. Karina M, Indrarti I, **Yudianti R**. Effect of castor oil impregnation on the physical and mechanical properties of bacterial cellulose. *Polymer from Renewable Resources* 2012; 3(1): 13–26.
33. Iwata T, Indrarti L, Azuma J. Affinity of hemicellulose for cellulose produced by *Acetobacter xylinum*. *Cellulose* 1998; 5: 215–228.
34. Karina M, Indrarti L, **Yudianti R**, Syampurwadi A. Alteration of bacterial cellulose properties by diacetyl glycerol. *Procedia Chemistry* 2012; 4: 268–274.
35. **Yudianti R**, Indrarti L. Effect of water soluble polymer on structure and mechanical properties of bacterial cellulose composites. *Journal of Applied Science* 2008; 8(1): 177–180.
36. Iriani EI, Wahyuningsih K, Sunarti TC, Permana AW. Sintesis nanoselulosa dari serat nanas dan aplikasinya sebagai nanofiller pada film berbasis polivinil alkohol. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian* 2015; 12(1): 11–19.
37. Karina M, Indrarti L, **Yudianti R**, Indriyati, Syampurwadi A, Widodo H. Impact of esterified palm oil impregnation on bacterial cellulose properties. *Polymers from Renewable Resources* 2012; 3(4): 139–152.
38. **Yudianti R**, Syampurwadi A, Onggo H, Karina M, Uyama H, Azuma J. Properties of bacterial cellulose transparent film regenerated from dimethylacetamide–LiCl solution. *Polymer Advanced Technologies* 2016; 27: 1102–1107.
39. **Yudianti R**, Indrarti L, Onggo H. Thermal behavior of purified multi walled carbon nanotube. *Journal of Applied Science* 2010; 10(17): 1978–1982.
40. Subagio A, **Yudianti R**, Rowi K, Taufiq MI. Pemurnian carbon nanotubes menggunakan larutan  $\text{HNO}_3$  dengan metode pencucian biasa dan reflux. *Jurnal Fisika Indonesia* 2014; 17: 1–4.
41. **Yudianti R**, Onggo H, Sudirman, Saito Y, Iwata T, Azuma J. Analysis of functional group sited on multi-wall carbon nanotube surface. *Open Material Science Journal* 2011; 5(1): 242–247.



42. **Yudianti R**, Oemry F, Indrarti I, Onggo H. Analysis of crushed multi-walled carbon nanotubes. *Indonesian Journal of Material Science* 2010; 11(2): 99–102.
43. **Yudianti R**, Onggo H, Indriyati. Role of catalytic synthesis on growth and distribution of platinum nanoparticle on carbon nanotube surface. *Nanoscience Nanotechnology* 2012; 2(6): 171–177.
44. **Yudianti R**, Onggo H, Syampurwadi A. Molecular conformation of nafion ionomer on electrocatalyst layer prepared by screen printing technique. *International Journal of Electrochemistry Science* 2014; 9: 3047–3059.
45. Irmawati Y, Khaerudini DS, Indriyati, Mardiyati, **Yudianti R**. Dispersibility of multiwall carbon nanotube in a polyanionic surfactant based on UV-VIS analysis. *Indonesian Journal of Chemistry* 2020; 20(5): 1206–1212.
46. **Yudianti R**, Hutabarat LG, Irmawati Y, Widodo H, Indayaningsih N, Magfirah A. Carbon nanotube network as an electron pathway in nanocomposite films. *International Journal Material Research* 2020; 111(3): 197–203.
47. Fujigaya T, Nakashima N. Non-covalent polymer wrapping of carbon nanotubes and the role of wrapped polymers as functional dispersants. *Science and Technology of Advanced Materials* 2015; 024802: 1–21.
48. Sudirman, Indriyati, Adi WR, **Yudianti R**, Budianto E. Structural analysis of platinum nanoparticles on carbon nanotube surface as electrocatalyst system. *International Journal of Chemistry* 2017; 9(2): 60–65.
49. Jeng KT, Chien CC, Hsu NY, Yen SC, Chiao SD. Performance of direct methanol fuel cell using carbon nanotube-supported Pt-Ru anode catalyst with controlled composition. *Journal Power Sources* 2006; 160(1): 97–104.
50. Sudirman, Adi A, Budianto E, Khaerudin DS, **Yudianti R**. Mono-Dispersed Pt/MWNTs: growing directly on multiwall carbon nanotubes (MWNTs) using  $\text{NaBH}_4$  as reducing agent for compo-

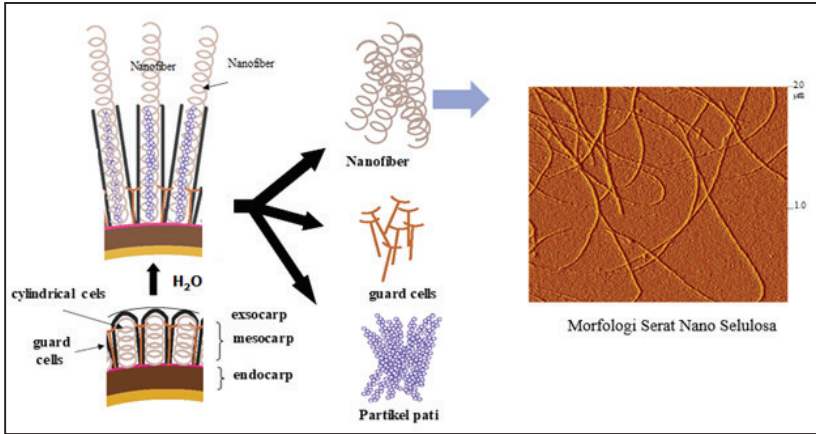
ment of proton exchange membrane fuel cell (PEMFC). *International Journal of Chemistry* 2019; 12(1): 37.

51. Irmawati Y, Indriyati, Onggo H, **Yudianti R**. Kajian kinerja polymer electrolyte membrane fuel cell open cathode terhadap variasi tegangan kipas katoda dan variasi laju alir hidrogen pengaruh kipas pada kinerja PEMFC open. *Indonesia Material Science Journal* 2012; 13: 216–220.
52. Syampurwadi A, Onggo H, Indriyati, **Yudianti R**. Performance of PEM fuel cells stack as affected by number of cell and gas flow-rate. *Journal of Physics Conference Series* 2016; 755.
53. Sivakumar M, Towata A, Yasui K, Tuziuti K, Kozuka T, Iida Y. Ultrasonics sonochemistry dependence of sonochemical parameters on the platinization of rutile titania—An observation of a pronounced increase in photocatalytic efficiencies. *Ultrason-Sonochemistry* 2010; 17(3): 621–627.
54. Tri YR, Irmawati Y, Destyorini D, Yudasari N, Syampurwadi A, Aryanto D, Isnaeni, **Yudianti R**. UV photoactivity of a flexible ZnO hybrid photocatalyst grown on a conductive cellulose-based substrate. *AIP Conference Proceeding* 2021.
55. Halim S. Revolusi industri 4.0 di Indonesia. *Interciencia* 2018; 30(8): 1.
56. Kudzai MVO, Stark A, Patrick GN, Nyamori. Synthesis of carbon nanomaterials from biomass utilizing ionic liquids for potential application in. *Material* 2020; 13: 2–26.
57. Osman AI, Farrell C, Al-Muhtaseb AH, John A, Rooney W. The production and application of carbon nanomaterials from high alkali silicate herbaceous biomass. *Nature Research* 2020; 1–13.
58. Rimayanto G. Sintesis dan karakterisasi carbon nanotube (CNT) dari arang kayu jati serta pemanfaatannya sebagai bahan aktif antibakteri. *Jurnal Kimia Riset* 2020; 5(2): 127–133.
59. Destyorini F, Irmawati Y, Hardiansyah A, Widodo H, Dimas Yahya I, Indayaningsih N, **Yudianti R**, Hsu Y-I, Uyama H. Formation of nanostructured graphitic carbon from coconut waste

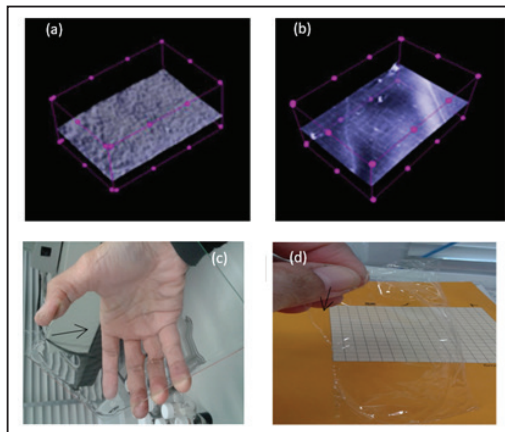
via low-temperature catalytic graphitisation. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 2021; 24(2): 514–523.

60. Destyorini F, **Yudianti R**, Irmawati Y, Hardiansyah A, Hsu, Uyama H. Temperature driven structural transition in the nickel-based catalytic graphitization of coconut coir. *Diamond Relation Material* 2021; 117(108443): 1–8.
61. Angelia M. Teknologi fuel cell, alternatif energi listrik untuk BTS. <http://tekno.liputan6.com/read/2304179/inikah-dampak-memati-kan-pemanasan-global> 2016.

## LAMPIRAN

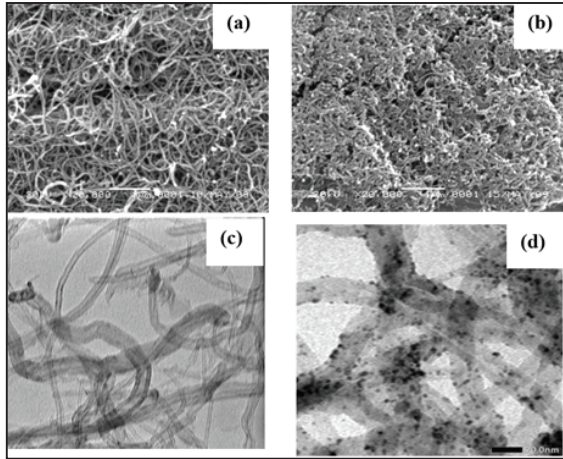


**Gambar 1.** Mekanisme *Swelling* Hidrogel dari Lapisan Epikarp<sup>20,26</sup>



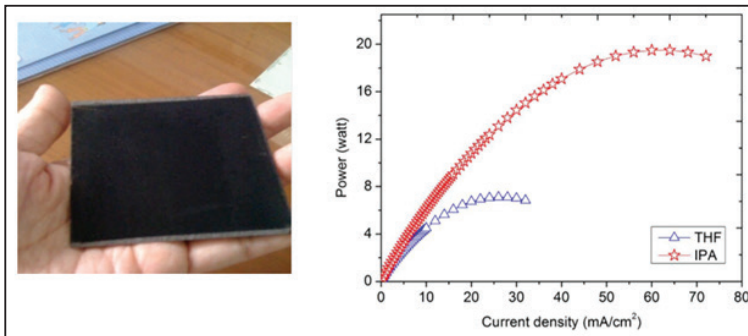
Keterangan: (a) Analisis tekstur bioselulosa (*native*); (b) Analisis tekstur film bioselulosa Transparan; (c) Bioselulosa transparan; (d) Film bioselulosa transparan<sup>38</sup>

**Gambar 2.** Peranan Teknologi Nano pada Transparansi Bioselulosa



Keterangan: (a) CNT sebelum aktivasi; (b) CNT setelah aktivasi; (c) CNT sebelum aktivasi; (d) Elektrokatalis Pt/CNT (d)<sup>48</sup>

**Gambar 3.** Perbandingan Permukaan CNT Awal dan Setelah Fungsionalisasi



**Gambar 4.** Lapisan Elektrokatalis (a); Performa Elektrokatalis (b)<sup>44</sup>

## DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

### Buku Internasional

1. **Yudianti R**, Azuma J. Studies on properties of cellulosic hydrogels in salvia nutlets: tiny soft treasure on earth. Lambert Academic Publishing; 2012.

### Jurnal Internasional

2. Sabrina Q, Ratri CR, Hardiansyah A, Lestariningsih T, Subhan A, Rifai A, **Yudianti R**, Uyama H. Preparation and characterization of nanofibrous cellulose as solid polymer electrolyte for lithium-ion battery applications. *RSC Advances* 2021; 11: 22929–22936.
3. Destyorini F, **Yudianti R**, Irmawati Y, Hardiansyah A, Hsu Yu-I, Uyama H. Temperature driven structural transition in the nickel-based catalytic graphitization of coconut coir. *Diamond & Related Materials* 2021; 117: 108443–108451.
4. Yulianti RT, Irmawati Y, Destyorini F, Ghazali M, Suhandi A, Kartolo S, Hardiansyah A, Byun J-H, Fauzi MH, **Yudianti R**. Highly stretchable and sensitive single-walled carbon nanotube-based sensor decorated on polyether ester urethane substrate by a low hydrothermal process. *ACS Omega* 2021; 6, 34866–34875.
5. Irmawati Y, Manzalini S, Sugeng B, Sudirman, Asahara H, **Yudianti R**. Microwave-assisted synthesis of functionalized multi-walled carbon nanotube–titanium dioxide hybrid structure and photodegradation. *Journal Engineering Technology Science*; 2021.
6. Destyorini F, Irmawati Y, Hardiansyah A, Widodo W, Yahya IND, Indayaningsih N, **Yudianti R**, Hsu Yu-I, Uyama H. Formation of nanostructured graphitic carbon from coconut waste via low-temperature catalytic graphitization. *Engineering Science and Technology an International Journal* 2021: 24(2): 514–523.

7. Karina M, Satoto R, Abdullah AH, **Yudianti R**. Properties of nanocellulose obtained from sugar palm (*Arenga pinnata*) fiber by acid hydrolysis in combination with high-pressure homogenization. *Cellulose Chemistry Technology* 2020; 54(1–2): 33–38.
8. Sudirman, Wisnu AA, Budianto E, Khaerudin DS, **Yudianti R**. Mono-dispersed Pt/MWNTs: Growing directly on multiwall carbon nanotubes (MWNTs) using  $\text{NaBH}_4$  as reducing agent for component of proton exchange membrane fuel cell (PEMFC). *International Journal of Chemistry* 2020; 12(1): 37–48.
9. **Yudianti R**, Hutabarat LG, Irmawati Y, Widodo H, Indayaningsih N, Magfirah A. Carbon nanotube network as an electron pathway in nanocomposite films. *International Journal of Materials Research* 2020; 111(3): 197–203.
10. Irmawati Y, Khaerudini DS, Indriyati, Mardiyati, **Yudianti R**. Dispersibility of multiwall carbon nanotube in a polyanionic surfactant based on UV-Vis analysis. *Indonesian Journal of Chemistry* 2020; 20(5):1206–1212.
11. Christwardana M, Handayani AS, **Yudianti R**, Joelianingsih. Cellulose–carrageenan coated carbon felt as potential anode structure for yeast microbial fuel cell. *International Journal of Hydrogen Technology* 2021; 46(8): 6076–6086.
12. Sudarto J, Subagio A, Priyono, Pardoyo, **Yudianti R**, Subhan A. The use of carbon compounds (carbon nanotubes and activated carbon) in the improvement of  $\text{TiO}_2$ -Carbon Supercapacitor Performance. *Makara Journal of Science* 2017; 21(2): 53–58.
13. Sudirman, Indriyati, Adi WA, **Yudianti R**, Budianto E. Structural analysis of platinum nanoparticles on carbon nanotube surface as electrocatalyst system. *International Journal of Chemistry* 2017; 9(2): 60–66.
14. **Yudianti R**, Syampurwadi A, Onggo H, Karina M, Uyama H, Azuma J. Properties of bacterial cellulose transparent film regenerated from dimethylacetamide-LiCl solution. *Polymers Advanced Technology* 2016; 27(8): 1102–1107.

15. Shim H, Karina M, **Yudianti R**, Indrarti L, Azuma J, Uyama H. One-sided surface modification of bacterial cellulose sheet as 2, 3-dialdehyde. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 2015; 54(3): 305–309.
16. Shim H, Xiang X, Karina M, Indrarti L, **Yudianti R**, Uyama H. One-dimensional shrinkage and swelling of crosslinked bacterial cellulose gel. *Chemistry Letters* 2016; 45(3): 253–255.
17. Subagio A, Priyono, Pardoyo, Aswardi, Yudianti R, Subhan A, Taer E. AC-MnO<sub>2</sub>-CNT composites for electrodes of electrochemical supercapacitors. *Material Science Forum* 2015; 827: 113–118.
18. **Yudianti R**, Onggo H, Syampurwadi A. Molecular conformation of nafion ionomer on electrocatalyst layer prepared by screen printing technique. *International Journal of Electrochemical Science* 2014; 9(6): 3047–3059.
19. Erizal, Sudirman, Budianto E, Mahendra A, **Yudianti R**. Radiation synthesis of superabsorbent poly (acrylamide-co-acrylic acid)-sodium alginate hydrogels. *Advanced Materials Research* 2013; 746: 88–96.
20. Karina M, Indrarti L, **Yudianti R**, Indriyati. Effect of castor oil impregnation on the physical and mechanical properties of bacterial cellulose. *Polymers from Renewable Resources* 2012; 3(1): 13–26.
21. Karina M, Indrarti L, **Yudianti R**, Indriyati, Syampurwadi A, Widodo H. Impact of esterified palm oil impregnation on bacterial cellulose properties. *Polymers from Renewable Resources* 2012; 3(4): 139–152.
22. Karina M, Indrarti L, **Yudianti R**, Indriyati, Syampurwadi A. Alteration of bacterial cellulose properties by diacetyl glycerol. *Procedia Chemistry* 2012; 4: 268–274.
23. Indriyati, **Yudianti R**, Karina M. Development of nanocomposites from bacterial cellulose and poly(vinyl alcohol) using casting-drying method. *Procedia Chemistry* 2012; 4: 73–79.



24. Azuma J, Tsubaki S, Sakamoto M, **Yudianti R**, Hermiati E. Refinery of biomass by utilization of spesific effects of microwave irradiation. *Procedia Chemistry* 2012; 4: 17–25.
25. **Yudianti R**, Onggo H, Indriyati, Sudirman. Role of catalytic synthesis on growth and distribution of platinum nanoparticle on carbon nanotube surface. *Nanoscience and Nanotechnology* 2012; 2(6): 171–177.
26. Indriyati, **Yudianti R**, Indrarti L. Development of bacterial cellulose/activated carbon composites prepared by in situ and cast-drying methods. *Asian Transactions on Basic & Applied Sciences* 2012; 02(05): 21–24.
27. **Yudianti R**, Onggo H, Sudirman, Saito Y, Iwata T, Azuma J. Analysis of functional group sited on multi-wall carbon nanotube surface. *The Open Materials Science Journal* 2011; 5: 242–247.
28. **Yudianti R**, Karina M, Sakamoto M, Azuma J. Precise structure of acidic polysaccharide resent in salvia hydrogel. *Wood Research Journal* 2010; 1(2).
29. **Yudianti R**, Indrarti L, Onggo H. Thermal behavior of purified multi walled carbon nanotube. *Journal of Applied Science* 2010; 10(17): 1978–1982.
30. **Yudianti R**, Karina M, Sakamoto M, Azuma J. Effects of salts on rheological behaviour of salvia hydrogels. *Macromolecular Research* 2009; 17(5): 332–338.
31. **Yudianti R**, Karina M, Sakamoto M, Azuma J. DSC analysis on water state of salvia hydrogels. *Macromoeclar Research* 2009; 17(12): 1015–1020.
32. **Yudianti R**, Indrarti L. Effect of water soluble polymers on structure and mechanical properties of bacterial cellulose composite. *Journal of Applied Sciences* 2008; 8(1): 1–3.
33. **Yudianti R**, Indrarti L, Karina M, Sakamoto M, Azuma J. Chemical composition of hydrocolloids produced from nutlets of salvias. *Journal of Tropical Wood Science and Technology* 2007; 5(1): 12–15.

34. **Yudianti R**, Indrarti L, Azuma J. Structure and physical properties of natural gellous material. *Journal of Applied Science* 2007; 7(4): 580–584.
35. Indrarti L, **Yudianti R**. Loudspeaker membran from nata de coco. *Majalah Cocoinfo International* 2001; 8(1).

### **Jurnal Nasional**

36. **Yudianti R**, Indrarti. Effect of sodium hydroxide on the morphological and structural biocellulose. *Majalah Teknologi Indonesia* 2015; 18(2).
37. **Yudianti R**, Ginting J, Sudirman, Budianto E, Dewi R. Synthesis and characterization of polyimide end group maleic as membrane of electrolyte in proton exchange membrane fuel cell. *Majalah Polimer Indonesia* 2014; 17(1): 33–39.
38. Subagio A, Priyono, Pardoyo, **Yudianti R**. Sintesis dan karakterisasi material nanokomposit CNT/MnO<sub>2</sub> untuk aplikasi material superkapasitor. *Jurnal Pendidikan Fisika* 2014; 10(1).
39. Subagio A, Pardoyo, Priyono, **Yudianti R**, Rowi K, Taufiq MI. Pemurnian carbon nanotubes menggunakan larutan HNO<sub>3</sub> dengan metode Pencucian biasa dan reflux. *Jurnal Fisika Indonesia* 2013; 17(49): 1–4.
40. Onggo H, **Yudianti R**, Ruchyat E. Influence of functionalized multi-walled carbon nanotubes on filterability and mechanical properties of rayon nanocomposite filament. *Jurnal Selulosa* 2013; 3(1): 27–34.
41. Onggo H, **Yudianti R**. The Effect of alkali treatment on the structure of bacterial cellulose. *Jurnal Teknologi Indonesia* 2012; 2: 34(1): 37–42.
42. Indrarti L, **Yudianti R**. Morphological and thermal properties of alkali treated bacterial cellulose from coconut water. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 2012; 13(3): 221–225.
43. Irmawati Y, Indriyati, Onggo H, **Yudianti R**. Kajian kinerja polymer electrolyte membrane fuel cell open chatode terhadap variasi

tegangan kipas katoda dan variasi laju alir hidrogen. *Jurnal Sains dan Materi Indonesia* 2012; 13(3): 216–220.

44. **Yudianti R**, Onggo H, Syampurwadi A. Pengaruh konstanta dielektrik dan dispersitas partikel terhadap hidrofobisitas elektrokatalis berbasis carbon nanotube. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 2012; 14(1): 24–28.
45. **Yudianti R**, Onggo H. The effect of Pt loading on electrochemical performance of CNT-based electrocatalyst. *Jurnal Teknologi Indonesia* 2012; 37(3): 154–160.
46. Azuma J, Tsubaki S, **Yudianti R**, Karina M. Characterization of cuticle layer of *ilex latifolia*. *Journal of Indonesian Wood Research Society* 2010; 1(1): 56–63.
47. **Yudianti R**, Oemry F, Indrarti I, Onggo H. Analysis of crushed multi-walled carbon nanotubes. *Indonesian Journal of Material Science* 2010; 11(2): 99–102.
48. **Yudianti R**, Karina M, Sakamoto M, Azuma J. Thermal stability of gellouse polysaccharide present in basil and salvia nutlets. *Indonesian Wood Journal XII* 2009.
49. **Yudianti R**, Karina M, Azuma J. Rheological behaviour of salvia hydrogel at temperature and ph variation. *Journal of Indonesia Technology. Majalah Teknologi Indonesia* 2007; 30(2): 71–74.
50. **Yudianti R**, Amurwabumi K, Syampurwadi A. Mechanical and absorption properties of nafion membrane. *Buletin IPT* 2003; IX(1).
51. **Yudianti R**, Amurwabumi K, Rusnaeni N. Characterization of electrolyte and electrode proton exchange membrane fuel cell. *Telaah* 2002; 23(0204).
52. **Yudianti R**, Indrarti I, Amurwabumi K. Effect of sodium hydroxide and sodium hipochlorit on elastic modulus, sound velocity and loss factor of bacterial cellulose sheet. *Buletin IPT. II*(1).
53. Indrarti L, **Yudianti R**. Application of bacterial cellulose as an acoustic membran. *Indonesian Journal of Biotechnology* 1997.

54. **Yudianti R**, Amurwabumi K, Rusnaeni N. Pengaruh tegangan dan waktu poling terhadap konstanta piezoelektrik dari film PVDF yang ditarik. *Buletin IPT* 1996; 1(11).
55. Nenen R, **Yudianti R**, Nilyardi K, Kreshna A. Pengaruh proses penarikan dan poling terhadap konstanta piezoelektrik d31 PVDF. *Telaah Jilid* 1995; XVI(1).

### **Prosiding Internasional**

56. Sudirman, Subhan Z, Indriyati, **Yudianti R**, Mahendra. Synthesis and characterization of polyurethane-based X-ray shielding based with  $Pb_3O_4$  filler. *Journal of Physics: Conf. Series* 2021.
57. Tri YR, Irmawati Y, Destyorini F, Yudasari N, Syampurwadi A, Aryanto A, Isnaeni, **Yudianti R**. UV photoactivity of a flexible ZnO hybrid photocatalyst grown on a conductive cellulose-based substrate. *Journal of Physics: Conf. Series* 2021.
58. Tri YR, Irmawati, Destyorini F, Hardiansyah A, **Yudianti R**, Satriya OH. Facile glycine-assisted synthesis of non-noble metal Fe-N/C electrocatalyst for oxygen reduction reaction. *ECS International Conference* 2020.
59. Maghfirah A, **Yudianti R**, Fauzi, Sinuhaji P, Ganda HL. Preparation of poly(vinyl) alcohol – multiwalled carbon nanotubes nanocomposite as conductive and transparent film using casting method. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 2018; 1116.
60. Syampurwadi A, Onggo H, Indriyati, **Yudianti R**. Performance of pem fuel cells stack as affected by number of cell and gas flow-rate. *The 1st International Symposium on Green Technology for Value Chains* 2017; 60.
61. Onggo H, Irmawati Y, **Yudianti R**. Comparative studies on performance of single cell and PEMFC stack. *AIP Conference Proceedings* 2016; 1711(1).
62. **Yudianti R**, Indrarti L, Sakamoto M, Azuma J. Digestability of cellulosic hydrocolloid by termite *captotermes formosanus shira-*

- ki. Proceeding of the 5th Conference of the Pasific Rim Termite Research Group 2008.
63. **Yudianti R**, Indrarti L, Sakamoto M, Azuma J. Cellulose-hemicellulose present in hydrocolloids from *Salvia* spp. Proceeding of the 6th International Wood Science Symposium Bali 2005;199–204.
  64. Indrarti L, **Yudianti R**, Sakamoto M, Azuma J. Hemicellulose polysaccharide present in the cellulosic hydrogel of ocimum seed. Proceeding of The 6th International Wood Science Symposium Bali 2005.
  65. **Yudianti R**, Indrarti L, Sakamoto M, Azuma J. Morphological properties of seed coat of *Salvia* spp. Proceeding of The 5th International Wood Science Symposium, Kyoto-Japan 2004; 199–204.
  66. Indrarti L, **Yudianti R**, Sakamoto M, Azuma J. Characterization and properties of cellulose hydrogel from various kinds of basil plants in indonesia. Proceeding of The 5th International Wood Science Symposium, Kyoto-Japan 2004.
  67. Indrarti L, **Yudianti R**, Sakamoto M, Azuma J. Gellous cellulose-hemicellulose composite of ocimum americanum seed. Proceedings The Fourth International Wood Science Seminar 2002.
  68. Amurwabumi K, **Yudianti R**, Indrarti L. The intensity distribution in front of cone type speaker made of natural biocellulose membrane. Proceedings of the Fifth Asian Symposium on Visualization 2002; 18–4.
  69. Indrarti L, **Yudianti R**, Sakamoto M, Azuma J. Effect of lignin on composite formation of bacterial cellulose with hemicellulose. Proceedings The Third International Wood Science Seminar 2000.
  70. **Yudianti R**, Indrarti L, Sakamoto M, Azuma J. Importance of glucomannan on composite formation of bacterial cellulose with hemicellulose. Proceedings The Third International Wood Science Seminar 2000.
  71. **Yudianti R**, Indrarti L, Sakamoto M, Azuma J. Glucose residues in hemicellulosic polysaccharides are responsible for affinity to

cellulose in bacterial cellulose composite. Proceedings The Second International Wood Science Seminar 1998.

72. Indrarti L, **Yudianti R**, Sakamoto M, Azuma J. Affinity of native hemicelluloses for cellulose produced by acetobacter xylinum. Proceedings The Second International Wood Science Seminar 1998.
73. **Yudianti R**, Rusnaeni N, Amurwabumi K. Pengaruh varasi konsentrasi pelarut terhadap konstanta piezoelektrik. Prosiding Nasional 1996; XVI.

### **Prosiding Nasional**

74. Hardiansyah A, Irmawati Y, Destyorini F, Widodo H, Indayaningsih N, Khaerudin DS, **Yudianti R**. Preliminary study of preparation and characterizations of carbon-based materials-embedded on nanocomposites fiber for smart textile applications. Prosiding Indonesia Tekstil 2019.
75. Onggo H, **Yudianti R**, Indriyati. Pembuatan dan karakterisasi gas diffusion electrode. Prosiding Seminar Nasional Ilmu Pengetahuan Teknik 2012; 52–56.
76. Indrarti L, **Yudianti R**, Rahimi E, Karyaningsih I, Garnida Y. Edible fim berbasis bioselulosa. Proceedings of Hasil Litbang Iptek IV 2008.
77. **Yudianti R**, Amurwabumi K. Laju overpotensial sebagai akibat penarikan arus listrik terhadap temperatur pembuatan MEA (PEMFC). Prosiding Himpunan Fisika XX 2004; 336–344.
78. Amurwabumi K, **Yudianti R**. Ketergantungan kinerja fuel cell terhadap temperatur kinerjanya (PEMFC). Prosiding Himpunan Fisika XX 2004;199–207.

### **Paten**

79. Sudirman, Karo KA, Anggaravidya M, **Yudianti R**, Fisli A, Sukaryo SG, Yulianti E, Mardiyanto, Sumirat I, Salam R, Sujatno A. Pintu radiasi sinar x berbasis polimer poliuetan dan proses pembuatannya. No. P00202110744. 2021.

80. Destyorini F, Ardiansyah A, Irmawati Y, Indayaningsih N, **Yudianti R**, Khaerudini DS, Widodo H, Chaldun ER. Metode pembuatan karbon grafitik dari serat sabut kelapa terimobilisasi partikel nikel. No. S000201810154. 2018.
81. Sri ADG, Cahya MP, **Yudianti R**, Sri EE, Putu HID, Hidayat DN. Nanobiomaterial as streptomyces sp strain tt10-based antiphytopatogen against tropical fruit Disease. No. P00201706637. 2017.
82. Indayaningsih N, Destyorini F, Gumilar DA, Khaerudini DS, Insiyanda DR, Widodo H, **Yudianti R**, Rosyid RM. Fabrication of natural carbon-based gas diffusion layer. No. P00201708581. 2017.
83. Onggo H, Pujiastuti S, Syampurwadi A, Indriyati, Chaldun ER, **Yudianti R**, Widodo H, Indayaningsih N, Hendrana S, Irmawati Y, Destyorini F, Insiyanda DR. Fabrication method of membrane electrode assembly. No. P00201608794. 2016.
84. Syampurwadi A, Onggo H, Pujiastuti S, Indriyati, Chaldun ER, **Yudianti R**, Widodo H, Indayaningsih N, Hendrana S, Irmawati Y, Destyorini F, Insiyanda DR, Amin, Pratama M. Development of portable proton exchange membrane fuel cell. No. P0020160879. 2016.
85. Syampurwadi A, Onggo H, Indriyati, Pujiastuti S, Chaldun ER, **Yudianti R**, Widodo H, Indayaningsih N, Hendrana S, Irmawati Y, Destyorini F, Insiyanda DR, Amin, Pratama M. Proton exchange membrane fuel cell portable. No. P00201608795. 2016.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### A. Data Pribadi

Nama	: Dr. Rike Yudianti
Tempat Tanggal lahir	: Majalengka, 21 Juli 1968
Anak ke	: Lima dari enam bersaudara
Nama Ayah Kandung	: H. Soekarman Prijohartono (Alm.)
Nama Ibu Kandung	: Hj. Siti Kartisih (Alm.)
Nama Suami	: Drs. Winardi
Jumlah Anak	: 2 (dua)
Nama Anak	: 1) Fajar Abdurrahman, M.T. 2) Ayu Hanifah
Nama Instansi	: Pusat Riset Fisika BRIN
Judul Orasi	: Pengembangan Nanokomposit Berbasis Nanoselulosa dan Nanokarbon sebagai Material Fungsional
Bidang Kepekaran	: Teknik Material
Nomor SK Pangkat Terakhir	: 41/K Tahun 2018
Nomor SK Peneliti Utama	: 3/M Tahun 2022



## B. Pendidikan Formal

No	Jenjang	Nama Sekolah/PT	Tempat/Tahun
1	SD	SDN Kebon Baru I	Cirebon 1981
2	SLTP	SMP Negeri 3	Cirebon 1984
3	SLTA	SMA Negeri 2	Cirebon 1987
4	S1	ITB	Bandung 1992
5	S3	Kyoto University	Jepang 2010

## C. Pendidikan Nonformal

No	Training/Kursus	Tempat	Tahun
1	Training on <i>Nanoparticle Size Analyzer the Life of Particle Characterization in a Day It's Everywhere</i>	Bandung	2011
2	Training on <i>Thermal Analyser</i>	Jakarta	2011
3	Training on Trainer	Cibinong	2012–2017
4	Training on <i>Research and Development Management–Preparing for the Future</i>	Subang	2012
5	Training on <i>Technology Readiness Level</i>	Bandung	2012
6	Training on <i>Application for X-ray Diffraction and Energy Dispersive Analysis</i>	Jakarta	2012
7	Training on <i>Exploring the Soft Matter at Nanometer Scale by Small Angle Scattering (SAXS and SANS)</i>	Serpong	2012
8	Training of Drafting paten level I	Bandung	2012
9	Training of <i>Leadership Development Program (LDP)</i>	Belanda	2014

No	Training/Kursus	Tempat	Tahun
10	Training on <i>Taylor Made Course on Fabrication on Solar Module Based on Dye Sensitized Solar Cell</i>	Swedia	2016
11	Workshop on <i>Electron and Ion Beam Microscopy Characterization of Nanotechnology Materials</i>	Serpong	2017
12	Training on <i>the Workshop Advanced Photovoltaic Technology</i>	Bandung	2018
13	Training on <i>X-ray Diffraction of Structural Material Analysis</i>	Jerman	2019

#### D. Jabatan Struktural

No	Jabatan	Tahun
1	Kepala Loka Penelitian Teknologi Bersih	2016
2	Kepala Pusat Penelitian Fisika	2017–2021

#### E. Jabatan Fungsional

No	Jenjang Jabatan	TMT
1	Ajun Peneliti Muda	1999
2	Ajun Peneliti Madya	2004
3	Peneliti Ahli Muda	2005
4	Peneliti Ahli Madya	2009
5	Peneliti Ahli Utama	2017

#### F. Penugasan Khusus Nasional /Internasional

No	Jabatan	Pemberi Tugas	Tahun
1	Ketua PME Satuan Kerja	P2 Fisika LIPI	2012–2014
2	Ketua PME IPT	Kedep. IPT LIPI	2014–2016

Buku ini tidak diperjualbelikan.

<b>No</b>	<b>Jabatan</b>	<b>Pemberi Tugas</b>	<b>Tahun</b>
3	Dewan Juri National Young Inventor Award	LIPI	2013&2018
4	Tim Penyusun Pedoman Alih Teknologi dan Inkubator LIPI	LIPI	2015
5	Tim Penyusun Pedoman Penyelenggaraan FGD/ Diseminasi/Workshop/ Sosialisasi Nasional di Lingkungan LIPI	LIPI	2015
6	Tim Penyusun Renstra LIPI 2015–2019	LIPI	2014–2015
7	Ketua Tim Penyusun Naskah Akademik Reorganisasi LPTB LIPI	LIPI	2014–2016
8	Focal Point Sub Committee Material Science and Technology	Ristek & LIPI	2017–sekarang

### **G. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah**

<b>No</b>	<b>Nama Kegiatan</b>	<b>Peran/tugas</b>	<b>Penyelenggara</b>	<b>Tahun</b>
1	Asia Symposium on Material Science and Technology	Pembicara Tamu	Korea Institute of Material Science, Mongolia	2018
2	International Conference on Advances in Science, Engineering, Technology	Pembicara tamu	Research Publishing Limited, Pattaya (Thailand)	2017

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama Kegiatan	Peran/tugas	Penyelenggara	Tahun
3	Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2018	Pembicara tamu	Universitas Pamulang, Serpong	2018
4	Seminar Nasional FMIPA	Pembicara Tamu	Universitas Negeri Semarang	
5	International Symposium on Frontier of Applied Physics	Pembicara Tamu	Pusat Riset Fisika, Serpong	2018
6	International Symposium on Frontier of Applied Physics	Presenter	Pusat Riset Fisika, Serpong	2021

## H. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No	Jurnal/Majalah/ Prosiding	Penerbit	Peran	Tahun
1	<i>Jurnal Teknologi Barang dan Bahan Teknik</i>	B4T Kemendikperin	Mitra Besari	2013–2017
2	<i>Jurnal Kimia dan Kemasan</i>	BBKK Kemendikperin	Mitra Besari	2013–2017
3	International Conference on Innovation Polymer on Science and Technology 2013	HPI	Mitra Besari	2013
4	<i>Jurnal Sains dan Materi</i>	BATAN	Mitra Besari	2015–2018
5	International Proceeding on 14th QIR “Green and Smart Technology for Sustainable Future”	UI		2015
6	<i>Majalah Polimer Indonesia</i>	HPI	Editor in Chief	2016–2018

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Jurnal/Majalah/ Prosiding	Penerbit	Peran	Tahun
7	International Conference on Innovation in Polymer Science and Technology 2016	HPI	Editor in Chief	2016
8	Macromolecule Sympo- sia	UKM	Mitra Besari	2016
9	The 3rd International Symposium on Green Technology for Value Chains: IOP Conference Series: Earth and Envi- ronmental Science	LIPI	Mitra Besari	2018

### I. Karya Tulis Ilmiah

No	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1	Penulis Tunggal	-
2	Bersama penulis lainnya	85
3	Total	85

No	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1	Bahasa Indonesia	18
2	Bahasa Inggris	67
3	Total	85

### J. Pembinaan Kader Ilmiah

Tahun	Perguruan Tinggi
2014	Institut Teknologi Telkom-S1
2017	Universitas Sumatera Utara-S1
2017	Universitas Islam Nusantara-S1

Buku ini tidak diperjualbelikan.

<b>Tahun</b>	<b>Perguruan Tinggi</b>
2021–sekarang	Universitas Ahmad Dahlan
2015–2017	Universitas Indonesia–S3
2016–2017	Institut Teknologi Bandung – S2
2021–sekarang	Institut Teknologi Bandung – S3
2019–sekarang	Osaka University – S3

### **K. Organisasi Profesi Ilmiah**

<b>No</b>	<b>Kedudukan</b>	<b>Organisasi</b>	<b>Tahun</b>
1	Sekretaris Anggota	Himpunan Fisika Indonesia	1996–2000
2	Anggota	Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia	2009–2013
3	Anggota	Masyarakat Nano Indonesia	2012–2014
4	Anggota	Perhimpunan Polimer Indonesia	2013–2015
5	Anggota	Perhimpunan Peneliti Indonesia	2018–sekarang
6	Deputi II	Perhimpunan Polimer Indonesia	2018–sekarang

### **L. Tanda Penghargaan**

<b>No</b>	<b>Nama Penghargaan</b>	<b>Pemberi Penghargaan</b>	<b>Tahun</b>
1	Satyalencana X	Presiden RI	2004
2	Satyalencana XX	Presiden RI	2014
3	Satyalencana Wirakarya	Presiden RI	2019

## M. Koordinator Kerja Sama/*Fellowship*

<b>Tahun</b>	<b>Program/Kerja Sama/Judul</b>	<b>Pemberi Dana</b>
2003–2004	Fabrication of Strategic Material for Proton Exchange Membrane	TWAS
2009–2013	Pt Deposition Technique on Carbon Nanotube Surface	Kompetitif LIPI
2018–2019	Carbon Nanotube Embedded in Polymer Matrix For Functional Nanocomposite Application pada “4 Asia Countries Program – Korea Institute of Material Science	Korea Institute of Material Science
2018–2022	Energy-related Materials on the Basis of Bio-based Polymers	Osaka University
2019–2020	Development of Nanocellulose supported metal oxide/metal sulphide nanocomposites for photo catalytic and energy conversion applications “	ASEAN
2021–sekarang	LIPI-JSPS Bilateral Project Development of Biomass-Derived Porous Carbon Material for Battery Applications	JSPS-LIPI



Diterbitkan oleh:  
**Penerbit BRIN**  
**Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah**  
Gedung B.J Habibie, Jln. M.H. Thamrin No. 8,  
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,  
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340  
Whatsapp: 0811-8612-369  
*E-mail:* [penerbit@brin.go.id](mailto:penerbit@brin.go.id)  
*Website:* [penerbit.brin.go.id](http://penerbit.brin.go.id)

DOI: 10.14203/press.431



ISBN 978-623-7425-58-8



Buku ini tidak diperjualbelikan.