

**NANOKIMIA YANG BERKELANJUTAN
(*SUSTAINABLE NANOCHEMISTRY*) UNTUK REVITALISASI
PEWARNA ALAMI MENUJU KESEJAHTERAAN MANUSIA DAN
KELESTARIAN LINGKUNGAN**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam Bidang Ilmu Kimia
pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Gadjah Mada**

**Disampaikan pada Pengukuhan Guru Besar
Universitas Gadjah Mada
Tanggal 30 November 2023**

**Oleh
Prof. Indriana Kartini, S.Si., M.Si., Ph.D.**

Bismillaahirrohmaanirrohiim

Assalaamu'alaykum wa rahmatullaahi wa barakaatuh, salam sejahtera untuk kita semua. Puji syukur kita panjatkan kepada Allah, yang Maha Memberi hidayah, dan Kesehatan sehingga kita berkesempatan bertemu pada hari ini. Sholawat dan salam untuk Nabi Muhammad SAW.

Yang saya hormati,

Ketua, Sekretaris, dan seluruh anggota Majelis Wali Amanat Universitas Gadjah Mada;

*Rektor dan para Wakil Rektor Universitas Gadjah Mada beserta jajarannya;
Ketua dan Sekretaris Senat Akademik beserta seluruh anggota Senat Akademik Universitas Gadjah Mada;*

Ketua dan Sekretaris beserta seluruh anggota Dewan Guru Besar Universitas Gadjah Mada;

Para Dekan dan Wakil Dekan Universitas Gadjah Mada,

Ketua dan Sekretaris beserta seluruh anggota Senat Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada;

*Dosen, tenaga kependidikan, mahasiswa, serta alumni Universitas Gadjah Mada;
Bapak dan ibu, para sahabat, keluarga, dan semua yang hadir, baik secara luring maupun daring, yang telah menyempatkan waktu untuk hadir pada hari ini.*

Bapak Ibu dan Hadirin yang terhormat,

Kemajuan teknologi berjalan seiring dengan kemajuan sains dan peradaban manusia. Dari masa revolusi industri hingga era industri 4.0 yang mendasarkan pada kemajuan teknologi digital, dan kemudian menuju era *society* 5.0. Di abad XX, satu di antara terobosan dalam dunia sains dan teknologi adalah nanosains dan nanoteknologi. Bagaimana relevansinya di abad ini?

Eksistensi nanoteknologi di abad XXI, mengingatkan pada diskusi tentang dua tipe teknologi yaitu teknologi yang mengelola atom dan molekul secara masal kemudian disebut teknologi ruah (*bulk technology*) dan teknologi yang mengelola atom dan molekul dengan kontrol dan presisi, kemudian disebut teknologi molekul (*molecular technology*) yang dibahas oleh Drexler pada tahun 1986 [Drexler, 1986]. Drexler menyatakan bahwa kita dapat menggunakan istilah nanoteknologi atau teknologi molekul, secara bergantian. Hal ini menunjukkan bahwa landasan nanoteknologi adalah ilmu yang mempelajari atom dan molekul beserta interaksinya, yang tidak lain adalah ilmu Kimia. Ilmu Kimia dengan kekhususan pada kajian material di skala ukuran nanometer (nanokimia) dapat diterapkan untuk meningkatkan potensi sumber daya alam Indonesia. Satu di antara potensi sumber daya alam Indonesia yang potensial untuk ditingkatkan nilai dan fungsinya adalah pewarna alami. Pendekatan kimia menuju aspek kesejahteraan manusia dan kelestarian lingkungan mengarahkan nanokimia dengan konsep kimia hijau (*sustainable chemistry*). Oleh karena itu, pada pengukuhan saya sebagai Guru Besar dalam bidang ilmu Kimia hari ini, mohon perkenannya untuk menyampaikan pidato dengan judul:

NANOKIMIA YANG BERKELANJUTAN
(SUSTAINABLE NANOCHEMISTRY) UNTUK REVITALISASI
PEWARNA ALAMI MENUJU KESEJAHTERAAN MANUSIA DAN
KELESTARIAN LINGKUNGAN

Pembahasan meliputi sejarah nanokimia diikuti oleh peran nanokimia berkelanjutan dalam revitalisasi pewarna alami melalui produksi sandang cerdas multifungsional, hingga fotosensitizer sel surya terpekat zat pewarna (*Dye-sensitized solar cells, DSSC*) serta terapi fotodinamik (*Photodynamic therapy, PDT*) berbasis pemeka cahaya pewarna alami untuk pengobatan prospektif penyakit kanker non-operatif.

Bapak/Ibu hadirin yang saya muliakan,

Berawal dari nanosains (*nanoscience*) yang didefinisikan sebagai kajian tentang materi pada skala nanometer, dan nanoteknologi adalah teknologi yang melibatkan penggunaan material berukuran dalam skala nanometer ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), maka pengembangan nanosains dan nanoteknologi berlandaskan pada pendekatan kimia hijau sehingga disebut nanokimia berkelanjutan (*sustainable nanochemistry*). *Sustainable nanochemistry* adalah pendekatan dalam ilmu kimia yang berfokus pada pengembangan dan penggunaan nanomaterial secara berkelanjutan dan ramah lingkungan. Tujuan utamanya adalah untuk memastikan bahwa pengembangan, produksi, dan aplikasi nanomaterial tidak merusak lingkungan atau mengganggu kesehatan manusia, tanpa mengabaikan dampak sosial yang muncul. Dengan konsep keberlanjutan, nanokimia diarahkan untuk menghasilkan nanoteknologi yang dapat mendukung keberlanjutan jangka panjang, mengurangi dampak negatif, dan mempromosikan manfaat positif bagi kesejahteraan masyarakat dan lingkungan menuju bumi lestari.

Struktur nano merupakan inti dalam pengembangan material dan nanoteknologi. Efek bentuk dan ukuran kuantum nanomaterial memberikan peluang aplikasi dalam semua aspek kehidupan yang meliputi aspek energi, sandang, pangan, kesehatan, hingga peranti elektronik. Rekayasa struktur nano melibatkan manipulasi dan pengendalian struktur kimia material pada skala nanometer untuk mencapai sifat dan kinerja yang diinginkan. Ilmu Kimia berperan penting dalam pengembangan struktur nano, yang meliputi pengarahan morfologi, manipulasi struktur, reaktivitas permukaan, proses swa-tata (*self-assembly*), dan rekayasa interaksi komponen untuk pembentukan komposit nano. Melalui pemahaman ilmu Kimia, sangat dimungkinkan untuk melakukan pengendalian sifat material berstruktur nano dengan sifat yang ditingkatkan atau bahkan sifat baru yang tidak ditemui pada skala ukuran material yang lebih besar. Perubahan yang tidak biasa yang tidak bisa diprediksi menggunakan model mekanika klasik, akan diperoleh pada skala nanometer, seperti perubahan terhadap sifat elektronik, mekanis, magnetik, optik serta reaktivitas kimia. Nanokimia (*nanotechnology*) merupakan sub-disiplin yang sedang berkembang dalam ilmu kimia dan material yang terkait dengan pengembangan metode baru untuk membuat material berukuran nanometer.

Pada dasarnya sains dan nanoteknologi telah ada dan diterapkan sejak lama. Para pengrajin gerabah telah menggunakan nanomaterial, yaitu tanah liat atau lempung (*clays*), selama lebih dari 17.000 tahun. Lempung mempunyai sifat mudah dibentuk dan mempunyai suhu sintering yang rendah, sehingga biaya produksi gerabah menjadi tidak mahal. Hal tersebut disebabkan struktur lempung yang berada pada skala nanometer. Molekul air menjadi pelumas gesekan antara *nanoslab* lempung, yang reologinya dikendalikan oleh keasaman sistem. Keberadaan ukuran nanometer pada struktur lempung mempercepat laju difusi ion-ion, sehingga meningkatkan reaktivitas dan sintering [Colomban, 2009].

Piala *Lycurgus* dari abad ke-4 jaman Romawi kuno, yang kini tersimpan di Museum Inggris secara tidak sengaja dibuat menggunakan nanoteknologi. Piala tersebut bersifat unik, karena warnanya dapat berubah-ubah (kaca dikroik) menjadi merah atau hijau bergantung pada arah cahaya yang mengenai. Warna dikroik tersebut diperkirakan karena keberadaan sejumlah runtu kristal nano perak (Ag) atau emas (Au) dan kemungkinan juga tembaga (Cu) yang tersebar dalam matriks kaca. Demikian juga ubin tunggal (*tesserae*) merah yang digunakan dalam mozaik Romawi terbuat dari kaca dengan sebaran nanokristal Cu. Teknik ini digunakan secara berkelanjutan hingga saat ini [Colomban, 2009]. Penggunaan lempung dan keberadaan nano emas atau perak atau tembaga dalam piala *Lycurgus* tersebut membuktikan bahwa capaian pengembangan nanomaterial dewasa ini adalah bentuk *update* dari pengetahuan di masa lampau yang melibatkan pengetahuan kimia.

Bapak/Ibu, hadirin yang saya hormati,

Berikutnya, saya meninjau penggunaan nanokimia yang berkelanjutan di bidang sandang sebagai bagian penting kehidupan dan kesejahteraan manusia. Kesadaran manusia terhadap lingkungan yang sehat telah menghidupkan kembali minat pada produk sandang yang menggunakan pewarna alami. Nanokimia dapat diterapkan dalam mewujudkan produk sandang pewarna alami dengan sifat multi-fungsi, yang meliputi sandang pewarna alami yang mempunyai sifat anti-bakteri, anti-air, anti-noda, perlindungan UV, penghambat api, dan peningkatan kemampuan pewarna alami terhadap sifat luntur (Verma *et al.*, 2021).

Nanokimia berkelanjutan untuk revitalisasi pewarna alami melalui produksi sandang multifungsi (*multifunctional textiles*)

Keuntungan menggunakan pewarna alami untuk sandang terletak pada kehalusan dan kelembutan warna. Produk ini sangat dihargai dan dipertahankan karena mencerminkan keindahan, prestise, dan struktur budaya yang keberadaannya tidak dapat digantikan oleh pewarna sintetis. Kekayaan sumber daya hayati Indonesia seperti sumber pewarna alami, sampai saat ini kurang tersentuh nanoteknologi. Rekayasa atomik-molekular menuju ukuran nanometer dapat menjadikan pewarna alami berjiwa baru yang lebih atraktif. Pewarnaan kain

menggunakan pewarna alami dari ekstrak kunyit dan kulit delima yang telah direkayasa sehingga mempunyai ukuran nanometer [Ragheb *et al.*, 2017; Ragheb *et al.*, 2019; Baig, *et al.*, 2021] telah menunjukkan penggunaan nanopartikel pigmen dalam proses tekstil, khususnya proses pewarnaan. Rekayasa ukuran pewarna alami menjadi nanopartikel dilakukan melalui teknik pengadukan ultrasonik. Penggunaan nanopartikel pewarna alami tersebut telah terbukti mengurangi penggunaan air dan mordan (bahan kimia tambahan untuk memperkuat warna) dalam proses pewarnaan, sehingga memberikan dampak positif untuk lingkungan lestari. Hal ini menunjukkan potensi pembangkitan kembali pewarna alami dapat terjadi melalui akad dengan nanoteknologi untuk membentuk sandang multifungsi. Integrasi nanokimia berkelanjutan pada sandang pewarna alami dapat meningkatkan fungsi dan keberlanjutannya.

Fenomena permintaan pasar terhadap produk sandang mulai bergeser dari sandang konvensional menuju sandang multifungsi yaitu sandang yang mempunyai nilai tambah fungsional baru dengan adanya proses tambahan menggunakan teknologi. Secara umum, sandang fungsional pewarna alami melalui penerapan nanokimia sebagai material pelapis (*coating technology*) atau ditanamkan (*embedded system*) ke dalam serat kain, diharapkan mempunyai keunggulan sifat yang meliputi: (i) stabil terhadap kerusakan mekanis, kimia, fotokimia atau panas, (ii) tahan terhadap bakteri, air, kotoran tanah dan minyak, (iii) mempunyai sifat serapan dan emisi cahaya dari rentang daerah UV sampai ke daerah IR (inframerah), (iv) mempunyai konduktivitas listrik yang cukup baik, terutama untuk penerapan sebagai material anti-statik dan pelindung elektromagnetik, (v) mudah untuk diimobilisasi dengan spesies aktif seperti biosidal dan terapeutik. Di sisi lain, sandang fungsional tetap harus memiliki sifat-sifat produk konvensional, seperti ketahanan warna terhadap proses pencucian dan paparan cahaya matahari. Satu di antara sandang multifungsional adalah sandang anti-bakteri yang sering disebut sebagai *biocidal textile*.

Riset di UGM terkait dengan sandang multifungsi sudah dimulai sejak tahun 2007 di Fakultas MIPA, khususnya *biocidal textile* melalui penggunaan kitosan sebagai material pelapis yang bersifat anti-bakteri pada kain katun [Kartini dan Andriani, 2007; Kartini, 2015]. Sol nano silika kemudian dikembangkan untuk meningkatkan sifat ketahanan luntur pewarnaan kain menggunakan pewarna alami biru dari ekstrak tanaman indigo dan coklat dari ekstrak kulit kayu tingi [Kartini *et al.*, 2021]. Kitosan sebagai bahan yang bersifat anti-bakteri tetap digunakan, dikombinasikan dengan nanosol silika [Kartini *et al.*, 2021]. Fungsional yang lain berupa pelapisan titania (TiO₂) diberikan untuk memberikan sifat anti-radiasi sinar UV pada kain untuk melindungi kulit manusia [Kartini *et al.*, 2018] serta memberikan sifat ketahanan luntur karena pengaruh cahaya, yang disertai dengan pengembangan formulasi sol nanokomposit kitosan-TiO₂ sebagai material anti-bakteri dan anti-jamur pada kain.

Material nanokomposit kitosan-TiO₂ memberikan aktivitas mematikan bakteri

(*bactericidal*) terhadap *E. coli*, *Aspergillus niger* dan *Candida albicans* berturut-turut mencapai 99,96%, 100% dan 78,30%. Kain antibakteri tersebut dapat digunakan kembali sampai 8 kali tanpa mengalami penurunan aktivitas antibakterinya. Aktivitas antibakteri pada kain tersebut merupakan kontribusi aktivitas molekuler kitosan dan fotokatalitik nanopartikel TiO₂. Keberadaan nanopartikel TiO₂ juga memberikan sifat proteksi terhadap radiasi UV sekaligus memberikan fungsi *self-decontamination* pada kain.

Rekayasa permukaan menggunakan nanosol silika pada kain batik pewarna alami sehingga bersifat hidrofobik (anti air) juga telah dilakukan untuk memberikan fungsional baru. Kombinasi pelapisan nanosol silika dengan senyawa alkilsilan (*hexadecyltrimethoxysilanes*, HDTMS) pada kain yang diwarnai menggunakan pewarna alami ekstrak kulit kayu tingi menghasilkan sudut kontak air 135° [Kartini dan Hasmarani, 2022]. Permukaan hidrofobik secara tidak langsung memberikan sifat antimikroba. Satu hal yang menarik dari riset tersebut adalah ditemukannya peningkatan sifat hidrofobisitas sebesar 10% pada kain batik yang sudah dilapisi sol nano silika-HDTMS ketika dicuci dengan menggunakan air lerak (*Sapindus rarak*). Penelitian lebih lanjut masih diperlukan untuk menggali potensi lerak sebagai *co-hydrophobic agent* untuk mendapatkan kain *Batik* hidrofobik. Secara komersial, pelapisan anti-mikroba dan anti-air tersebut mempunyai prospek untuk digunakan sebagai *protective gear* pada seragam militer untuk mengatasi kemungkinan paparan bahan kimia toksik yang dipakai sebagai senjata kimia.

Sampai saat ini peningkatan sifat pewarnaan kain menggunakan pewarna alami dikombinasikan dengan nanomaterial masih aktif dilakukan untuk mendapatkan kondisi fabrikasi yang memungkinkan untuk produk masal dan komersialisasi [Reningtyas et al., 2022]. *Biogenic* perak nanopartikel disintesis secara *in-situ* dan *ex-situ* pada kain batik yang menggunakan pewarna alami kuning kecoklatan, yaitu pewarna alami tingi dan ekstrak inti pohon pisang [Alauhdin et al., 2023] untuk menghasilkan kain batik anti-bakteri. Masker batik dengan sifat anti-bakteri dan anti-air juga telah dibuat melalui teknologi pelapisan nanosol silika dan HDTMS [Kartini, 2022].

Seiring dengan kemajuan teknologi digital dan elektronik, serta ilmu material dan nanoteknologi, telah dilaporkan kemajuan signifikan dalam produksi tekstil pintar (*smart textile*), Tekstil pintar, juga dikenal sebagai kain cerdas atau *e-textiles*, yang dirancang dengan melibatkan komponen elektronik terintegrasi, sensor, dan teknologi lainnya. Komponen-komponen ini dapat digunakan untuk memantau, mengirim, dan menerima data, dan dapat ditanamkan dalam tekstil dengan berbagai cara, seperti dengan cara menjalin *in-situ* atau mencetak langsung (*screen-printing*) ke kain [Stoppa et al., 2014; Islam et al., 2022; Nie et al., 2021; Jia dan Zhang, 2023]. Pembentukan komposit pigmen berfluoresensi melalui penambahan nanomaterial *carbon dot* menghasilkan kain cerdas yang bersifat sensorik terhadap ion MnO₄⁻ [Jia dan Zhang, 2023]. Pewarnaan kain dilakukan menggunakan teknik *screen-printing*. Permanganat (MnO₄⁻) adalah oksidan kuat yang secara luas

digunakan dalam pengolahan air dan membunuh bakteri. Namun, penggunaan permanganat yang berlebihan dapat memiliki dampak berbahaya pada kesehatan manusia, seperti kulit terbakar, mutasi DNA, dan neurotoksisitas. Kain sensorik tersebut menunjukkan kontribusi nanokimia untuk kesejahteraan manusia dan kelestarian lingkungan. Dalam konteks riset, tekstil cerdas telah dibuat meliputi tekstil untuk perawatan kesehatan personal, termasuk diagnostik dan terapi misalnya fungsi regulator termal [Cao et al., 2021], sensor ion [Jia dan Zhang, 2023], serta keberlanjutan, termasuk pengumpulan energi [Chen *et al.*, 2020], penyimpanan, dan termoregulasi [Nie *et al.*, 2021; Tat *et al.*, 2022]. Nanokimia menyiapkan nanomaterial khas yang dapat diintegrasikan dengan tekstil yang meliputi fullerene, graphene, CNT (karbon nanotabung), perovskit, nanomaterial logam, nanomaterial dua dimensi, MOFs (*metal-organic framework*), dan nanobiomaterial.

Bapak/Ibu, hadirin yang kami hormati,

Di bagian berikutnya dibahas tentang peran nanokimia yang berkelanjutan untuk bidang energi dengan mengangkat penggunaan pewarna alami sebagai aspek keberlanjutannya dan mengarah pada terciptanya lingkungan lestari.

Nanokimia untuk revitalisasi pewarna alami sebagai fotosensitizer Sel Surya Tersensitisasi Zat Warna (DSSC) dan Terapi Fotodinamik (PDT)

Salah satu terobosan dalam teknologi fotovoltaik adalah penemuan sel fotovoltaik berdasarkan konsep fotoelektrokimia yang menggunakan nanomaterial dan fotosensitizer oleh sekelompok peneliti Swiss [Gratzel dan O'Regan, 1991], yang menjadi populer sebagai sel surya terpeka pewarna (*Dye-sensitized Solar Cell*, DSSC). DSSC terdiri dari lapisan tipis material semikonduktor, yaitu titanium dioksida atau titania (TiO_2), sebagai nanomaterial berpori, senyawa rutenium (Ru) kompleks sebagai fotosensitizer, dan pasangan redoks senyawa iodide-triiodida (I^-/I_3^-) sebagai sistem elektrolit. Kompleks pewarna rutenium memiliki peran dalam menyerap radiasi matahari, yang akan menghasilkan sistem elektron pewarna sehingga mengalir ke material semikonduktor dan terhubung ke sirkuit untuk menghasilkan arus listrik. Elektron tereksitasi dari pewarna segera digantikan oleh elektron yang dihasilkan dari sistem pasangan redoks elektrolit iodide/triiodida.

DSSC didasarkan pada mekanisme alami fotosintesis yang menginspirasi teknologi untuk memanen dan menggunakan sinar matahari terus menerus sebagai sumber energi untuk semua kehidupan di bumi. Sistem DSSC tersusun dari fotoanoda yaitu semikonduktor titania (TiO_2) dan fotokatoda (lapis tipis platina atau karbon) dengan sistem redoks elektrolit iodide/triiodide. Pemanenan sinar matahari membutuhkan fotosensitizer yang memiliki karakter penyerapan seperti benda hitam (*black-body radiation*). Fotosensitizer diadsorpsikan pada fotoanoda. Satu di antara pewarna alami yang telah difungsikan sebagai fotosensitizer dalam DSSC adalah pewarna kompleks rutenium yang menghasilkan efisiensi konversi cahaya

menjadi energi listrik sebesar ~10% [Gratzel dan O'Regan, 1991]. Namun demikian, penggunaan senyawa kompleks rutenium sebagai sensitiser melibatkan preparasi senyawa yang relatif tidak sederhana dan membutuhkan kemurnian tinggi. Selain itu, logam rutenium bersifat toksik sehingga penggunaan jenis sensitiser tersebut tidak mendukung kelestarian lingkungan [Hao *et al.*, 2006]. Oleh karena itu, banyak peneliti melakukan kajian penggunaan pewarna alami sebagai sensitiser yang bersifat ramah lingkungan (nDSSC, *natural-Dye Sensitised Solar Cell* [Yamazaki *et al.*, 2007; Teresita *et al.*, 2010; Zhao *et al.*, 2011]).

Pewarna alami sebagian besar tersusun oleh zat warna senyawa organik yang memiliki karakter koefisien ekstingsi yang tinggi sehingga memberikan aktivitas yang tinggi meskipun digunakan dalam jumlah sedikit. Nilai koefisien ekstingsi yang tinggi juga menunjukkan kemampuan untuk menyerap energi matahari pada daerah UV-Vis dengan intensitas yang tinggi. Selain itu pewarna alami memiliki sifat tidak beracun, ramah terhadap lingkungan dan ketersediaannya melimpah di alam. Umumnya pewarna alami bersumber dari ekstrak bunga, daun, buah dan sayuran. Sumber pewarna alami dari ekstrak buah dan sayuran akan berkompetisi dengan makanan, sedangkan dari ekstrak bunga dan daun memiliki persentase yang kecil sehingga memerlukan sumber dalam jumlah besar [Hao *et al.*, 2006; Kartini dan Hatmanto, 2021]. Oleh karena itu, sumber pewarna alami diarahkan menuju penggunaan tanaman penghasil zat warna yang tidak bersaing dengan sumber makanan dan memiliki persentase kandungan pewarna yang besar.

Beberapa kajian eksplorasi dan rekayasa pewarna alami dan preparasi material fotoanoda telah dilakukan dalam upaya meningkatkan efisiensi sel surya nDSSC. Sejak tahun 2005, tim peneliti [(Kartini *et al.* RUT XII 2005-2006) telah melakukan kajian tentang penggunaan pewarna alami Indonesia dengan fotoanoda TiO₂ (titania) mesopori. Efisiensi sel yang diperoleh masih sangat rendah, berkisar pada besaran 10⁻⁴% [Kartini, 2009]. Pencarian terhadap sensitiser alam yang baik (stabil dan mempunyai pola serapan di daerah cahaya tampak yang lebar) terus berlanjut, meliputi ekstrak antosianin dari buah manggis [Evana *et al.*, 2010], ekstrak klorofil dan turunannya dari daun bayam [Budhi *et al.*, 2010] serta ekstrak xanthophyl dari bunga krisan [Kartini *et al.*, 2015] dan ekstrak biji tanaman biksa [Sasri *et al.*, 2014]. Sayangnya, sel surya pewarna alami mempunyai efisiensi konversi relatif rendah, ~1%. Hal ini merupakan tantangan dalam upaya rekayasa anugrah alam untuk kebaikan alam sendiri.

Strategi selanjutnya adalah memanfaatkan kecanggihan nanoteknologi, yaitu memanfaatkan fitur struktur nano 1 dimensi (1D) seperti *nanofiber*, *nanotube*, *nanorod*; yang memungkinkan adanya jalur tol untuk jalan elektron dari sensitiser menuju *back contact* fotoanoda titania. Struktur nano diterapkan pada fotoanoda titania.

Pencarian terhadap fotoanoda yang sesuai untuk nDSSC telah dilakukan seiring dengan kajian sensitiser alam, meliputi fotoanoda titania mesopori [Kartini *et al.*, RUT 2005-2006; Widiyanti *et al.*, 2007; Budhi *et al.*, 2010], dan titania morfologi nanotabung [Kartini *et al.*, 2014; Kartini *et al.*, 2015a] serta serat titania [Kartini *et*

al., 2015b]. Efisiensi terbaik nDSSC yang diperoleh baru mencapai 0,3%. Kinerja sel *nanotube* titania tiga kali lebih tinggi dari yang dibangun menggunakan nanopartikel titania (P25) menggunakan sensitiser dari ekstrak kulit luar buah manggis [Kartini *et al.*, 2014]. Oleh karena itu pengembangan dengan strategi baru masih diperlukan.

Penemuan lama yang menjadi baru adalah diterapkannya material perovskit untuk DSSC hibrida. Metilamonium timbal(II) iodida (MAPbI₃) adalah material perovskit, ABX₃, dengan kation A adalah kation organik CH₃NH₃⁺, B adalah logam kation Pb²⁺, dan X adalah anion halida seperti I⁻. Material ini memiliki energi celah pita sebesar 1,55 eV, yang setara dengan penyerapan pada panjang gelombang 800 nm sehingga material ini memiliki sifat serapan cahaya matahari di kisaran cahaya tampak. Efisiensi sel surya menggunakan struktur perovskit mencapai hingga 25,2% [NREL, 2023]. Tingginya efisiensi konversi material ini memberi peluang untuk dikombinasikan dengan sensitiser pewarna alami [Kartini, 2019]. Baru-baru ini, sel surya perovskit dikombinasikan dengan lapisan pewarna karoten menghasilkan efisiensi konversi hingga 5,01% [Dey *et al.*, 2017], hampir sepuluh kali meningkat dibandingkan dengan sel surya menggunakan sensitiser karoten sendiri [Zhou *et al.*, 2011]. Fitur material baru perovskit ini diharapkan menjadi jalan keluar revitalisasi pewarna alami sebagai sensitiser sel surya. Perovskit ini juga dapat menghasilkan elektron dengan mobilitas muatan yang cukup tinggi yaitu sebesar 7,5 cm² V⁻¹ s⁻¹ dan mobilitas lubang sekitar 12,5 cm² V⁻¹ s⁻¹. Selain itu, eksiton yang dihasilkan memiliki energi ikat lemah 0,03 eV yang berarti sebagian besar akan berdisosiasi di lapisan antarmuka pada suhu kamar. Rekombinasi terjadi pada skala waktu ratusan nanodetik yang mengakibatkan difusi pembawa muatan panjang, jarak yang dapat ditempuh sebelum rekombinasi pembawa terjadi pada kisaran 100-1000 nm [Kumar *et al.*, 2023].

Perovskit timbal(II) metilamonium iodida tersebut memiliki koefisien penyerapan cahaya yang tinggi terhadap cahaya tampak pada berbagai panjang gelombang untuk mencapai spektrum inframerah-dekat. Pada panjang gelombang 550 nm, koefisien absorpsi CH₃NH₃PbI₃ adalah 1,5 × 10⁵ M⁻¹ cm⁻¹, 2 hingga 3 kali lebih tinggi dari pewarna organik yang digunakan sejauh ini dalam sel surya DSSC. Hal ini menunjukkan bahwa perovskit mampu menyerap cahaya dengan intensitas yang lebih tinggi pada lapisan setipis 500-600 nm, yang dapat mengatasi batasan ketebalan (~ 2 μm) sel surya DSSC *solid-state*. Perovskit CH₃NH₃PbI₃ dapat berfungsi sebagai penyerap sinar matahari pada DSSC. Selain itu, MAPbI₃ dapat disintesis pada suhu kamar, sehingga menawarkan teknologi fabrikasi sel surya yang mudah dan tidak memerlukan teknologi tinggi. Secara umum, fotovoltase sirkuit terbuka (V_{OC}) dari sel surya perovskit berada di kisaran 0,9-1,15 V [Gratzel, 2014]. Efisiensi sel surya perovskit DSSC dapat mencapai hingga 25,2% dan 28,0% untuk sel tandem dengan sel surya berbasis silikon [NREL, 2023]. Fitur material perovskit baru ini diharapkan menjadi strategi untuk menghidupkan kembali pewarna alami sebagai sensitiser sel surya. Namun, kehadiran unsur timbal yang bersifat toksik dalam struktur perovskit bisa menjadi tantangan bagi konsep

nanokimia keberlanjutan.

Studi komputasi terbaru telah menunjukkan potensi nanohibrid dari *graphene quantum dots* (GQD), satu jenis karbon dot, dengan porfirin sebagai sel surya [Mandal *et al.*, 2015; Sohal *et al.*, 2023]. Transfer elektron dari porfirin ke GQD berlangsung lebih cepat untuk ukuran GQD yang lebih besar. Nanokomposit polimer karbon dot [Kumar dan Maiti, 2023] juga telah menghasilkan hasil yang menjanjikan untuk sel surya semi padat. Karbon dot dalam komposisi elektrolit menghasilkan peningkatan efisiensi hingga 6,05% dengan menyerap energi cahaya tampak yang lebih panjang gelombangnya [Zhou *et al.*, 2023]. Temuan ini juga membuka jalan bagi sel surya pewarna alami yang lebih efisien.

Sel surya nDSSC diharapkan merupakan solusi bagi masalah ketersediaan energi alternatif baru demi ketahanan bangsa dan terciptanya dunia yang lestari. Kesuksesan dari penelitian ini memberikan harapan atas keberlanjutan penelitian ini dalam pengembangan nDSSC di Indonesia.

Nanokimia untuk revitalisasi pewarna alami sebagai fotosensitizer untuk Terapi Fotodinamik (Photodynamic Therapy, PDT)

Bapak/Ibu, hadirin yang kami hormati,

Aplikasi pewarna alami sebagai fotosensitizer tidak berhenti sampai sel surya, namun juga merambah aplikasi untuk pengobatan kanker, yaitu melalui terapi fotodinamik (PDT). PDT merupakan teknik pengobatan non-invasif dan efektif, yang menyandingkan fungsi cahaya dan sensitiser untuk membunuh sel tumor. Sejak penemuan pertama untuk pengobatan kanker kandung kemih pada tahun 1976, PDT menjadi jenis terapi non invasif yang telah disetujui secara klinis untuk berbagai jenis kanker. Selektivitas dan efek samping pengobatan menggunakan PDT, telah dibuktikan lebih rendah dibandingkan pengobatan menggunakan kemoterapi ataupun radioterapi (Zhang *et al.*, 2016). PDT dapat menekan pertumbuhan tumor dan merangsang respons inflamasi akut di sekitar tumor yang diobati secara lokal, sehingga mendorong kekebalan antitumor dengan melepaskan mediator inflamasi sekunder. Secara umum, PDT bergantung pada tiga komponen penting: fotosensitizer (PS), oksigen, dan cahaya. Terapi semacam ini biasanya digunakan dalam bidang onkologi, khususnya pada kanker yang bersifat permukaan dan di lapisan dalam yang bersifat non-operatif seperti kanker nasofaring, serta dalam bidang dermatologi dan oftalmologi. Terapi ini dapat diberikan dengan aman kepada pasien yang mengalami komplikasi dan memiliki keunggulan yang jelas dibandingkan dengan perawatan lain seperti kemoterapi dan bedah. Selain itu, terapi ini juga memiliki efek samping dan risiko yang lebih sedikit secara signifikan (Santosa dan Limantara, 2008; Indrasari *et al.*, 2016).

PDT membunuh sel tumor melalui oksigen singlet ($^1\text{O}_2$) (*reactive oxygen species, ROS*) yang diproduksi oleh fotosensitizer diikuti oleh pemaparan radiasi

pada sel tumor. ROS yang dihasilkan oleh PS adalah mekanisme kunci PDT yang akan menyebabkan kematian sel lokal dan kerusakan jaringan. Namun, sebagian besar fotosensitizer yang digunakan memberikan efek fotosensitisasi pada kulit jika terkena cahaya matahari. Photofrin[®] adalah fotosensitizer pertama yang digunakan secara klinis dan sampai sekarang masih banyak digunakan. Pasien yang diberi perlakuan PDT menggunakan fotosensitizer ini harus menghindari paparan cahaya matahari setelah dikenai perlakuan sekurang-kurangnya selama 30 hari (Pushpan *et al.*, 2002). Photofrin[®] adalah fotosensitizer berbasis porfirin yang juga merupakan kandungan aktif pewarna alami hijau seperti klorofil. Porfirin terbentuk dari empat cincin pirol yang dihubungkan oleh suatu jembatan untuk membentuk cincin tetrapirrol. Klorofil adalah salah satu jenis molekul porfirin yang ditemukan pada tanaman dan organisme fotosintetik.

Kelemahan teknologi ini kemudian diatasi dengan merekayasa fotosensitizer yang dapat diatur waktu “*on-off*”nya (*smart photosensitizer*). Satu di antaranya melalui model *switch-PDT* [Zhang *et al.*, 2016]. Ketika saklar berada di posisi *off*, fotosensitisasi kulit tidak berlangsung. Aktivasi terhadap fotosensitisasi dapat dilakukan menggunakan kontrol laser NIR (*near infra red*) saat diperlukan untuk membunuh sel-sel tumor. Teknik baru ini mengkombinasikan nanopartikel dengan pewarna NIR yang bersifat biokompatibel dan hidrofobik. Sampai saat ini, masih berlangsung upaya-upaya pencarian fotosensitizer PDT yang mempunyai efek fotosensitisasi kulit rendah dan menghasilkan ROS yang tinggi. Di UGM, riset pengembangan fotosensitizer berbasis pewarna alami, yaitu klorofil baru dimulai [Kartini *et al.*, 2022], diinisiasi oleh Riset Kolaborasi Indonesia dengan peneliti-peneliti dari Departemen Fisika UNAIR, BRIN, dan IPB. Peneliti UNAIR telah mengembangkan instrumen laser sebagai sumber radiasi PDT.

Nanomaterial karbon, seperti karbon dot menunjukkan aktivitas serapan yang lebar dari daerah UV-cahaya tampak sampai daerah dekat infra merah (NIR, *near infra red*) [Cheng *et al.*, 2014]. Nanokristal semikonduktor dengan hasil kuantum tinggi, fotoabilitas yang tinggi, sifat emisi yang dapat diatur, panjang gelombang eksitasi yang relatif luas, dan sinyal emisi yang tajam berpotensi untuk digunakan dalam terapi fotodinamik. Karbon kuantum dot dapat menghasilkan oksigen singlet saat fotoaktivasi langsung. Karbon dot dapat digunakan untuk meningkatkan PDT melalui dua jalur eksitasi yang berbeda, yaitu eksitasi tidak langsung oleh FRET (*Förster resonance energy transfer*) dari karbon dots ke PS dan eksitasi langsung PS. Pada saat ini, riset potensi ekstrak klorofil *a* yang dimodifikasi (klorofilida) dan dibuat sebagai nanokomposit dengan karbon dot sedang berlangsung. Karbon dot disintesis dari rumput gajah [Sari *et al.*, 2023] atau limbah kantong plastik [Lestari *et al.*, 2023]. Kemudian, diharapkan komposit nano biomaterial karbon dot/klorofilida dan karbon dot/kurkumin yang dirancang dapat memiliki kinerja yang setara dengan fotosensitizer komersial untuk PDT yang sudah tersebar di pasaran. Hasil riset yang diperoleh dari riset di UGM menunjukkan bahwa karbon dot/kurkumin menghasilkan ROS lebih tinggi daripada karbon dot/klorofil. Riset selanjutnya yang melibatkan kajian multidisiplin dari ilmu Kimia, Kedokteran,

Biologi, Farmasi, dan Fisika Instrumentasi sangat diperlukan untuk realisasi nanoteknologi PDT untuk pengobatan kanker non-operatif.

Uraian potensi pengembangan nanokimia secara berkelanjutan untuk revitalisasi pewarna alami di bidang sandang, energi dan kesehatan tersebut menunjukkan bahwa komunikasi interdisiplin ilmu terkait pengembangan iptek nano untuk pewarna alami merupakan hal penting yang harus dipenuhi. Jika tidak tercapai suatu kerjasama antara pengembang nanoteknologi untuk pewarna alami maka kejadian yang mirip dengan cerita kontroversi orang buta mendeskripsikan gajah dapat terjadi [Arryanto *et al.*, 2007]. Pemerintah dapat menjadi fasilitator terhadap model kerjasama tersebut untuk memberikan arahan kerja di masa depan, sekaligus sebagai regulator ketika muncul tuntutan yang makin berat untuk menghasilkan produk nanoteknologi-pewarna alami untuk masyarakat. Hal ini mendorong kolaborasi dan integrasi antara berbagai bidang ilmu pengetahuan dan teknologi, membuka pintu bagi penemuan baru dan pemahaman yang lebih mendalam tentang materi pada skala nanometer. Melalui nanokimia dan nanoteknologi, revitalisasi sumber daya alam tidak hanya terjadi pada pewarna alami, tetapi juga sumber daya alam yang lain, seperti polimer alami, mineral dan sumber daya alam bahari.

Bapak, Ibu dan Hadirin yang saya muliakan,

Di penghujung pidato ini, izinkan saya untuk secara khusus menyampaikan terima kasih tak berhingga kepada semua pihak yang telah mewarnai hidup saya hingga detik ini dan berperan luar biasa dalam perjalanan hidup saya selama lebih dari 25 tahun sebagai dosen di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada.

Ucapan terima kasih saya haturkan kepada Pemerintah Republik Indonesia melalui Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Riset dan Teknologi DIKTI atas kepercayaan kepada saya untuk mengemban amanah gelar Guru Besar Ilmu Kimia di UGM. Ungkapan terima kasih juga saya sampaikan untuk Rektor UGM beserta jajarannya, Pimpinan dan anggota Senat Akademik, Pimpinan dan anggota Dewan Guru Besar, yang telah menyetujui usulan Guru Besar saya. Demikian juga kepada Bapak Dekan Fakultas MIPA beserta jajarannya, Bapak Ketua Senat FMIPA beserta anggota, Bapak Ketua Departemen Kimia beserta jajarannya serta staf SDM FMIPA (Mas Boma dan tim) dan UGM atas bantuan kelancaran pengajuan Guru Besar dan pengurusan dokumen kelengkapannya. Terima kasih tak berhingga untuk Prof. Nuryono dan Prof. Endang Tri Wahyuni yang berkenan menelaah draf pidato ini dan memberi masukan-masukan yang sangat berharga.

Terima kasih tak berhingga saya haturkan kepada para guru saya, yang memberikan landasan akademik dan sifat *curiosity* sejak bersekolah di TK Taman Indria Prigen, TK Tunas Harapan, SD Gadjah Mada/SD Sukabumi II, SMP Negeri 1, dan SMA Negeri 1 Probolinggo. Semoga menjadi amal jariyah Bapak/Ibu Guru

semua. Demikian juga untuk teman-teman SD Angkatan 1977, SMP Angkatan 1982, SMA Angkatan 1985, S1 Kimia Angkatan '88, S2 Ilmu Kimia Angkatan '95; terima kasih atas kebersamaannya dan romantika semasa sekolah/kuliah yang menyenangkan dan penuh “warna”.

Terima kasih tak terbatas untuk teman-teman se-asrama putri Ratnaningsih dan teman-teman asrama Dharma Putra periode tahun 1990-1994, yang menambah wawasan berorganisasi, berkegiatan sosial dan bergaul dengan teman banyak suku bangsa.

Terima kasih yang tulus, saya sampaikan kepada Dr. Yateman Arryanto, Dr. Sutarno, dan Almarhum Ir. Priyana, M.Sc., yang telah membimbing dan memberikan motivasi sejak membimbing skripsi (S1), dan tesis (S2) hingga kini. Semoga selalu dalam kebaikan dan mendapatkan hidayah dari Allah. *Many thanks also to Prof. Max Lu (Nanomaterial Centre The University of Queensland)* yang saat ini menjabat Rektor di Surrey University, UK. *Thanks for your patience, understanding and encouragement to reach a PhD in Chemical Engineering working on nanostructured titania for photoelectrochemical solar cells.* Juga kepada kedua ko-supervisor saya, Prof. Joe da Costa (ChemEng, UQ) dan Prof. Paul Meredith (*Physics Department The University of Queensland*). Kedua beliau yang mengenalkan kepada saya untuk bekerja secara sistematis baik dalam menulis dan menjalankan eksperimen.

Terima kasih kepada Prof. Chairil Anwar atas bantuan fasilitas lab dan pembimbingan di masa mahasiswa muda, saat gejolak meneliti menggelegak sehingga memungkinkan saya sebagai mahasiswa tahun pertama bersama rekan-rekan saya (Sri Budiyati, Budi Setiawan, Drs. Iqmal Tahir, M.Si, Dr. Prasetyawan Yuniarto, Gilang Kusumasari, Dr. Erwahyuni Prabandari, mbak Dr. Suryanti, S.P., M.P.), dapat mengikuti lomba-lomba riset dan memenangkan beberapa lomba. Terima kasih juga untuk Prof. Jumina yang bersedia menjadi mentor bahasa Inggris, khususnya berlatih *speaking* ketika saya mempersiapkan diri mengikuti tes IELTS untuk pertama kalinya; Mbak Prof. Eko Sri Kunarti sebagai teman dan *sparing-partner* dalam kegiatan akademik di Laboratorium Kimia Anorganik; Pak Iqmal Tahir, M.Sc. sebagai teman tim lomba riset semasa mahasiswa sehingga saya merasakan atmosfer kompetisi, prestasi, dan kolaborasi dalam riset sejak sebagai mahasiswa tahun pertama; Almarhum Prof. Bambang Setiaji atas tantangannya untuk menjadi “orang” dalam karir saya di Departemen Kimia, Prof. Roto atas “lungsuran” beasiswa Mobil Oil dan Unilever semasa kuliah S1 dan diskusi elektrokimianya semasa sama-sama studi S3; Prof. Kuwat Triyana atas semangat dan *support* mengembangkan riset *solar cell* dan nano, Bu Dr. Chotimah, teman seperjuangan dalam riset *solar cell* DSSC, Mbak Prof. Tutik Dwi Wahyuningsih atas *cheerfulness* dan dedikasinya dalam proyek-proyek riset manajemen lab dan sekarang untuk pewarna alami dan sensor fluoresensi serta kepanitiaan seminar internasional. Generasi muda Dosen Departemen Kimia yang *smart*, sigap, terampil, dan dedikatif yang mendukung saya dalam menjalankan tugas

kekeprodian di Departemen Kimia, thank you Mas Dr. Adhi Dwi Hatmanto, Mas Dr. M. Idham Darussalam Marjan, Mas Dr. (Tommy) Aulia Sukma Hutama, Mas Dr. Niko Prasetyo, Mas Dr. Fajar Inggit Pambudi, Mbak (Aul) Aulia Ratri Hapsari, M.Sc., Mas Dr. Sc. Robby Noor Cahyono, Mas Taufik Abdillah Natsir, M,Sc., Ph.D. juga Dr. Deni Pranowo. Semoga sukses selalu untuk masa depan yang lebih gemilang.

Tak lupa pula terima kasih kepada semua kolega di Departemen Kimia dengan peran uniknya masing-masing, khususnya Tim PIC MBKM Mandiri Prodi Kimia (tim generasi muda plus Dr. Endang Astuti, Bu Ani Setyo Pratiwi, M.Sc., Prof. Endang Tri Wahyuni, Prof. Harno Dwi Pranowo, Prof. Bambang Purwono, Dr. Winarto Haryadi), Akademik FMIPA (Bu Sely Rosiani, S.Pd., M.H., beserta staf, khususnya Mbak Suswiyanti Rahayu, A.Md.) serta Pak Kadep Kimia Prof. Nurul Hidayat Aprilita yang telah mewujudkan pelaksanaan MBKM Mandiri yang terintegrasi dan terkoordinasi dengan baik sampai saat ini. Tak lupa pula teman-teman admin yang sigap Bersiap di Departemen (Mas Bambang, Mas Damar, Pak Kahar, Mbak Ana, Mbak Emie, dan Mbak Apri), terima kasih banyak atas bantuannya. Jika ada kesalahan dan kekhilafan saya selama ini saya juga mohon untuk dimaafkan.

Saya juga merasa beruntung dan berbahagia menjadi anggota di Laboratorium Kimia Anorganik, yang telah memberikan tempaan luar biasa ketika saya menjadi staf muda Dosen hingga saat ini. Keyakinan dan kepercayaan diri dalam melakukan riset dan mempelajari hal-hal baru, saya pelajari dari guru-guru dan sejawat saya di Lab Kimia Anorganik. Terima kasih, Prof. Dr. Bambang Rusdiarso, DEA; Prof. Dr.rer.nat. Nuryono, M.S.; Prof. Dr. Suyanta, M.Si.; Dr. Sutarno, M.Si.; Prof. Drs. Sri Juari Santosa, M.Eng., Ph.D.; Prof. Dra. Eko Sri Kunarti, M.Si., Ph.D. dan Dr. Yateman Arryanto, serta Fajar Inggit Pambudi, S.Si., M.Sc., Ph.D. dan Adhi Dwi Hatmanto, S.Si., M.Sc., Ph.D.. Juga terima kasih kepada staf teknisi Lab yang banyak membantu selama ini, Mas Bagus, Mas Wahyu, dan Mbak Kristin.

Tidak lupa pula terima kasih kepada semua bimbingan saya, mahasiswa S1, S2 dan S3 sejak tahun 2004 sampai saat ini yang telah mendukung dan telah/sedang mewujudkan nanomaterial fungsional serta aplikasinya mulai dari DSSC (Anis, Septina, Ma'ruf, Syafei, Evana, Fauzin/Nana, Adhi, Yuliza, Ratih Purwanti, Risya, Linda, Anissa), *solar cell* perovskit (Nabila, Bela, Wachid, Nurul Hamidah, Bilkis, Firmansyah, Mulya), perovskit titanat (Andik, Ferry), tekstil multifungsi dan pewarna alami (Kholilah, Alfi, Rita, Millenia Mega, Fredy, Prastiano, Halimah, Melati, Renung, Irwan), pelapis kitosan anti-bakteri dan komposit kitosan (Widya, Endaruji, Murniaty, Agung Nugroho, Endang, Dina, Achmad Budi Junaidi, Antuni, Tri Wahyuningsih, Anggi, Ajeng, Lisna, Gratha), pupuk bioplastik nanokomposit *slow-release* N-P-K (Zidni, Ratih, Hanifah, Wini, Ami, Vernanda, Idad, Elisabeth, Dionisia, Indah, Kukuh, Nina), fotokatalis dan material baru (Febiyanto, Sri Wahyuni, Rusdi, Indra, Irfan Ilmi, Canggih, Wuri, Erna, Gani, Prasetyo Hermawan, Widi, Susi, Echan), enkapsulator pupuk N-P-K (Bayu, Nafsiyah, Silvia, Siti

Mahmudha, Taranipa), material akselerator fotosintesis (Dhea, Amel, Nisa), nanotabung titania (Fitri, Evana, Ira, Inna, Tri Sejati), karbon dot sintesis (Adit, Ratih, Rainda, Katty, Khairil, Dian, Wuri, Lola, Nesa) hingga pembuatan komposit nano karbon dot-klorofil/kurkumin untuk PDT (Martin, Steven, Tito), bioplastik komposit penahan radiasi sinar-X (Liza, Syafira), dan membran fotokatalitik (Lathifah, Hanna, Rachmelia, Nurul Ilmi), serta adik-adik mahasiswa yang mungkin terlewat belum saya sebutkan. Kemampuan adik-adik mahasiswa untuk berakselerasi dan sinergi dalam membangun pemahaman baru di tengah-tengah pesatnya perkembangan nanomaterial fungsional di dunia, sungguh merupakan anugrah bagi saya dan Departemen Kimia untuk membuktikan keberadaan riset UGM, riset Indonesia di tengah kemajuan riset internasional. Terima kasih atas hasil kerja yang membanggakan selama ini.

Tak lupa pula saya ucapkan terima kasih kepada sejawat di UGM yang telah mendukung riset dan menjadi teman diskusi selama ini, Pak Nasih Widya Yuwono, S.P., M.P.; Dr. Chairun Wiedyaningsih, M.Kes., M. App.Sc., Apt.; Dr. apt. Indah Purwantini, S.Si., M.Si.; Dr. Dwi Satya Palupi, S.Si., M.Si.; Prof. Dr. Kumala Dewi, M.Sc.St.; Prof. Dr. Ir. Edia Rahayuningsih, M.S., IPU.; Prof. Himawan Tri Bayu Murti Petrus, ST., M.E., D.Eng., Prof. drg. Ika Dewi Ana, M.Kes., Ph.D.; Dr.Eng. Ahmad Kusumaatmaja, S.Si., M.Sc., Ir. Rini Dharmastiti, M.Sc., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Dr. dr. Sagung Rai Indrasari, M.Kes., Sp.T.H.T.K.L(K), FICS. serta mitra industri Bapak Rakimin, S.P. (PT Tunas Widji Inti Nayottama, Kediri), dan Bapak Ir. Bambang Sumantri (PT Bukit Warna Abadi, Bekasi). Terima kasih atas dukungannya selama ini. Juga teman-teman kolega di Departemen Kimia dari Sabang sampai Merauke, yang mohon maaf tidak dapat saya sebutkan satu per satu. Terima kasih atas kerjasamanya selama ini. Mari kita membangun negeri dengan memajukan ilmu Kimia di Indonesia. Terima kasih yang sama juga saya haturkan untuk staf Dekanat FMIPA dan LPPM/Direktorat Penelitian yang selalu membantu dalam administrasi pengajuan hibah riset yang seringkali mendadak.

Terima kasih juga disampaikan kepada sahabat jauh saya Prof. Rohana Adnan (USM, Malaysia) atas dukungannya dalam riset dan *joint publication*. Thanks also to Prof. John Zu, Prof. Lianzhou Wang (The University of Queensland), and Dr. Julius Motuzas (Australia) for research support, Prof. Yuichi Kamiya (Hokkaido University) as well.

Dalam pengembangan riset pewarna alami, terima kasih saya sampaikan untuk teman-teman Dosen dan peneliti yang pernah dan tergabung di *Indonesian Natural Dye Institute* (INDI) UGM (Prof. Dr. Ir. Edia Rahayuningsih, M.S., IPU.; Prof. Dr. Kumala Dewi, M.Sc.St.; Prof. Ir. Chandra Wahyu Purnomo, S.T., M.E., M.Eng.,D.Eng., IPM.; Prof. Dr. Catur Sugiyanto, MA.; Ir. Eny Faridah, M.Sc., Ph.D., IPM.; Dr. Ir. Dwi Tyaningsih Adriyanti, M.P.; Prof. Himawan Tri Bayu Murti Petrus, ST., M.E., D.Eng., Prof. drg. Ika Dewi Ana, M.Kes., Ph.D.; Ir. Rini Dharmastiti, M.Sc., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Prof. Dra. Tutik Dwi Wahyuningsih, M.Si., Ph.D.; Prof. Dr. Endah Retnaningrum, S.Si., M.Eng.; Prof.

Dr. Ir. Ambar Kusumandari, M.E.S.; Dr. Widiastuti Setyaningsih, S.T.P., M.Sc.; Dr. Widya Nayati, M.A.; Mbak Esti Anantasari, Dr. Tri Winarni Soenarto Putri, S.U.; Pak PM Laksono. Bekerja sama multi-disiplin memang bukan hal yang mudah dan *straight-forward*, dibutuhkan waktu untuk dapat tetap bersama-sama dan bersinergi, semoga ke depan INDI UGM yang telah ditunjuk sebagai *Unesco Chair on Research and Education of Local Natural Dyes* Universitas Gadjah Mada 2023 menjadi semakin solid dan bersinergi. Terima kasih atas persahabatannya.

Terima kasih yang tak berujung, tulus dan ikhlas, yang jasanya tak terbalaskan di dunia ini, saya haturkan kepada Almarhum Bapak Arpono, almarhumah ibu Sri Kusumaningrum, dan ibu Sahistifah, yang telah membesarkan dan mendidik saya sejak kecil, semoga Allah memberi balasan kebaikan yang banyak dan surga yang terbaik. Terima kasih juga kepada adik-adikku berdelapan (Wiwin Ardiyanti dan Mahfud, almarhum Wawan Hardiyanto, Fajar Yudianto dan Dik Dyah, Dyah Arifah Prastiningtyas dan Om Danny, Ariani Fauziah, Agus Firmanto, Indah Septi Ardani dan Om Dicky) beserta keluarga atas persaudaraan yang tulus. Juga kepada ayah dan ibu mertua, Bapak Joyodiharjo dan Ibu Suranti; matur nuwun sanget atas nasihat-nasihatnya selama ini. Semoga Allah juga membalas dengan kebaikan yang banyak dan selalu memberi hidayah dalam jalanNya yang lurus. Demikian juga, untuk kakak-kakak dan adik-adik ipar beserta keluarga, Mas Suladi dan Mbak Ririn, Mas Jujuk dan Mbak Endarti, Mbak Mamik dan Mas Wahyono, Mas Bambang Suharjo dan Mbak Ika, Om Budi Warsito dan Dik No'i, Dik Asri Yulianti dan almarhum Om Triyono, Om Hendri dan Dik Lina. Semoga Allah selalu menjaga persaudaraan kita dan memberi kebaikan.

Akhirnya, terima kasih yang tidak bisa diungkapkan dengan kata-kata tercurah kepada suami saya, Budi Santoso, S.S., M.A, atas kesabaran dan bimbingannya selama ini, telah menemani menjalani hidup dalam suka dan duka; semoga Allah membalas dengan kebaikan yang banyak. Juga kepada anak-anakku, Fathan Hudaussie Santoso, Kayla Queenazima Santoso, Hafiz Filmizzudin Santoso, Maritza Fathinia Cyranurjeha Santoso, Taqif Khizanusyairi Santoso, dan Nadine Huwaidati Santoso, terima kasih atas kesabarannya, telah mandiri dan berteguh dalam pendirian, semoga Allah berkenan selalu memberikan petunjuk menuju jalanNya yang lurus, melimpahkan rizki dan usia yang barokah dan bermanfaat, dan menjadi manusia yang baik dan mulia akidah akhlakunya. Aamiin.

Demikian pidato ini, saya sampaikan. Terima kasih banyak atas perhatian semua hadirin, semoga ada manfaat yang dapat diambil, ada kebaikan yang dapat disebarkan, dan ada peluang untuk bersinergi membangun bangsa. Saya juga mohon maaf jika ada yang kurang berkenan.

Akhirul kalam, *Wassalaamu 'alaikum wa rahmatullaahi wa barakaatuh.*

Yogyakarta, 12 November 2023

DAFTAR PUSTAKA

- Alauhdin, M., Adnan, R., Hatmanto, A.D., Kartini, I., Phytosynthesized-Silver Nanoparticles for Functionalization of Cotton Fabric: A Systematic Literature Review, *Internat. J. Technol.*, 2023, Accepted.
- Arryanto, Y., Amini, S., Rosyid, M.F., Rahman, A., Artsanti, P., 2007, *IPTEK Nano di Indonesia: Terobosan, Peluang dan Strategi*, Kemenristek-Diglossia, Yogyakarta.
- Baig, U.; Khatri, A.; Ali, S.; Sanbhal, N.; Ishaque, F.; Junejo, N. Ultrasound-assisted dyeing of cotton fabric with natural dye extracted from marigold flower. *J. Text. Inst.* 2021, 112, 801–808.
- Budhi, C.S., Kartini, I, Rusdiarso, B., Synthesis of Mesoporous Titania by Potato Starch Templated Sol-Gel Reactions and Its Characterization, *Indo. J. Chem.*, 2010, 10 (1) 26-31
- Cao, Y-M., Zheng, M., Li, Y-F., Zhai, W-Y., Yuan, G-T., Zheng, M., Zhuo, M-P., Wang, Z-S., Liao, L-S., Smart Textiles Based on MoS₂ Hollow Nanospheres for Personal Thermal Management, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2021, 13, 48988–48996
- Chen, G., Li, Y., Bick, M., Chen, J., Smart Textiles for Electricity Generation, *Chem. Rev.* 2020, 120, 3668–3720
- Cheng, L., Wang, C., Feng, L., Yang, K., Liu, Z., Functional Nanomaterials for Phototherapies Cancer, *Chemicals Review*, 2014, 114, 10869–10939, [dx.doi.org/10.1021/cr400532z](https://doi.org/10.1021/cr400532z)
- Colomban, P., 2009, The Use of Metal Nanoparticles to Produce Yellow, Red and Iridescent Colour, from Bronze Age to Present Times in Lustre Pottery and Glass: Solid State Chemistry, Spectroscopy and Nanostructure, *Journal of Nano Research*, Vol. 8, pp 109-132. [doi:10.4028/www.scientific.net/JNanoR.8.109](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JNanoR.8.109)
- Dey, A., Dhar, A., Roy, S., Das, B.C., 2017, *Mater. Today-Proc.* 12651-12656
- Drexler, E. K., 1986, *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*, Anchor Books, New York.
- Gratzel, M. and O'Regan, B., 1991, A Low Cost, High Efficiency Solar Cell Based on Dye Sensitized Colloidal TiO₂ Film, *Nature.*, 353, 737-739
- Grätzel, M., The light and shade of perovskite solar cells, *Nat. Mater.*, 13, 838-42 (2014)
- Hao, S., Wu, J., Huang, Y., Lin, J., 2006, Natural Dyes as Photosensitizers for Dye-Sensitized Solar Cell, *Solar Energy*, 80, 209–214.
- Indrasari, S.R., Sastrowijoto, S., Hariwiyanto, B., Astuti, I., 2016, *Studi Klinis Pengobatan Photodynamic Therapy (PDT) pada penderita Karsinoma Nasofarings di Yogyakarta Kajian Angka Harapan Hidup dan Kadar Sitokin*, Disertasi S3 Ilmu Kedokteran, Universitas Gadjah Mada.
- Islam, M.R.; Afroj, S.; Novoselov, K.S.; Karim, N. Smart Electronic Textile-Based Wearable Supercapacitors. *Adv. Sci.* 2022, 9, 2203856.
- Jia, L-W., Zhang, X., Versatile Red-Emissive Carbon Dots for Smart Textiles and

- Fluorescence Sensing, *ACS Appl. Nano Mater.* 2023, 6, 1379–1385
- Kartini, I., Laporan RUT XII 2005-2006, Pembuatan Sel Surya Berbasis Lapis Tipis Titania Mesopori dengan Memanfaatkan Sensitizer Alami Indonesia
- Kartini, I., Evana, Chotimah, Glucose Templated Hydrothermal Synthesis of Porous Nanocrystalline Anatase TiO₂, *Asian J. Chem.* 22(6), 4501-4510 (2010)
- Kartini, I., Evana, Sutarno, Chotimah, Sol-Gel Derived ZnO Nanorod Templated TiO₂ Nanotube Synthesis for Natural Dye Sensitized Solar Cell, *Adv. Mater. Res.* 896, 485-488 (2014)
- Kartini, I., Dwitasari, L., Wahyuningsih, T.D., Chotimah, Sensitization of xanthophylls-chlorophyllin mixtures on titania solar cells, *Internat. J. Sci. Eng.* 8(2), 109-114 (2015)
- Kartini, I., T.D. Wahyuningsih, S. Wahyuningsih, Chotimah, Sensitisasi Spektral Permukaan Titania dengan Ekstrak Metanol Pigmen Alga untuk Sel Surya yang peka terhadap Pewarna, *Prosiding Seminar Internasional Pertama Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 24 Januari 2009, 1359-1365 (2009)
- Kartini, I. 2015, KITOSAN DAN METODA ISOLASI KITOSAN SEBAGAI BAHAN LAPIS ANTIBAKTERI DARI LIMBAH MAKANAN LAUT HEWAN BERKULIT KERAS, Paten Nasional ID P0000038369, 27 April 2015.
- Kartini, I., 2019, Progress on Nanomaterials for Photoelectrochemical Solar Cells: from Titania to Perovskites, *E3S Web of Conferences* 125, 14015
- Kartini, I., 2019, Progress on Nanomaterials for Photoelectrochemical Solar Cells: from Titania to Perovskites, *E3S Web of Conferences* 125, 14015
- Kartini, I., Halimah, S.N., Rahayuningsih, E., Enhanced wash-fastness of cotton fabric dyed with a composite of chitosan-natural dyes extract of *Ceriops tagal*, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, 1053 (1), 01202
- Kartini, I., Apsari, R., Mustofa, S., et al., 2022, Laporan Akhir Hibah Kolaborasi RKI C (mitra): MODIFIED CHLOROPHYLL a/CARBON DOTS AS A POTENT PHOTOSENSITIZER FOR PHOTOTHERAPY
- Kartini, I., and Andriani, L.K., 2007, Functionalization of Textiles by Chitoan Coating, *The 14th Regional Symposium on Chemical Engineering, Proceeding*, ISBN 978-979-16978-0-4, Yogyakarta.
- Kartini, I., Hatmanto, A.D., 2021, Dyes and Pigments - Novel Applications and Waste Treatment, Chapter: Natural Dyes: From Cotton Fabrics to Solar Cells, *IntechOpen*, London
- Kartini, I., Khairani, I.Y., Chotimah, Triyana, K., Wahyuni, S., 2018, Titanium Dioxide for Sustainable Development Chapter 22: Nanostructured for Functional Coatings, *IntechOpen*, London
- Kumar, A., Chang, D.W., Baek, J-B, Current Status and Future of Organic–Inorganic Hybrid Perovskites for Photoelectrocatalysis Devices, *Energy & Fuels Article ASAP*, 2023, DOI: 10.1021/acs.energyfuels.3c02680

- Kumar, S., Maiti, P., Review on Functional Electrolyte, Redox Polymers, and Solar Conversions in 3G Emerging Photovoltaic Technologies: Progress and Outlook, *Energy & Fuels* 2023, 37, 19, 14473-14511
- Lestari, R., Wahyuningsih, T.D., Kamiya, Y., Kartini, I., Transforming high-density polyethylene plastic bags into eco-friendly carbon dots for detecting ferric (Fe^{3+}) ions, *Diamond and Related Materials*, 2023, 139, 110271
- Mandal, B., Sarkar, S., Sarkar, P., Theoretical Studies on Understanding the Feasibility of Porphyrin-Sensitized Graphene Quantum Dot Solar Cell, *The Journal of Physical Chemistry C*, 2015, 119 (6), 3400-3407, DOI: 10.1021/jp511375a
- Nie, X., Wu, S., Huang, F., Wang, Q., Wei, Q., Smart Textiles with Self-Disinfection and Photochromic Effects, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2021, 13, 2245–2255
- NREL, diakses pada 12 November 2023, <https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/best-research-cell-efficiencies.20231112.pdf>
- Pushpan SK, Venkatraman S, Anand VG, Sankar J, Parmeswaran D, Ganesan S, Chandrashekar TK. Porphyrins in photodynamic therapy - a search for ideal photosensitizers. *Curr Med Chem Anticancer Agents*. 2002 Mar;2(2):187-207. doi: 10.2174/1568011023354137
- Ragheb, A.; Mosaad, M.; Mahmoud, S.; Abd Thalothe, J.I. The Impact of Nanotechnologies on developing the printing of natural fabrics with pomegranate peel. *Egypt. J. Chem.* 2019, 62, 1249–1261
- Ragheb, A.A.; Tawfik, S.; Abd-El Thalothe, J.I.; Mosaad, M.M. Development of printing natural fabrics with curcuma natural dye via nanotechnology. *Int. J. Pharm. Sci. Res.* 2017, 8, 611–620
- Reiningtyas, R., Rahayuningsih, E., Kusumastuti, Y., Kartini, I., Optimization of Zinc Oxide Nanoparticles Coating on Cotton-Indigo Fabrics using Response Surface Methodology, *Eksergi*, 2023, 20 (2), 100-106
- Santosa, V., Limantara, L., Photodynamic Therapy: New Light In Medicine World (Review), *Indo. J. Chem.*, 2008, 8 (2), 279 - 291
- Sari, F.D., Chotimah, Roto, Kartini, I., Highly fluorescent nitrogen-doped graphene quantum dots (N-GQDs) synthesized from *Pennisetum purpureum* for selective and sensitive detection of Fe^{3+} ions, *Materials Research Express*, 2023, 10(7), 075603
- Sasri, R., Kartini, I., Kunarti, E.S., 2014, EKSTRAK ZAT WARNA ALAM DARI BIJI KESUMBA SEBAGAI FOTOSENSITISER PADA FOTOANODA SERAT NANO TiO_2 UNTUK SEL SURYA, Thesis, Universitas Gadjah Mada
- Stoppa, M.; Chiolerio, A. Wearable Electronics and Smart Textiles: A Critical Review. *Sensors* 2014, 14, 11957–11992.
- Tat, T., Chen, G., Zhao, X., Zhou, Y., Xu, J., Chen, J., Smart Textiles for Healthcare and Sustainability, *ACS Nano* 2022, 16, 9, 13301–13313, <https://doi.org/10.1021/acsnano.2c06287>
- Teresita, R.A, Norma, F.H, Daniel, G.M, 2010, Natural Carotenoids as Nanomaterial Precursors for Molecular Photovoltaics: A Computational DFT

Study , *Molecules*, 15, 4490-4510.

- Verma, A., Arif, R., Jadoun, S., Chapter 12 - Impact of nanotechnology on sustainable textile material and its application, Editor(s): Nabil Ibrahim, Chaudhery Mustansar Hussain, In *The Textile Institute Book Series, Green Chemistry for Sustainable Textiles*, Woodhead Publishing, 2021, pages 165-172, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85204-3.00030-0>.
- Watson, R., 2008, *Future Files: 5 trends that will shape the next 50 years*, Nicholas Brealey Publishing, London.
- Yamazaki, E., Murayama, M., Nishikawa, N., Hashimoto, N., Shoyama, M., Kurita, O., 2007, Utilization of Natural Carotenoids as Photosensitizers for Dye-Sensitized Solar Cells, *Solar Energy*, 81, 512–516.
- Zhang Y, He L, Wu J, Wang K, Wang J, Dai W, Yuan A, Wu J, Hu Y. Switchable PDT for reducing skin photosensitization by a NIR dye inducing self-assembled and photo-disassembled nanoparticles. *Biomaterials*. 2016, 107:23-32. doi: 10.1016/j.biomaterials.2016.08.037.
- Zhou, H., Lee, H.J., Aftabuzzaman, M., Kang, S.H., Kim, C.H., Kim, H.M., and Kim, H.K., Synergistic Effect of Size-Tailored Structural Engineering and Postinterface Modification for Highly Efficient and Stable Dye-Sensitized Solar Cells, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2023 15 (37), 43835-43844, DOI: 10.1021/acsami.3c09228
- Zhou, H., Wu., L., Gao, Y., Ma, T., 2011, Dye Sensitized Solar Cells Using 20 Natural Dyes as Sensitizer, *J. Photochem. Photobiol.*, 219, 188-194.

BIODATA



Nama Lengkap : Indriana Kartini
Jenis Kelamin : P
Jabatan Fungsional : Guru Besar
NIP : 196904211998032002
NIDN : 0021046902
Tempat/Tanggal Lahir: Sidoarjo, 21 April 1969
E-mail : indriana@ugm.ac.id

Nomor Telepon/HP : +6285228003584

Alamat Kantor : Departemen Kimia, Sekip Utara, Yogyakarta,
55281

Nomor Telepon/Fax : 0274-545188

Alamat Rumah : Dn. Ringin putih RT 04, RW 28,
Donoharjo, Ngaglik, Sleman, 55581

Keluarga :

Suami : Budi Santoso, S.S., M.A.

Pekerjaan : BPAD DIY

Anak :

1. Fathan Hudyaussie Santoso
2. Kayla Queenazima Santoso
3. Hafiz Filmizzudin Santoso
4. Maritza Fathinia Cyranurjeha Santoso
5. Taqif Khizanusyairi Santoso
6. Nadine Huwaidati Santoso

Riwayat Pendidikan

Program	S1	S2	S3
Nama PT	UGM	UGM	The University of Queensland
Bidang Ilmu	Kimia	Kimia (Anorganik)	Chemical Engineering
Tahun Masuk	1988	1995	November 1999
Judul Skripsi/ Tesis/Disertasi	S1 Sintesis Magnetit dan Adsorpsi Cr(III) Menggunakan Kombinasi Koagulan-Flokulan Magnetit-Poliakrilamida	S2 Sintesis dan Karakterisasi Bahan Mesopori Kaya Silika	S3 Synthesis and Characterization of Mesostructured Titania for Photoelectrochemical Solar Cells
Nama Pembimbing/ Promotor	Dr. Yateman Arryanto	Dr. Yateman Arryanto	Prof. G.Q. Max Lu

Riwayat Pekerjaan dan Organisasi:

1. 2016-2021 Sekretaris Prodi Magister Kimia FMIPA UGM
2. 2021-2026 Ketua Prodi Kimia (Sarjana) FMIPA UGM 2020-2025
3. 2010-sekarang Ketua Pengelola *Transmission Electron Microscopy* FMIPA UGM
4. 1998-sekarang Dosen Departemen Kimia FMIPA UGM

Daftar Publikasi 2013–2023

- 2023 Transforming high-density polyethylene plastic bags into eco-friendly carbon dots for detecting ferric (Fe^{3+}) ions, Lestari, R., Wahyuningsih, T.D., Kamiya, Y., Kartini, I., *Diamond and Related Materials*, 2023, 139, 110271
- 2023 Highly fluorescent nitrogen-doped graphene quantum dots (N-GQDs) synthesized from *Pennisetum purpureum* for selective and sensitive detection of Fe^{3+} ions, Sari, F.D., Chotimah, Roto, Kartini, I. *Materials Research Express*, 2023, 10(7), 075603
- 2023 Effect of Annealing and Etching Times on Anatase TiO_2 Hollow Sphere, Rakhman, K.A., Aprilita, N.H., Kartini, I., *Molekul*, 2023, 18(2), pp. 273–281
- 2023 Synthesis of Zeolite/NPK Coated with Cu-Alginate-PVA-Glutaraldehyde as a Slow-Release Fertilizer
Betriani, R., Sutarno, S., Kartini, I., Budiarta, J. *Indonesian Journal of Chemistry*, 2023, 23(1), pp. 184–199
- 2023 Durable photocatalytic membrane of PAN/ TiO_2 /CNT for methylene blue removal through a cross-flow membrane reactor
- 2022 Photocatalytic membrane TiO_2 /CNT decorated PAN nanofibers with enhanced performance under LED visible-light irradiation, *Energy & Environment*
DOI: 10.1177/0958305X221108494
journals.sagepub.com/home/eae
- 2022 Identification and Characterization of Nanoclays in Gamalama Volcanic Soil of Northern Maluku
- 2022 Enhancement of the photostability and visible photoactivity of ZnO photocatalyst used for reduction of Cr(VI) ions
- 2022 *Breadfruit (Artocarpus altilis) starch-based nanoparticle formation through dropwise mixing nanoprecipitation*, Harsanto, B.W., Pranoto, Y., Supriyanto, Kartini, I., *Food Research*, 2022, 6(3), pp. 34–41
- 2021 Application of zinc oxide nanoparticles and nanochitosan to enhance the light fastness of cotton dyed with natural indigo

Book chapter

No.	Tahun	Judul Buku	Jumlah Halaman	Penerbit
1.	2021	Dyes and Pigments - Novel Applications and Waste Treatment, Chapter: Natural Dyes: From Cotton Fabrics to Solar Cells	22	IntechOpen, London

		Indriana Kartini, Adhi Dwi Hatmanto Editor: Raffaello Papadaki, ISBN: 978-1-83968-614-6, IntechOpen, London		
2.	2018	Titanium Dioxide for Sustainable Development Chapter 22: Nanostructured for Functional Coatings Indriana Kartini, Inna Yusnila Khairani, Chotimah, Kuwat Triyana, Sri Wahyuni, IntechOpen, London	24	IntechOpen, London
3.	2010	Dari Yogyakarta untuk Energi Indonesia: Pandangan dan Hasil Riset Pakar Universitas Gadjah Mada di Bidang Energi Bab V: Emerging Energy Technology Nanomaterial sebagai komponen aktif peranti sel surya dan sel bahan bakar ISBN 9786029797930, PSE-UGM bekerjasama dengan Digibooks, Indonesia	20	PSE-UGM bekerjasama dengan Digibooks, Indonesia

PEROLEHAN HKI

No.	Tahun	Judul/Tema HKI	Jenis	Nomor Pendaftaran/ Sertifikat
1.	2019	Proses Pembuatan Pupuk Pelepas-Lambat Nitrogen, Fosfor dan Kalium Berbasis Nanokomposit Bioplastik Karboksimetil Selulosa (KMS), NPK, Gliserol, Zeolit Alam, Lempung Alam (Perubahan dari Nomor: P00201907738)	Paten Sederha na	S00201907738 9 April 2019 Diberi 16 Desember 2022 IDS000005381
2.	2019	Komposisi Pupuk Pelepas-Lambat Nitrogen, Fosfor dan Kalium Berbasis Nanokomposit Bioplastik Karboksimetil Selulosa (KMS), NPK, Gliserol, Zeolit Alam, Lempung Alam (Perubahan Dari Nomor: S00201907737)	Paten Sederha na	S00201907737 9 April 2019 Diberi 29 September 2022 IDS000004997
3.	2019	Proses Pembuatan Karbon Mesopori Dengan Gelatin Tulang Sapi Jawa Sebagai Sumber Karbon Dan Karbon Mesopori Yang Dapat Digunakan Pada Adsorpsi Dibenzotiopena	Paten	P00201506350
4.	2017	Kain Pengecoh Alat Endus Spektra Tampak Dan Infra Merah Dekat Untuk Medan Hutan	Paten	P00201100917
5.	2016	Pupuk Lepas Lambat Nitrogen Berbasis Nanokomposit Bioplastik dan Proses Pembuatannya	Paten	IDP000069915

J. PENGHARGAAN

No.	Jenis Penghargaan	Institusi Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Juara 1 Lomba Cipta Masker Tingkat Nasional Dekranasda Kota Yogyakarta 17 Oktober 2021	Dewan Kerajinan Nasional Daerah Kota Yogyakarta	2021
2.	Satyalencana Karya Satya 20 th	Republik	2019

No.	Jenis Penghargaan	Institusi Pemberi Penghargaan	Tahun
		Indonesia	
3.	Satyalancana Karya Satya 10 th	Republik Indonesia	2015
4.	Poster prize award at Joint Indonesia-UK Conference on Organic and Natural Product Chemistry, Yogyakarta, 10-11 Desember 2014	RSC	2014
5.	Dosen Berprestasi Terbaik ke-2 UGM	UGM	2010