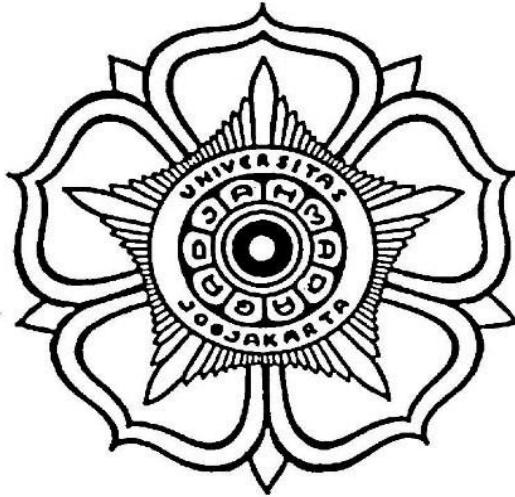


**NANOMATERIAL DAN PERANANNYA DALAM MEWUJUDKAN  
TUJUAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN**



**UNIVERSITAS GADJAH MADA**

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

**Diucapkan di depan Rapat Terbuka Dewan Guru Besar Universitas Gadjah Mada  
pada tanggal 9 Agustus 2022  
di Yogyakarta**

**Oleh:  
Prof. Dra. Eko Sri Kunarti, M.Si., Ph.D.**

*Yang terhormat:*

*Ketua, Sekretaris, dan Anggota Majelis Wali Amanat Universitas Gadjah Mada;*

*Ketua, Sekretaris, dan Anggota Dewan Guru Besar Universitas Gadjah Mada; Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Akademik Universitas Gadjah Mada; Rektor dan para Wakil Rektor Universitas Gadjah Mada;*

*Para Dekan, Wakil Dekan, dan Ketua Lembaga di Universitas Gadjah Mada; Segenap civitas akademika Universitas Gadjah Mada; dan*

*Para tamu undangan, sanak saudara, serta hadirin yang saya muliakan.*

*Assalaamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh*

*Selamat pagi dan salam sejahtera bagi kita semua.*

Segala puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas berkah, rahmat, taufik dan kebahagiaan yang telah dilimpahkan-Nya kepada kita semua, sehingga pagi ini kita dapat menghadiri rapat terbuka Dewan Guru Besar Universitas Gadjah Mada. Pada hari yang berbahagia ini, saya menyampaikan terima kasih kepada Pimpinan Dewan Guru Besar yang terhormat, yang telah memberikan kepercayaan kepada saya, untuk menyampaikan pidato pengukuhan sebagai Guru Besar Ilmu Kimia pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada. Pidato pengukuhan ini merupakan kewajiban akademik saya sebagai Guru Besar Ilmu Kimia, terhitung sejak tanggal 1 Agustus 2021, yang ditetapkan pemerintah melalui SK Kemendikbudristek No. 63373/MPK.A/KP.05.01/2021 tertanggal 15 September 2021.

*Pimpinan sidang dan hadirin yang saya muliakan*

Pada kesempatan yang berbahagia ini, perkenalkanlah saya untuk menyampaikan pidato ilmiah di hadapan para hadirin dengan judul:

NANOMATERIAL DAN PERANANNYA DALAM MEWUJUDKAN  
TUJUAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN  
(*SUSTAINABILITY DEVELOPMENT GOALS, SDGs*)

Topik yang saya angkat tersebut didasarkan atas penelitian bidang material di Laboratorium Kimia Anorganik Departemen Kimia yang saya tekuni selama hampir dua dasawarsa ini. Nanomaterial merupakan material yang menarik karena memiliki sifat yang berbeda dengan benda makroskopik (makromaterial) meskipun komposisi kimianya sama, sehingga nanomaterial banyak dimanfaatkan dalam teknologi untuk berbagai aplikasi. Karena aplikasinya yang luas di hampir semua bidang, maka nanomaterial berdiri unik dan bagi banyak peneliti menjadi area penelitian prioritas utama. Teknologi nanomaterial meningkat dengan pertumbuhan eksponensial di banyak bidang dan diprediksi memiliki perkembangan masa

depan yang kuat. Transformasi gaya hidup yang signifikan telah dicapai dengan kemajuan penelitian dan aplikasi dari nanomaterial.

Nanomaterial juga memiliki peran yang besar dalam mendukung tercapainya tujuan pembangunan berkelanjutan, yang merupakan suatu rencana aksi global dan terdiri dari tujuh belas program untuk digalakkan sebagai bagian dari agenda atau visi dalam mencapai pembangunan yang berkelanjutan di tahun 2030. Banyak pihak dan institusi dari segala bidang berkontribusi untuk mewujudkan program *SDGs* tersebut, dalam rangka membuat keadaan bumi dan makhluk hidup menjadi lebih baik lagi. Dari tujuh belas program (Gambar 1), ada beberapa di antaranya yang dapat diwujudkan dan didukung dengan adanya nanoteknologi, utamanya melalui nanomaterial. Pada pidato pengukuhan ini akan saya sampaikan 3 hal, yakni mengenai konsep, klasifikasi, dan peranan nanomaterial untuk mendukung terwujudnya pembangunan berkelanjutan yang didasarkan pada hasil riset bidang nanomaterial.



Gambar 1. Program-program yang tertuang dalam *SDGs* (Sumber: Wikipedia)

*Bapak, Ibu dan para hadirin yang saya hormati*

### 1. Pengertian Nanomaterial

Menurut *International Organization for Standardization* (ISO), awalan kata nano mengacu pada ukuran berkisar antara 1 hingga 100 nm (ISO, 2008). Sebagai perbandingan, dapat diketahui bahwa diameter atom karbon adalah sekitar 0,25 nm dan jarak antar atom-atom karbon adalah 0,15 nm. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa nanomaterial memiliki ukuran lebih besar dari atom tunggal atau dapat dipandang sebagai kelompok kecil terdiri dari atom-atom yang bergabung antara satu sama lain. Contoh objek-objek berukuran nano yang ada di alam antara lain molekul DNA yang memiliki diameter 25 nm, *parvovirus* sebagai virus terkecil dengan ukuran 25 nm, dan protein dengan ukuran panjang sekitar 10 nm (Dolez, 2015).

Definisi terminologi tentang nanomaterial mengalami perkembangan dari waktu ke waktu. Menurut ISO, nanomaterial dapat didefinisikan sebagai material dengan dimensi eksternal atau struktur internal dan permukaan yang berada dalam skala nano (ISO, 2010). Skala nano mengacu pada ukuran berkisar antara 1 hingga 100 nm (ISO, 2008). Selain itu, *European Commission* juga menyampaikan rekomendasi terkait definisi nanomaterial yang dirilis pada tahun 2011, bahwa nanomaterial adalah bahan alami bersifat insidental atau buatan yang mengandung partikel dalam keadaan tidak terikat atau bukan sebagai agregat/aglomerat di mana 50% atau lebih dari partikel tersebut memiliki ukuran yang berada dalam kisaran 1-100 nm (*European Commission*, 2011).

*Health Canada* (2011) juga telah menetapkan definisi lain tentang nanomaterial, bahwa nanomaterial adalah zat yang diproduksi dan memiliki ukuran dalam skala nano setidaknya pada satu dimensi eksternal. Selain itu, skala nano dari suatu material juga dapat dilihat dari ada atau tidaknya struktur internal dalam ukuran nano. Definisi terakhir ini memungkinkan kita untuk mempertimbangkan apakah suatu material yang memiliki ukuran lebih besar atau lebih kecil dari rentang skala nano masih dapat dikategorikan sebagai nanomaterial dengan melihat struktur internal dan eksternalnya.

*Bapak, Ibu dan para hadirin yang saya hormati*

## **2. Klasifikasi Nanomaterial**

### **Klasifikasi nanomaterial berdasarkan asalnya atau proses pembentukannya**

Nanomaterial dapat diklasifikasikan berdasarkan asal pembentukannya, di mana klasifikasi ini terdiri dari nanomaterial yang berasal dari proses alami dan proses antropogenik. Klasifikasi tersebut juga dapat dibentuk berdasarkan bahan dasar nanomaterial yang bersifat insidental dan rekayasa, tergantung pada apakah pembentukannya secara disengaja atau tidak. Nanomaterial yang berasal dari bahan alami atau insidental umumnya disebut sebagai nanomaterial *ultrafine*. Sumber atau bahan alami pembentuk nanomaterial anorganik antara lain material yang berasal dari letusan gunung berapi, kebakaran hutan yang terjadi secara alamiah, dan badai pasir serta tanah (Kumar, 2009). Contoh dari nanomaterial yang berasal dari bahan atau proses alamiah adalah material lempung yang terdiri dari plat nano bertumpuk selebar 150 nm. Beberapa nanomaterial juga secara alami ditemukan dalam organisme hidup seperti magnetit biogenik, struktur kristal feromagnetik yang terkait dengan magnetoresepsi pada beberapa hewan, feritin, protein penyimpan besi, dan kalsium hidroksiapatit sebagai penyusun nanokristalin dalam tulang (Hochella dkk., 2012). Selain itu, nanomaterial juga ditemukan sebagai produk samping yang tidak disengaja dihasilkan dari aktivitas-aktivitas yang dilakukan oleh manusia. Sebagai contoh yakni penggunaan mesin pembakaran internal, pembangkit listrik, insinerator, mesin jet yang menghasilkan asap logam dari proses peleburan, pengelasan, dan lain-lain serta asap polimer. Selain itu nanomaterial juga tidak sengaja dihasilkan dari permukaan yang dipanaskan pada saat proses pengolahan makanan dilakukan seperti pembakaran, penggorengan, dan pemanggangan.

## Klasifikasi nanomaterial berdasarkan dimensinya

Klasifikasi nanomaterial kedua didasarkan pada dimensi nanomaterial itu sendiri. Jenis dimensi nanomaterial terdiri dari nanomaterial nol, satu, dua, dan tiga dimensi. Nanomaterial yang mana semua dimensi eksternalnya berada pada skala nano, yaitu antara 1 sampai 100 nm, dapat diklasifikasikan sebagai nanomaterial nol-dimensi (0D). Nanomaterial 0D terdiri dari berbagai jenis nanopartikel seperti *full sphere*, dendrimer simetris, dan *hollow sphere*. Nanomaterial 0D dapat digunakan secara mandiri, misalnya sebagai penanda sel (*cell marker*), pengemulsi dalam larutan (Luo dkk., 2014), dan penguat atau *reinforcement* dalam suatu komposit (Gao, 2012). Jenis kedua adalah nanomaterial satu dimensi. Nanomaterial satu dimensi (1D) memiliki dua dimensi eksternal pada skala nano, sedangkan dimensi ketiga biasanya berada dalam skala mikro. Contoh dari nanomaterial 1D antara lain *nanofibers*, *nanotubes*, *nanowires*, dan *nanorods*.

*Nanofibers* telah banyak disintesis menggunakan bahan anorganik seperti karbon, titanium dioksida, silikon dioksida, zirkonium dioksida, aluminium oksida, titanium nitrida, platinum, dan berbagai macam polimer termasuk nilon, poliuretan, poliolefin, polietilen tereftalat, polikarbonat, polivinil alkohol, asam polilaktat, polistirena, poliamida, dan lain-lain. Semua material tersebut dapat disintesis dan diaplikasikan sebagai *filter* dalam proses filtrasi (Brown dan Stevens, 2007). *Nanotube* memiliki bentuk kristal silindris berongga dengan susunan atom yang terorganisir dan berbentuk segi lima ataupun segi enam (Terrones dan Terrones, 2003). *Carbon nanotube* adalah salah satu contoh dari nanomaterial 1D yang paling terkenal dan biasanya diproduksi atau disintesis menggunakan bahan boron nitrida, molibdenum, tungsten atau tembaga sulfida, serta berbagai halida seperti nikel klorida, kadmium klorida, dan kadmium iodida. Selain itu contoh lain dari nanomaterial 1D adalah *nanowires*. *Nanowires* adalah nanomaterial 1D dengan rasio panjang terhadap lebar terbesar di antara nanomaterial 1D yang lain, yakni dengan rasio panjang terhadap lebar lebih dari 1000 (Hanson, 2007). *Nanowires* dapat dibuat dari senyawa semikonduktor seperti silikon, indium fosfida, galium nitrida, titanium dioksida serta logam-logam lain seperti nikel, timah, emas, perak, dan kobalt.

Jenis ketiga adalah nanomaterial yang memiliki satu dimensi eksternal pada skala nano yakni nanomaterial dua dimensi (2D). Contoh dari nanomaterial 2D antara lain *thin film*, *nanocoatings*, dan *nanoplates*. *Thin film* terdiri dari lapisan keramik atau logam yang dapat dibentuk setipis mungkin dan hanya terdiri dari beberapa lapisan atom (Ohring, 2001). Nanomaterial 2D sebagian besar digunakan atau diaplikasikan dalam bidang fisika dan elektronik, misalnya untuk aktivitas produksi komponen elektronik dengan sifat permukaan yang diinginkan dan perubahan sifat optik permukaan. Selain *thin film*, contoh lain dari nanomaterial 2D adalah *nanocoating*. Berbagai bahan dapat digunakan untuk memproduksi *nanocoating* seperti polimer dan komposit (Abbott and Holmes, 2013). Contoh terakhir dari nanomaterial 2D adalah *nanoplates*. *Nanoplates* bisa didapatkan dari proses alami, sebagai

contoh yakni *nanoplates* pada lempung *smectite*, atau dari proses produksi seperti *graphene*, *nanoplates* perak, emas, bismut selenida, dan bismut tellurida. Ketebalan *nanoplates* umumnya hanya berkisar beberapa nanometer, sedangkan lebar serta panjangnya berkisar antara 70-150 nm (untuk *nanoclay*) dan hingga 600 nm (untuk *graphene nanoribbons*) (Baringhaus dkk., 2014). *Nanoplates* dapat digunakan sebagai komponen dalam alat-alat elektronik dan juga sebagai pengisi atau penguat dalam material komposit dengan kemampuannya meningkatkan sifat mekanik dan sifat termal dari material komposit. Klasifikasi jenis nanomaterial berdasarkan dimensi terakhir adalah nanomaterial tiga dimensi (3D) yang tidak memiliki dimensi eksternal pada skala nano. Contoh dari nanomaterial 3D adalah nanokomposit. Nanokomposit adalah material padat yang terdiri dari multifase dengan setidaknya satu fase berada pada skala nano (Camargo dkk., 2009). Istilah nanokomposit umumnya digunakan untuk menggambarkan *nanofiller* yang tersebar dalam suatu matriks tertentu.

Tabel 1. Sifat dan aplikasi dari nanomaterial

Klasifikasi	Keunggulan	Aplikasi
Mekanik	Kekuatan, kekerasan, keplastisan yang tinggi serta densitas dan modulus elastisitas yang rendah	<i>Nanometal</i> keramik, peralatan pemotong dengan performa yang tinggi
Kalorifik	Panas spesifik dan koefisien termal ekspansi yang tinggi serta titik leleh yang rendah	Sistem konversi <i>solar-thermal</i> dengan efisiensi yang tinggi
Optik	Reflektivitas yang rendah dan daya adsorpsi yang tinggi	Sensor inframerah, sistem konversi <i>solar-thermal</i> dengan efisiensi yang tinggi
Listrik	Resistansi dan efek <i>quantum tunnel</i> yang tinggi	<i>Nanoscale electronic device</i> , elektroda, superkonduktor
Magnetik	Sifat magnetik yang kuat dan superparamagnetik	<i>Magnetic recording, magnetic materials, magnetic detectors</i>
Kimia	Daya difusi, adsorpsi, dan daya fotokatalitik yang tinggi	Katalis, antibakteri, bahan pemurnian air
Biologi	Permeabilitas dan luas permukaan yang tinggi	<i>Drug carrier, targeted drug delivery, drug screening</i> , anti kanker, tulang buatan

Contoh nanokomposit alami adalah tulang, dengan nanokristal kalsium hidroksiapatit yang tersebar dalam matriks kolagen. Perbedaan antara nanokomposit dan material komposit berkaitan dengan besarnya rasio antara luas permukaan dan volume dari *nanofiller* di dalam suatu matriks. Selain itu, nanomaterial juga dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis keberadaannya, apakah sebagai material utuh atau sebagai komponen dari suatu material utuh.

Pertama yaitu nanomaterial yang memiliki struktur keseluruhan dalam skala nano seperti kelompok *cluster*, nanopartikel, *nanowires*, *nanotubes*, dan *nanofilm*. Jenis kedua adalah nanomaterial yang memiliki unit dengan struktur nano sebagai komponen dari struktur utama material seperti padatan, material nanokomposit, material nanomesopori, dan material *nanosarray* (Lin dkk., 2014). Nanomaterial memiliki sifat-sifat fisik unggul seperti sifat cahaya, listrik, panas, magnet, serta sifat-sifat lain yang berbeda dari material lain yang tidak berada dalam skala nano (Paul dan Robeson, 2008). Berdasarkan sifat-sifatnya yang unggul, nanomaterial memiliki aplikasi yang sangat luas dan terlibat dalam banyak bidang seperti industri komponen elektronik dan perangkat optoelektronik, biologi, medis, kedirgantaraan, sumber daya, lingkungan, dan energi. Berbagai sifat dan aplikasi dari nanomaterial dapat dilihat di Tabel 1 (Lin dkk., 2014).

*Bapak, Ibu dan para hadirin yang saya muliakan*

### **3. Peranan Nanomaterial dalam Mewujudkan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan**

Ilmu terkait nanomaterial memiliki peran penting dalam mengatasi banyak permasalahan mengenai pembangunan berkelanjutan seperti ketersediaan air yang aman dan cukup serta penanganan berbagai permasalahan lingkungan lainnya (Torrison, 2012). Para ilmuwan yang mendalami riset tentang nanomaterial sedang berupaya untuk mengembangkan teknologi baru berbasis nanomaterial dalam mengatasi beberapa permasalahan dan tantangan yang datang dari berbagai bidang. Tantangan-tantangan tersebut meliputi bagaimana cara membuat alat elektronik dengan ukuran yang lebih kecil dan kapasitas penyimpanan data yang lebih besar, perangkat medis dan obat-obatan untuk mendeteksi dan mengobati penyakit lebih efektif dengan biaya yang lebih rendah dan efek samping yang lebih minimal, *filter* untuk menyediakan air minum yang bersih dan aman, material untuk membersihkan polutan kimia berbahaya yang terpapar di lingkungan, serta sensor untuk mendeteksi dan mengidentifikasi bahan kimia atau agen biologis yang berbahaya (*National Nanotechnology Initiative*, 2003). Nanoteknologi dalam hal ini nanomaterial memiliki potensi untuk memperbaiki kualitas lingkungan baik melalui aplikasi langsung dari nanomaterial untuk mendeteksi, mencegah, dan menghilangkan polutan, maupun secara tidak langsung dengan menggunakan nanoteknologi untuk merancang proses industri yang lebih bersih dan hijau (EPA, 2007).

*Hadirin yang saya hormati*

Seperti yang telah kita ketahui bersama bahwa pembangunan berkelanjutan adalah salah satu program yang paling mendesak untuk segera diwujudkan saat ini. Hal ini dapat menjadi kesempatan yang luar biasa bagi para praktisi dalam ilmu material dan teknik untuk berkontribusi dalam proses penyelesaiannya, karena terdapat banyak pendekatan yang berkaitan dengan nanomaterial dalam upaya untuk mencapai tujuan tersebut (Apelian, 2012).

Berdasarkan program-program *Sustainable Development Goals (SDGs)* yang kemudian diperluas menjadi *Millennium Development Goals (MDGs)*, Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) melalui sebuah konferensi tentang lingkungan dan pembangunan yang dilaksanakan di Rio de Janeiro pada tahun 2012, telah menyepakati untuk memberi perhatian yang lebih serius terhadap tiga permasalahan utama yang meliputi masyarakat global, lingkungan fisik bumi, dan ekonomi (UN, 2014). Upaya untuk mencapai program-program yang tertera di *SDGs* mulai dilakukan untuk menangani persoalan-persoalan yang ada terkait sulitnya mengatasi permasalahan lingkungan fisik bumi sebagai dampak dari berbagai aktivitas manusia. Penelitian ilmiah sudah mulai banyak diterapkan dan diorientasikan untuk penanganan permasalahan lingkungan tersebut, salah satunya mengaplikasikan nanoteknologi dalam hal ini nanomaterial sesuai yang dirumuskan oleh *National Nanotechnology Initiative (NNI)* dalam program Penelitian dan Pengembangan (R&D) Nanomaterial mulai tahun 1999. Pengetahuan dasar dan aplikasi terkait material berskala nano telah dibangun dan ditetapkan sebagai fokus utama oleh komunitas penelitian nanoteknologi pada dekade pertama (NSF, 2001).

Pada tahun 2020, terdapat peningkatan pemahaman sains terkait material berskala nano dan pengetahuan teknik terkait aplikasi yang menjanjikan dari nanomaterial. Perkembangan ini menjadikan nanomaterial mulai banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti industri, kedokteran, komputasi, tekstil, serta upaya dalam peningkatan kualitas konservasi alam. Perkembangan pesat dari nanomaterial beberapa waktu ke belakang telah menjadi bukti bahwa nanomaterial dapat digunakan dan dikembangkan untuk mengatasi berbagai permasalahan di bidang lingkungan dan bidang-bidang lain melalui penelitian-penelitian ilmiah yang inovatif (Ogbuagu dan Akubue, 2015).

Nanomaterial juga dapat dimodifikasi atau difungsionalisasi dengan berbagai jenis gugus fungsi kimia untuk meningkatkan afinitasnya terhadap senyawa tertentu termasuk zat terlarut dan gas. Material berskala nano memberikan peluang bagi para ilmuwan untuk mengembangkan bahan non fungsional menjadi bahan fungsional dengan sifat elektronik, optik, katalitik, dan magnetik yang lebih baik sehingga dapat diaplikasikan untuk beragam keperluan. Enam program dari aplikasi nanomaterial untuk mendukung terwujudnya pembangunan berkelanjutan yang bersifat global meliputi: mengoptimalkan dan memajukan bidang pertanian, meningkatkan taraf kesehatan masyarakat global melalui riset sintesis senyawa obat yang berkelanjutan, menyelesaikan permasalahan lingkungan terutama dalam penyediaan dan pengelolaan air bersih, mengembangkan teknologi dan energi yang lebih hijau, membangun dan mengembangkan industri berbasis kimia hijau, serta mengelola limbah gas rumah kaca (Ogbuagu dan Akubue, 2015).

*Para hadirin yang saya hormati*

### **Nanomaterial dalam upaya untuk memajukan bidang pertanian**

Menghentikan segala bentuk kelaparan dengan upaya meningkatkan ketahanan pangan



adalah salah satu tujuan yang diangkat dan dimuat dalam program ke-2 dari *SDGs*. Upaya yang dapat dilakukan untuk mewujudkan program ini salah satunya adalah mengoptimalkan sektor pertanian sehingga akan dihasilkan sumber pangan yang berkelanjutan. Dalam sektor pertanian, nanomaterial telah banyak digunakan untuk mendukung peningkatan kualitas dari banyak aktivitas di sektor tersebut.

Aplikasi nanomaterial di bidang pertanian salah satunya adalah dapat mengatasi berbagai masalah global terkait kasus kelaparan dan kekurangan gizi, serta dapat meningkatkan kualitas bidang pertanian terkait perbaikan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman. Aplikasi lain dari nanomaterial yang sangat bermanfaat dalam bidang pertanian adalah pemantauan kesehatan tanaman menggunakan *nanosensor array* (Ogbuagu dan Akubue, 2015). Nanosensor dapat meningkatkan efisiensi kegiatan pemantauan tanaman. Sensor yang diterapkan pada kulit ternak atau disemprotkan pada tanaman dapat membantu mendeteksi keberadaan patogen (Calestous dan Lee, 2005). Nanobioteknologi (gabungan antara nanomaterial dan bioteknologi), dapat dimanfaatkan untuk memperkaya keanekaragaman hayati. Para peneliti di Universitas Chiang Mai di Thailand, menggunakan nanomaterial untuk mengembangkan galur padi yang memiliki batang lebih pendek dan tidak sensitif terhadap sinar matahari, sehingga inovasi ini dapat mengurangi kerentanan terhadap kerusakan angin dan mengurangi biaya dalam proses penyimpanan (Calestous dan Lee, 2005).

### **Nanomaterial dalam perkembangan riset sintesis senyawa obat**

Program ke-3 *SDGs* membahas tentang upaya-upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan taraf kesehatan dari masyarakat global, salah satunya adalah melalui riset pengembangan senyawa obat dan vaksin yang berkelanjutan. Nanomaterial telah banyak digunakan sebagai bagian dari katalis yang diaplikasikan dalam berbagai reaksi sintesis senyawa obat. Peran dari nanomaterial dalam hal ini cukup beragam, salah satu contoh peranannya yang paling menonjol adalah menjadi pengemban atau matriks pada katalis logam untuk reaksi sintesis senyawa obat. Penggunaan nanomaterial di sini akan meningkatkan efisiensi reaksi.

Potensi aplikasi nanoteknologi dalam kedokteran diharapkan dapat memberikan jalan baru bagi upaya peningkatan taraf kesehatan masyarakat global. Terdapat tiga sektor dalam bidang kedokteran yang berhubungan dengan aplikasi nanomaterial di dalamnya antara lain pencegahan, diagnosis, dan terapeutik. Dalam hal pencegahan, pemberian vaksin menggunakan liposom atau misel di skala nano, diketahui sebagai metode yang lebih mudah dan lebih efisien untuk dilakukan (Saraceno dkk., 2013). Dalam hal diagnosis, komponen-komponen dalam skala nano seperti *nanocantilevers*, *nanotube*, dan *nanowires* dapat meningkatkan sensitivitas perangkat deteksi sehingga proses identifikasi sinyal biomolekular pada konsentrasi yang sangat rendah dapat dilakukan dengan efektif (Roszek dkk., 2005). Nanomaterial juga dapat diaplikasikan dalam bidang pencitraan molekular di dunia medis. Peningkatan kualitas pencitraan berbasis nanopartikel ini memungkinkan untuk melakukan deteksi sel tumor lebih

cepat sehingga tahap pengobatan bisa dilakukan lebih awal. Teknologi nano juga dapat digunakan untuk membuat pelindung dari radiasi di proses diagnostik radiologi dengan sifat yang lebih ringan dan fleksibel (Mortazavi dkk., 2013). Aplikasi dari nanomaterial dalam bidang kedokteran adalah penggunaannya untuk sistem *drug delivery*. Nanomaterial yang dapat digunakan dalam bidang ini antara lain *nanotube* dan *nanoshell*. Penggunaan nanomaterial sebagai sistem *drug delivery* didasarkan kemampuannya untuk menghantarkan senyawa obat langsung ke organ target dan melindungi senyawa obat dari kerusakan hingga sampai di organ target. Aplikasi terapeutik lain dari nanomaterial adalah penggunaan nanopartikel dalam proses penghancuran sel kanker yang sangat selektif seperti oksida besi, emas, dan *carbon nanotube*. Penargetan sel kanker dapat dicapai dengan menggabungkan nanopartikel ke antibodi. Prinsip yang sama juga dapat digunakan untuk mengirimkan obat kemoterapi langsung ke tumor target dan mengaktifkannya hanya saat berada di lokasi, hal ini tentunya juga meningkatkan efisiensi karena obat langsung bekerja di tempat seharusnya. Nanomaterial juga dapat dimanfaatkan untuk pengembangan perangkat *implant* seperti alat pacu jantung dan alat bantu dengar dengan ukuran yang lebih kecil dan peningkatan daya yang lebih baik. Selain itu, nanomaterial juga banyak digunakan dalam pembuatan tekstil medis, pakaian pelindung, dan pembalut dengan menggunakan nanopartikel perak yang memiliki sifat antibakteri (Saraceno dkk., 2013).

*Bapak, Ibu dan hadirin yang saya muliakan*

### **Nanomaterial dalam upaya mengatasi permasalahan lingkungan terutama pengelolaan ketersediaan air bersih**

Berdasarkan program ke-6 di *SDGs*, akses yang mudah dan aman terkait air minum untuk masyarakat global harus diwujudkan dan diprioritaskan. Selain itu, juga perlu dilakukan penggunaan air bersih seefisien mungkin untuk memastikan ketersediaan air bersih yang berkelanjutan. Pada program ini, nanomaterial diaplikasikan dalam upaya mendukung dan memperkuat komunitas global serta lokal untuk meningkatkan pengelolaan air dan sanitasi.

Pengembangan dan pengaplikasian teknologi nanomaterial dianggap sebagai salah satu upaya yang bersifat menjanjikan dalam proses penyelesaian berbagai permasalahan yang terjadi di lingkungan. Aspek pertama yakni menyangkut deteksi polutan (Monfort-Windels dan Lecomte, 2008). Dalam proses deteksi polutan, telah digunakan sensor yang terbuat dari *nanofilm* timah dioksida yang mana memungkinkan kita untuk mengukur konsentrasi CO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> yang sangat rendah di udara. Aspek kedua dari penggunaan nanomaterial untuk menyelesaikan permasalahan lingkungan adalah terkait dengan pengolahan air dan tanah untuk menghilangkan kontaminan di kedua kompartemen tersebut (Tyagi dkk., 2012). Dua metode yang dapat dilakukan untuk pengolahan air dan tanah di lingkungan adalah adsorpsi senyawa polutan yang terpapar di lingkungan perairan serta degradasi senyawa polutan melalui reaksi kimia atau fotokimia menggunakan nanomaterial. Sebagai contoh yaitu titanium dioksida, seng oksida, magnesium oksida, dan tembaga oksida, yang ditemukan sangat efisien dalam

melakukan reaksi oksidasi fotokatalitik atau elektrokatalitik polutan organik. Aspek terakhir yakni menyangkut penyaringan udara bersih dari polutan-polutan yang terpapar di dalamnya. Filter *nonwoven* berbasis *nanofibers* dapat digunakan secara efisien untuk menghilangkan senyawa organik toksik yang mudah menguap di udara.

Diallo dkk., (2013) dalam penelitiannya melaporkan bahwa nanopartikel oksida logam memiliki potensi besar sebagai bahan katalis untuk pemurnian air karena luas permukaannya yang besar serta sifat optik dan elektroniknya yang unggul. Selama beberapa dekade terakhir, nanopartikel titanium dioksida sebagai salah satu semikonduktor oksida logam, telah muncul sebagai fotokatalis yang memiliki keunggulan untuk digunakan dalam proses pengolahan air. Nanopartikel titanium dioksida (titania) bersifat serbaguna serta dapat berfungsi sebagai katalis oksidatif dan reduktif untuk polutan organik dan anorganik. Penelitian terkait penggunaan nanomaterial berbasis oksida logam termasuk titania, sebagai salah satu upaya dalam penanganan permasalahan lingkungan perairan yang disebabkan oleh limbah zat warna dan limbah organik serta limbah anorganik telah banyak dilakukan. Seiring berjalannya waktu, berbagai jenis nanokomposit juga telah berhasil disintesis dan diuji aplikasinya dalam mendegradasi limbah senyawa organik seperti zat warna, klorofenol, nitrobenzena, dan lain-lain. Material-material yang berhasil disintesis dan dimodifikasi tersebut seperti nanopartikel titania dan nanokomposit berbasis titania. (Kunarti dkk., 2017, 2018, 2020, 2021; Ramanda dkk., 2019; Budi dkk., 2020; Musawwa dkk., 2021).

Dalam perkembangan penelitian yang telah dilakukan, nanopartikel magnetit juga mendapat perhatian sebagai *modifier* dalam nanokomposit berbasis titania. Nanopartikel magnetit memiliki sifat magnetik alami yang mana akan meningkatkan efektivitas nanokomposit berbasis titania sebagai fotokatalis. Magnetit akan membuat nanokomposit tersebut bersifat *separable* sehingga dapat dipisahkan dengan mudah dari media cairnya. Selain itu, hal ini akan menjadikan nanokomposit dapat digunakan kembali untuk aplikasi selanjutnya (*reusable*). Beberapa penelitian mengenai cara meningkatkan aktivitas titania sebagai fotokatalis dalam proses degradasi limbah di perairan telah dilakukan dengan cara doping titanium dioksida menggunakan bahan logam seperti Co, Cu, Ag, dan Ni (Ashmarisyah dkk., 2017; Fauzian dkk., 2017; Aisyiah dkk., 2019; Musawwa dkk., 2021) serta bahan non logam seperti sulfur (Kunarti dkk., 2021) dan bahan polimer seperti polianilin (PANI) (Wahyuni dkk., 2018; Budi dkk., 2020).

Selain titanium dioksida, seng oksida juga banyak digunakan sebagai semikonduktor fotokatalis dalam reaksi degradasi polutan zat warna (Fadillah dkk., 2021; Pujiarti dkk., 2021). Nanomaterial lain yang pernah dikaji adalah nanokomposit dari silika dan gugus merkapto, silika dan gugus amina, serta silika dan gugus sulfonat. Material silika tersebut diaplikasikan untuk menganani limbah perairan terkait adsorpsi ion logam Cd(II) (Buhani dkk., 2010), Cu(II) (Buhani dkk., 2015), Ca(II), Pb(II) dan Ag(I) (Sulastri dkk., 2011). Selain itu, juga disintesis nanopartikel emas untuk digunakan sebagai sensor limbah ion  $Fe^{3+}$  yang terpapar di lingkungan (Andreani dkk., 2021). Pada tahun 2020, telah disintesis nanopartikel perak untuk diaplikasikan

sebagai sensor paraquat di lingkungan (Gusrizal dkk., 2020), selain itu terdapat nanopartikel emas yang disintesis dan digunakan sebagai sensor limbah klorpirifos (Aji dkk., 2020), dan nanokomposit hematit-silika ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ - silika) untuk degradasi limbah p-klorofenol di lingkungan.

*Bapak, Ibu dan para hadirin yang saya muliakan*

### **Nanomaterial untuk mendukung terciptanya teknologi dan energi yang lebih hijau**

Aplikasi berikutnya dari nanomaterial dalam *SDGs* ini berkesesuaian dengan program ke-7 dari *SDGs* terkait energi yang murah dan bersih (hijau). Pada program ini diharapkan akan didapatkan akses energi yang mudah, murah, dan bersih. Selain itu, juga diupayakan adanya penggunaan energi yang efisien dan produksi energi yang bersifat terbarukan dan berkelanjutan.

Energi merupakan salah satu bidang utama dalam fokus implementasi pembangunan berkelanjutan yang mana nanomaterial memiliki banyak hal untuk ditawarkan dalam pengembangan di bidang ini. Pada tingkat sumber energi, *nanocoating* dapat digunakan untuk perlindungan dari terjadinya keausan dan korosi pada peralatan saat proses pengeboran minyak dan gas dilakukan. Nanokomposit juga telah banyak digunakan sebagai pelindung dari radiasi di bidang pembangkit tenaga nuklir. Lebih penting lagi, nanomaterial juga memainkan peran yang sangat penting dalam upaya penggunaan sumber energi terbarukan yang lebih intensif dan efisien. Sebagai contoh, dalam aplikasi di bidang energi sel surya, nanomaterial digunakan untuk pembuatan pelapis antireflektif dan pembersih otomatis sehingga dapat meningkatkan efisiensi sel surya dan memungkinkan untuk mengurangi biaya operasional. Dalam jangka panjang, penggunaan *quantum dot* dan *nanowires* juga dapat digunakan dalam bidang energi sel surya untuk meningkatkan efisiensi hingga lebih dari 60% (Monfort-Windels dan Lecomte, 2008).

Peningkatan efisiensi sumber energi berbasis angin, panas bumi, air, dan tenaga dari pasang surut air laut juga dapat dicapai dengan menggunakan nanokomposit yang memiliki sifat lebih ringan, kuat, serta dapat tahan terhadap aus dan korosi. Dalam hal konversi energi, nanoteknologi memungkinkan kita untuk melakukan proses konversi dengan suhu reaksi yang lebih rendah dan menghasilkan bahan bakar dengan efisiensi lebih tinggi. Sebagai contoh, penggunaan nanopartikel logam dalam reaksi perengkahan dan nanopartikel semikonduktor seperti titanium dioksida dalam proses produksi bahan bakar hidrogen dengan efisiensi yang tinggi. Nanopartikel komposit titania termodifikasi magnetit dan silika telah berhasil digunakan sebagai katalis untuk reduksi fotokatalitik tidak langsung gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dalam produksi bahan bakar metanol (Ramanda dkk., 2019; Pradipta dkk., 2020). Selain itu, nanokomposit bersifat insulator dan nanomagnetik sebagai basis dari transformator juga dapat digunakan untuk melakukan transmisi pada tegangan tinggi. Mengenai penyimpanan energi, nanomaterial juga dapat menyediakan solusi potensial seperti pembuatan membran penyimpan energi berbasis nanokeramik yang memiliki sifat tahan panas, fleksibel, serta memiliki kinerja tinggi, dan bersifat aman.

Perubahan iklim global adalah salah satu tantangan terbesar yang dihadapi abad kedua puluh satu (Solomon dkk., 2007). Peningkatan emisi gas rumah kaca seperti CO<sub>2</sub> dari pembakaran bahan bakar fosil (misalnya batu bara dan minyak bumi) dianggap sebagai pendorong utama dari perubahan iklim global (Solomon dkk., 2007). Upaya untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat sekaligus mengurangi emisi gas CO<sub>2</sub> perlu dilakukan di masa mendatang dengan menerapkan sistem energi bersih dan terbarukan (Diallo dkk., 2013). Nanomaterial memberikan peluang yang tidak pernah terjadi sebelumnya untuk memajukan pengembangan teknologi energi yang bersih dan terbarukan (Fromer dan Diallo, 2013).

*Solar photovoltaics* telah muncul sebagai sumber energi listrik terbarukan yang paling menarik karena kelimpahan, keserbagunaan, dan kemudahan penerapannya dengan dampak lingkungan yang minimal dalam hal konsumsi air dan penggunaan lahan (Roco dkk., 2011). Choi dkk., (2012) telah membahas terkait penggunaan hidrogen sebagai bahan bakar dari proses pemecahan molekul air dengan memanfaatkan energi dari sinar matahari. Hal ini tentunya sangat berpotensi untuk menopang persediaan energi yang bersih di masa akan datang. Choi dkk., (2012) juga menyatakan bahwa perlu dilakukan pengkajian terhadap percobaan implementasi sistem *solar photovoltaic electrolysis* pada skala yang lebih besar dalam rangka mewujudkan teknologi energi bersih di masa mendatang. Sistem ini memanfaatkan nanopartikel semikonduktor yang dilapiskan pada suatu substrat logam sebagai elektroda dalam proses pembentukan hidrogen melalui reaksi pemecahan molekul air dan oksidasi senyawa organik yang terdapat di air limbah. Nanomaterial juga banyak diaplikasikan sebagai katalis yang digunakan untuk reaksi *hydrotreating* dalam produksi bahan bakar terbarukan sebagai salah satu sumber energi yang berkelanjutan. Penggunaan nanomaterial dalam produksi energi dapat meningkatkan efisiensi konversi, menyederhanakan dan mempercepat proses produksi bahan bakar di skala industri, serta meningkatkan efisiensi penyimpanan energi. Dengan adanya nanomaterial sebagai katalis, kita dapat memproduksi bahan bakar terbarukan dari limbah-limbah berbasis karbon seperti minyak jelantah dan plastik. Suatu bahan yang semula tidak bernilai dapat diubah menjadi bahan yang bernilai seperti energi berupa bahan bakar dengan menggunakan nanomaterial sebagai katalis dalam proses konversinya.

*Para hadirin yang saya muliakan*

### **Nanomaterial dalam upaya untuk mewujudkan kegiatan manufaktur berbasis kimia hijau**

Pada program ke-9 dari *SDGs*, telah disebutkan bahwa salah satu tujuan yang ingin dicapai dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan adalah pembangunan industri yang

berbasis pada prinsip *clean and sustainable*. Pada program ini, nanomaterial dapat diaplikasikan sebagai salah satu solusi yang menjanjikan dalam pengembangan manufaktur hijau di bidang semikonduktor, kimia, petrokimia, pengolahan bahan, farmasi dan banyak industri lainnya.

Bidang manufaktur termasuk dalam bagian yang sangat penting untuk menciptakan ekonomi yang bersifat berkelanjutan. Manufaktur merupakan kunci utama yang akan mendorong terciptanya inovasi dan pekerjaan bernilai tinggi baik di negara maju maupun berkembang (Liveris, 2012). Aktivitas-aktivitas di bidang industri manufaktur dapat memberikan dampak yang cukup serius untuk lingkungan. Pertama, aktivitas di bidang industri membutuhkan bahan, energi, dan air dalam jumlah yang besar. Kedua, aktivitas-aktivitas industri juga dapat menghasilkan banyak limbah baik limbah gas, cair ataupun padat, serta produk samping beracun yang perlu dibuang atau diubah menjadi produk yang tidak berbahaya. Nanomaterial muncul sebagai solusi yang memungkinkan untuk mengembangkan manufaktur hijau di bidang semikonduktor, kimia, petrokimia, pengolahan bahan, farmasi dan banyak industri lainnya (Roco dkk., 2011). Busnaina dkk., (2013) dalam penelitiannya telah melakukan pengkajian terkait *state-of-the-art* dari *nanomanufacturing*. Mereka berpendapat bahwa proses dalam kegiatan *nanomanufacturing* berbasis perakitan yang cepat dan terarah, yang dilakukan pada suhu kamar dan tekanan atmosfer, dapat menurunkan biaya produksi secara signifikan dengan mengurangi konsumsi bahan, air, energi dan jumlah limbah produksi yang dihasilkan demi mewujudkan kegiatan industri yang berkelanjutan. Peleburan antara nanomaterial dan bioteknologi juga memberikan peluang baru untuk mengembangkan Prinsip Kimia Hijau yang tidak beracun dan ramah lingkungan dalam sintesis nanomaterial fungsional menggunakan bakteri, jamur, dan tanaman (Mohanpuria dkk., 2008).

*Bapak, Ibu dan hadirin yang saya hormati*

Pengembangan industri bahan-bahan kimia sebagian besar juga merasakan manfaat dari adanya nanomaterial. Dalam industri pembuatan cat dan bahan pelapis lainnya, penggunaan nanopartikel sebagai pengisi dalam bahan utama dapat meningkatkan ketahanan terhadap goresan, abrasi, panas, radiasi, pembengkakan, dan penuaan lingkungan dibandingkan dengan bahan pengisi yang masih berada dalam skala mikro. Nanomaterial juga meningkatkan nilai modulus serta sifat kekerasan, mengurangi gas, air, dan permeabilitas uap air di produk dari industri cat atau bahan pelapis lainnya. Selain itu, penggabungan nanopartikel dalam larutan cat dapat mengurangi pembentukan retakan dan rongga pada saat fase penguapan air terjadi. Hal ini tentunya membuat produk cat dan pelapis-pelapis lainnya memiliki kinerja perlindungan terhadap korosi dan kelembaban yang lebih baik dari produk yang dihasilkan tanpa melibatkan nanomaterial di dalam prosesnya. *Nanofiller* juga dapat dimanfaatkan dalam proses *antifouling*, *self-cleaning* dan *anticondensation* yang lebih ramah lingkungan karena adanya sifat superhidrofobik yang dimiliki *nanofiller*. Selain itu, beberapa *nanofiller* digunakan untuk membuat produk dengan sifat-sifat potensial seperti antibakteri, antistatik, tahan api, dan lapisan

pelindung UV transparan. Contoh *nanofiller* yang banyak digunakan dalam industri pembuatan cat dan pelapis lainnya adalah *nanoclay*, titanium dioksida, perak, silika, seng oksida, alumina, kalsium karbonat, polianilin logam organik, dan zirkonia. Penggunaan *nanofiller* dalam komposit polimer juga dapat meningkatkan kinerja aplikasi. Tergantung pada sifat dari masing-masing material induknya, efek yang berbeda dapat diamati jika nanomaterial berfase amorf atau kristal digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan suatu produk (Gacitua dkk., 2005). Nanomaterial sangat potensial dan berpeluang untuk digunakan sebagai bahan kimia didasarkan pada sifat-sifatnya yang unggul antara lain luas permukaannya yang sangat besar dan reaktivitasnya yang sangat tinggi. Jenis nanopartikel yang ditargetkan untuk aplikasi ini antara lain nanopartikel logam mulia, semikonduktor, oksida logam, logam transisi, logam tanah jarang, logam alkali tanah, alotropi karbon, dan polimer.

Selain itu, sektor konstruksi juga telah menggunakan atau mengaplikasikan nanomaterial dalam proses-proses di dalamnya. Nanomaterial banyak ditemukan di hampir setiap bagian rumah atau bangunan yang mana terdiri dari tiga jenis produk utama yakni beton, cat, dan insulator (van Broekhuizen dan van Broekhuizen, 2009). Sebagai contoh, penambahan nanopartikel titanium dioksida dan silika ke beton memungkinkan terbentuknya keteraturan porositas yang lebih baik dan menghasilkan bahan yang lebih tahan terhadap air serta tahan lama. Pelapis dan cat berbasis nanomaterial telah digunakan pada semua jenis permukaan seperti dinding dan lantai, kayu, kaca, serta trotoar. Nanomaterial menggabungkan berbagai kelebihan seperti peningkatan daya tahan, transparansi, dan karakteristik baru seperti sifat *self-cleaning* dan antibakteri, ketahanan UV, penyerapan atau refleksi IR, konduktivitas listrik, serta ketahanan terhadap api yang membuat nanomaterial lebih unggul dibandingkan material-material yang lain.

Jenis nanopartikel yang digunakan dalam industri penghasil cat untuk aplikasi konstruksi antara lain titanium dioksida, seng oksida, perak, silika, dan alumina. Aplikasi lain dari nanomaterial dalam bahan bangunan adalah penambahan *nanoclay* pada polimer untuk mewujudkan sifat ketahanan terhadap api; nanopartikel vanadium dan molibdenum pada baja untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi, dan nanopartikel magnesium dan kalsium pada baja untuk meningkatkan sifat mekanik (Brown dan Stevens, 2007).

### **Nanomaterial dalam upaya pengelolaan gas rumah kaca**

Seperti yang telah kita ketahui bersama, bahwa gas rumah kaca adalah salah satu penyebab utama terjadinya pemanasan global di bumi. Gas rumah kaca banyak dihasilkan dari bidang industri dan transportasi melalui pembakaran bahan bakar berbasis fosil. Program ke-13 dari *SDGs* secara umum bertujuan untuk menekan terjadinya pemanasan global, perubahan iklim, dan masalah lingkungan lainnya yang disebabkan oleh aktivitas manusia. Dalam hal ini, aplikasi dari nanomaterial dapat mengambil peran dalam pengolahan gas rumah kaca dalam rangka menekan risiko terjadinya permasalahan lingkungan yang lebih buruk.

Saat ini, bahan bakar fosil menyediakan sekitar 80% dari energi yang digunakan di

seluruh dunia (IPCC, 2005). Meskipun banyak sumber energi yang tidak mengemisikan CO<sub>2</sub> sedang dikembangkan, sebagian besar masyarakat global akan terus menggunakan bahan bakar fosil dalam jumlah besar di masa mendatang. Dengan demikian, *carbon capture and storage* muncul sebagai alternatif jangka pendek hingga menengah yang layak diterapkan untuk mengurangi jumlah CO<sub>2</sub> antropogenik yang dilepaskan ke atmosfer (IPCC, 2005). Nanomaterial tersebut memiliki potensi untuk memberikan solusi yang efisien, hemat, dan ramah lingkungan dalam proses pemisahan CO<sub>2</sub>, serta penangkapan dan penyimpanan karbon sebagai bahan bakar alternatif (Roco dkk., 2011). Nanopartikel titanium dioksida juga telah terbukti efektif untuk digunakan dalam proses dekomposisi polutan udara dari knalpot kendaraan melalui reaksi fotokatalisis (Dolez, 2015).

## **Penutup**

Dari paparan yang telah saya sampaikan sebelumnya, kita secara bersama-sama telah memahami bahwa nanomaterial memiliki aplikasi yang sangat luas dalam hal implementasi program-program dari *Sustainable Development Goals*. Nanomaterial memiliki potensi yang sangat besar untuk membantu mewujudkan program-program tersebut seperti upaya dalam menurunkan tingkat kelaparan dan mencapai ketahanan pangan, memastikan kehidupan yang sehat dan sejahtera untuk semua lapisan masyarakat, memastikan ketersediaan dan manajemen air bersih, memastikan akses terhadap energi yang berkelanjutan, serta menyelesaikan berbagai permasalahan lingkungan. Melalui pengembangan dan pemanfaatan nanomaterial di banyak bidang, tentunya kita berharap bahwa hal ini akan mendukung terwujudnya pembangunan berkelanjutan di masa depan, sehingga generasi akan datang juga dapat merasakan kesejahteraan tanpa adanya permasalahan lingkungan dan sosial yang berarti. Kita tentunya juga berharap bahwa akan ada lebih banyak lagi inovasi-inovasi baru dari bidang nanomaterial ataupun bidang lain yang berorientasi pada realisasi dan implementasi program-program dari *Sustainable Development Goals*.

*Bapak, Ibu dan para hadirin yang saya hormati*

## **Ucapan Terima Kasih**

Sebelum saya mengakhiri pidato ini, sekali lagi saya ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Pemerintah Republik Indonesia, khususnya Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi RI atas kepercayaan yang diberikan kepada saya untuk memangku jabatan Guru Besar dalam bidang Ilmu Kimia. Ungkapan terima kasih juga kami tujukan kepada Pimpinan Universitas, Senat Akademik, Dewan Guru Besar, dan Tim PAK tingkat Fakultas dan Universitas yang telah menyetujui dan mengusulkan saya dalam jabatan Guru Besar.



Ungkapan terima kasih yang tulus juga saya sampaikan kepada Pimpinan Fakultas MIPA UGM, Pimpinan dan Anggota Senat Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UGM, Ketua dan Sekretaris Departemen Kimia, Kepala Laboratorium Kimia Anorganik FMIPA UGM, serta Tim Penilai Karya Ilmiah di Departemen Kimia (Prof. Dr.rer.nat. Nuryono, M.S., Prof. Dr. Endang Tri Wahyuni, M.S., Prof. Dra. Wega Trisunaryanti, M.S., Ph.D. Eng. dan Prof. Drs. Mudasir, M.Eng., Ph.D.) yang telah menilai, memproses, dan mengusulkan saya untuk memperoleh jabatan Guru Besar. Apresiasi yang setinggi-tingginya saya sampaikan kepada para Guru Besar di Departemen Kimia yang telah menyetujui usulan GB saya: Prof. Dr. Bambang Rusdiarso, DEA., Prof. Dr. Iip izul Falah, Prof. Dr. Sabirin Matsjeh, Prof. Dr. Bambang Setiaji, Prof. Dr. Chairil Anwar, Prof. Dr. Triyono, SU., Prof. Dr. Endang Tri Wahyuni, M.S., Prof. Drs. Mudasir, M.Eng., Ph.D., Prof. Dr.rer.nat. Nuryono, M.S., Prof. Dra. Wega Trisunaryanti, M.S., Ph.D.Eng., Prof. Dr.rer.nat. Karna Wijaya, M.Eng., Prof. Drs. Sri Juari Santosa, M.Eng., Ph.D., dan Prof. Dr.rer.nat. Harno Dwi Pranowo, M.Si. Terima kasih juga saya haturkan kepada Dr.-Ing. Mhd. Reza M.I. Pulungan, S.Si., M.Sc., Dr. Agus Kuncaka, DEA, dan Prof. Drs. Roto M.Eng., Ph.D. yang telah memberikan saran dan koreksi atas usulan GB saya. Ucapan terima kasih yang tulus juga saya tujukan kepada kolega di Laboratorium Kimia Anorganik: Prof. Dr. Bambang Rusdiarso, DEA, Dr. Yateman Arryanto, Prof. Dr.rer.nat. Nuryono, M.S., Prof. Drs. Sri Juari Santosa, M.Eng., Ph.D., Dr. Sutarno, M.Si., Dr. Suyanta, M.Si., Prof. Indriana Kartini, S.Si., M.Si., Ph.D., Fajar Inggit Pambudi, S.Si., M.Sc., Ph.D., dan Adhi Dwi Hatmanto, S.Si., M.Sc., Ph.D., dan seluruh Staf Dosen Departemen Kimia atas motivasi dan dukungannya. Kepada rekan-rekan Staf Kependidikan di lingkungan Departemen Kimia dan Fakultas MIPA serta bagian SDM UGM, saya mengucapkan terimakasih atas bantuannya demi kelancaran pengumpulan berkas dan dokumen yang diperlukan dalam proses pengajuan kenaikan jabatan saya.

Selanjutnya dengan merunut perjalanan pendidikan saya mulai tingkat dasar sampai perguruan tinggi, saya haturkan terima kasih dan hormat saya kepada guru-guru saya di SD Negeri Gemblegan I Klaten, guru-guru saya di SMP Negeri IV Klaten, serta guru-guru saya di SMA Negeri I Klaten. Kepada dosen-dosen saya di Fakultas MIPA, lebih khusus lagi di Departemen (Jurusan) Kimia, saya ucapkan terima kasih setinggi-tingginya atas bimbingannya dalam mempelajari keindahan ilmu kimia.

Kepada Dosen Pembimbing Skripsi S1 saya, Alm. Prof. Dr. Hardjono Sastrohamidjojo; Dosen Pembimbing Tesis S2 saya, Alm. Prof. Dr. Narsito, saya menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bimbingan dan ilmu yang telah diberikan. Saya menghaturkan terima kasih kepada Alm. Prof. Dr. Narsito yang telah berjasa sebagai Pembimbing Pendamping Skripsi (S1) dan Dr. Yateman Arryanto sebagai Pembimbing Pendamping Tesis (S2) saya. Kepada Prof. Grainne Moran, supervisor saya, dan Assoc. Prof. Graham Ball, co-supervisor saya, selama saya menyelesaikan Disertasi (Ph.D.) di *School of Chemistry, Faculty of Science, the University of New South Wales, Australia*, saya menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bimbingan dan ilmu yang diberikan sehingga saya dapat menyelesaikan

studi S3. Selanjutnya, saya menghaturkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Prof. Dr.rer.nat. Nuryono, M.S. dan Prof. Dr. Triyono, S.U. atas masukan yang sangat membangun pada perbaikan naskah pidato saya ini.

Terima kasih juga saya ucapkan kepada Yayasan Supersemar, Kementerian Pendidikan Nasional dan *QUE Project* Dikti atas beasiswa yang diberikan kepada saya masing-masing untuk studi S1, S2 dan S3. Kepada Dikti, Direktorat Penelitian UGM, Fakultas MIPA dan Departemen Kimia FMIPA UGM saya ucapkan terimakasih atas bantuan dana untuk penelitian melalui antara lain proyek Penelitian Fundamental, Hibah Bersaing, PMDSU, PDUPT, RTA, Penelitian Dasar dan Hibah Dosen Departemen Kimia Fakultas MIPA UGM. Melalui pendanaan tersebutlah saya dapat mempublikasikan hasil-hasil penelitian saya, baik di tingkat nasional maupun internasional.

Penghargaan, sembah sujud dan terima kasih saya haturkan kepada Bapak dan Ibu saya, Bambang Sikun Suharjo (alm) dan Samirah Suharjo (almh) yang telah mengasuh dan mendidik dengan kasih sayang serta mendoakan saya. Beliau berdua adalah panutan saya dalam menyikapi hidup dan menuntut ilmu setinggi-tingginya. Ungkapan terima kasih juga saya haturkan kepada Bapak dan Ibu mertua saya, Abdullah Uddin (alm) dan Rahimi (almh) atas kasih sayang, perhatian dan doanya. Semoga amal baik para orang tua kami diterima Allah SWT dan diberikan kemudahan dalam perjalanan menghadapNya serta mendapatkan tempat terbaik di sisiNya. Aamiin.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada adik-adik saya, Dr. Bambang Kunarto, Bambang Kunarno, M.P., dan Endang Kunarsih, M.Si.; adik-adik ipar saya, Marwati Sagita, Guslinar Lapitayani, Nurlasmi Minarti, SE dan Ade Haryanto, SE atas kebersamaan, pengertian, kerjasama dan doanya.

Ungkapan terima kasih yang tulus saya sampaikan kepada suami saya, Dr. Azhari, atas kasih sayang, motivasi, semangat, pengertian dan kesempatan yang diberikan kepada saya, sehingga saya bisa mengembangkan potensi diri saya dan menjalankan amanah yang diberikan kepada saya. Terima kasih diiringi rasa sayang yang tulus untuk anak saya, Dennis Atyugrasiwi, M.Eng., yang telah memberikan motivasi, semangat, energi dan dukungan penuh kepada kedua orang tuanya.

Tidak lupa pula pada kesempatan yang berbahagia ini saya ucapkan terima kasih kepada semua mahasiswa saya, salah satunya Dewi Agustiniingsih, S.Si., serta Staf Kependidikan dan Teknisi Laboratorium di lingkungan Departemen Kimia FMIPA UGM atas kerjasama dan partisipasinya dalam riset-riset saya selama ini.

Pada akhir pidato pengukuhan Guru Besar ini, ijin saya menyampaikan terima kasih kepada Pimpinan Sidang, Ketua, Sekretaris, dan Dewan Guru Besar yang saya hormati, serta para hadirin atas kesabarannya dalam mengikuti pidato pengukuhan ini hingga akhir. Saya memohon maaf apabila terdapat kata dan kalimat yang kurang tepat dan kurang berkenan. Pada akhirnya, ijin saya memohon restu kepada para hadirin agar saya diberi kemampuan untuk dapat melaksanakan tanggung jawab saya sebagai Guru Besar dalam mengabdikan ilmu saya

untuk kemajuan universitas almamater tercinta pada khususnya dan bangsa Indonesia pada umumnya. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan hidayahNya kepada kita semua dan semoga Allah SWT selalu memberikan karunia kesehatan kepada kita semua, khususnya pada masa pandemi COVID-19 ini.

*Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.*

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbott, S. and Holmes, N., 2013, *Nanocoatings: principles and practiced from research to production*, DEStech Publications Inc., Lancaster.
- Aisyiah, R.P.U., Sulthon, M.N.S.P., Miqdam, M.M., and Eko, S.K., 2019, The influence of Cu dopant concentration on the optical properties of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> nanocomposite, *Mater. Sci. Forum*, 948, 260–266.
- Aji, A., Santosa, S.J., and Kunarti, E.S., 2020, Effect of reaction time and stability properties of gold nanoparticles synthesized by p-aminobenzoic acid and p- aminosalicylic acid, *Indones. J. Chem.*, 20, 413–421.
- Andreani, A.S., Kunarti, E.S., Hashimoto, T., Hayashita, T., and Santosa, S.J., 2021, Fast and selective colorimetric detection of Fe<sup>3+</sup> based on gold nanoparticles capped with ortho-hydroxybenzoic acid, *J. Environ. Chem. Eng.*, 9, 105962.
- Apelian, D., 2012, Materials science and engineering's pivotal role in sustainable development for the 21st century, *MRS Bull.*, 37, 318–323.
- Ashmarisya, S., Kunarti, E.S., and Kartini, I., 2017, Synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub>-Ni composite as a magnetically recoverable photocatalyst, *Mater. Sci. Forum*, 901, 8– 13.
- Baringhaus, J., Ruan, M., Edler, F., Tejada, A., Sicot, M., Taleb-Ibrahimi, A., Li, A.P., Jiang, Z., Conrad, E.H., Berger, C., Tegenkamp, C., and De Heer, W.A., 2014, Exceptional ballistic transport in epitaxial graphene nanoribbons, *Nature*, 506, 349– 354.
- Brown, P.J. and Stevens, K., 2007, *Nanofibers and nanotechnology in textiles*, Oxford UK: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, Boca Raton, Boston, New York, Washington DC.
- Budi, I.S., Santosa, S.J., and Kunarti, E.S., 2020, Polyaniline (PANI)-sensitized Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> nanocomposites as photocatalyst for the reduction of Au(III) ions, *Rasayan J. Chem.*, 13, 202–209.
- Budi, I.S., Kartini, I. and Kunarti, E.S., 2020, Photoreduction of Pb(II) Using TiO<sub>2</sub> Catalyst Modified with Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles, *Key Eng. Mater.*, 840, 79-83
- Buhani, Narsito, Nuryono, and Kunarti, E.S., 2010, Production of metal ion imprinted polymer from mercapto-silica through sol-gel process as selective adsorbent of cadmium, *Desalination*, 251, 83–89.
- Buhani, Narsito, Nuryono, Kunarti, E.S. and Suharso, 2015, Adsorption competition of Cu(II) ion in ionic pair and multi-metal solution by ionic imprinted amino-silica hybrid adsorbent, *Desalin. Water Treat.*, 55, 1240–1252.
- Calestous, J. and Lee, Y., 2005, *UN Millennium Development Project: Taskforce on Science, Technology and Innovation*, Earthscan, London.
- Camargo, P.H.C., Satyanarayana, K.G., and Wypych, F., 2009, Nanocomposites: Synthesis, structure, properties and new application opportunities, *Mater. Res.*, 12, 1–39.
- Choi, J., Qu, Y., and Hoffmann, M.R., 2012, SnO<sub>2</sub>, IrO<sub>2</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and TiO<sub>2</sub> nanoparticle anodes: Electrochemical oxidation coupled with the cathodic reduction of water to yield molecular H<sub>2</sub>, *J. Nanoparticle Res.*, 14.

- Diallo, M.S., Fromer, N.A., and Jhon, M.S., 2013, Nanotechnology for sustainable development: Retrospective and outlook, *J. Nanoparticle Res.*, 15.
- Dolez, P.I., 2015, Nanomaterials Definitions, Classifications, and Applications.
- EPA, 2007, *Nanotechnology White Paper*, Office of the Science Advisor-Science Policy Council, Washington DC. Dapat diakses di [www.epa.gov/osa](http://www.epa.gov/osa)
- European Commission, 2011, *Commission recommendation of 18 October 2011 on the definition of nanomaterial*, Off J Eur Union.
- Fadillah, N.D., Sri Kunarti, E., and Kartini, I., 2021, Degradation of titan yellow using ZnO/Ag embedded with Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles under visible light-induced, *Key Eng. Mater.*, 884, 54–59.
- Fauzian, M., Taufik, A., and Saleh, R., 2017, Photocatalytic performance of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub>/Ag nanocomposites for photocatalytic activity under visible light irradiation, *AIP Conf. Proc.*, 1862.
- Fromer, N.A. and Diallo, M.S., 2013, Nanotechnology and clean energy: Sustainable utilization and supply of critical materials, *J. Nanoparticle Res.*, 15.
- Gacitua, W.E., Ballerini, A.A., and Zhang, J., 2005, Polymer nanocomposites: synthetic and natural fillers a review. *Cienc.Tecnol*, 7(3).
- Gao, F., 2012, *Advances in polymer nanocomposites types and applications*. Woodhead Publishing Limited, Oxford, Cambridge, Philadelphia, New Delhi.
- Gusrizal, G., Santosa, S.J., Kunarti, E.S., and Rusdiarso, B., 2020, Silver nanoparticles capped with P-hydroxybenzoic acid as a colorimetric sensor for the determination of paraquat, *Indones. J. Chem.*, 20, 688–696.
- Hanson, G.W., 2007, *Fundamentals of nanoelectronics*, Prentice Hall, Hoboken.
- Health Canada, 2011, *Policy statement on health Canada's working definition for nanomaterial*.
- Hochella, M.F., Aruguete, D.M., Kim, B., and Madden, A.S., 2012, *Naturally occurring inorganic nanoparticles: general assessment and a global budget for one of earth's last unexplored geochemical components*, Pan Stanford Publishing, Victoria.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2005, *IPCC special report on carbon dioxide capture and storage*, Cambridge University Press, Cambridge.
- ISO/TS 27687, 2008, *Nanotechnologies terminology and definitions for nano-objects (nanoparticle, nanofiber, and nanoplate)*, International Organization for Standardization.
- ISO/TS 80004-1, 2010, *Nanotechnologies Vocabulary Part 1: Core Terms*, International Organization for Standardization.
- Kumar, 2009, *Nanomaterials for the life sciences. Nanostructured oxides vol. 2*, WILEY- VCH, Weinheim.
- Kunarti, E.S., Kartini, I., Mardjan, M.I.D., and Prameswari, E.H., 2021, Sulfur-doped- titania coated on magnetite as magnetically recoverable photocatalyst for the UV- visible light-assisted-degradation of Congo red solution, *Rasayan J. Chem.*, 14, 1199–1207.
- Kunarti, E.S., Kartini, I., Syoufian, A., and Widyandari, K.M., 2018, Synthesis and Photoactivity of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub>-Co as a Magnetically Separable Visible Light Responsive Photocatalyst, *Indones. J. Chem.*, 18(3), 403-410
- Kunarti, E.S., Roto, R., Nuryono, N., Santosa, S.J., and Fajri, M.L., 2020, Photocatalytic

- reduction of  $\text{AuCl}_4^-$  by  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  nanoparticles, *Glob. Nest J.*, 22, 119–125.
- Kunarti, E.S., Roto, R., Pradipta, A.R., and Budi, I.S., 2017,  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  core-shell nanoparticles as catalyst for Ag(I) Ions, *Orient. J. Chem.*, 33, 1933–1940.
- Lin, G.M., Shang, M., and Zhang, W.G., 2014, Research on nanomaterials and its latest application, *Adv. Mater. Res.*, 912–914, 305–308.
- Liveris, A., 2012, *Make it in America: the case for reinventing the economy*, Wiley, Hoboken.
- Mohanpuria, P., Rana, N.K., and Yadav, S.K., 2008, Biosynthesis of nanoparticles: Technological concepts and future applications, *J. Nanoparticle Res.*, 10, 507–517.
- Monfort-Windels, F. and Lecomte, J., 2008, *Les applications des nanotechnologies*, Sirris e Driving Industry by Technology, Brussel.
- Mortazavi, S.M.J, Faghihi, R., Aghamiri, M.R., Aghaz, A., Tayebi, M., and Mehdizadeh, S., 2013, Lead-free radiation shields: should we move to nano-sized structures, *Iranian Congress of Nuclear Medicine*, Shiraz.
- Musawwa, M.M., Kunarti, E.S., and Sutarno, 2021, Preparation of  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2\text{-Cu}$  for removal methylene blue (MB) under UV and visible light irradiation, *AIP Conf. Proc.*, 2370.
- National Nanotechnology Initiative (NNI), 2003, *Nanotechnology and the Environment*, Report of the National Nanotechnology Initiative (NNI) workshop May 8-9 2003.
- NSF, 2001, *Societal implications of nanoscience and nanotechnology*, National Science Foundation, Arlington. Dapat diakses di <http://www.nsf.gov/crssprgm/nano/reports/nsfnnireports.jsp>
- Ogbuagu, J. O. and Akubue, P.C., 2015, Achieving sustainable development goals through nanotechnology in polymer and textile, *Eur. J. Eng. Technol.*, 3, 30–39.
- Ohring, M., 2001, *Materials science of thin films*, Academic Press, Boston.
- Paul, D.R. and Robeson, L.M., 2008, Polymer nanotechnology: Nanocomposites, *Polymer (Guildf)*, 49, 3187–3204.
- Pujiarti, Y., Suyanta, and Sri Kunarti, E., 2021, A visible light-induced  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO-Cu}$  nanocomposite and its photocatalytic activities for rhodamine b photodegradation, *Key Eng. Mater.*, 884, 60–66.
- Ramanda, Y., Nuryono, and Kunarti, E.S., 2019, Synthesis and application of  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  nanocomposite as a photocatalyst in  $\text{CO}_2$  indirect reduction to produce methanol, *Indones. J. Chem.*, 19, 827–834.
- Roco, M.C., Hersam, M.C., and Mirkin, C.A., 2011, *Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020*.
- Roszek, B., de Jong, W.H., and Geertsma, R.E., 2005, *Nanotechnology in medical applications: state-of-the-art in materials and devices*, RIVM report 265001001/2005, Dutch Ministry of Health, Welfare and Sports.
- Saraceno, R., Chiricozzi, A., Gabellini, M., and Chimenti, S., 2013, Emerging applications of nanomedicine in dermatology, *Ski. Res. Technol.*, 19, 1–7.
- Solomon, S., Quin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., and Miller, H.L., 2007, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, Cambridge.

- Sulastrri, S., Nuryono, Kartini, I. and Kunarti, E.S., 2011, Adsorption of Ca(II), Pb(II) and Ag(I) on Sulfanato-Silica Hybrid Prepared from Rice Hull Ash, *Indones. J. Chem*, 11(3), 273-278
- Terrones, H. and Terrones, M., 2003, Curved nanostructured materials, *New J. Phys.*, 5.
- Torrise, A., 2012, Nanotechnology for Sustainable Development, *Angle Journal*, 8. Dapat diakses di <http://anglejournal.com/article/2012-10-nanotechnology-for-sustainable-development/>
- Tyagi, P.K., Singh, R., Vats, S., Kumar, D., and Tyagi, S., 2012, Nanomaterials use in wastewater treatment, *International Conference on Nanotechnology and Chemical Engineering (ICNCS 2012)*, Bangkok.
- United Nations (UN), 2014, *UN General Assembly's Open Working Group proposes sustainable development goals*, Press Release.
- van Broekhuizen, F. and van Broekhuizen, P., 2009, *Nano-products in the European construction industry*, European Federation of Building and Wood Workers & European Construction Industry Federation.
- Wahyuni, S., Kunarti, E.S., Swasono, R.T., and Kartini, I., 2018, Characterization and photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub>(rod)-SiO<sub>2</sub>-polyaniline nanocomposite, *Indones. J. Chem.*, 18, 321–330.

**BIODATA**

Nama Lengkap : Prof. Dra. Eko Sri Kunarti, M.Si., Ph.D.  
 Tempat, Tgl. Lahir : Klaten, 24 Oktober 1964  
 NIP : 196410241989032002  
 Pangkat/Gol. : Pembina Tk. I/ IVb  
 Jabatan : Guru Besar  
 Alamat Kantor : Departemen Kimia FMIPA UGM, Sekip Utara, Yogyakarta 55281

Alamat Rumah: Jl. Dian Nusantara 2 No. 118, Perum Deppen, Seturan, Depok, Sleman, Yogyakarta

Nomor HP : 081578634638

Email : [eko\\_kunarti@ugm.ac.id](mailto:eko_kunarti@ugm.ac.id)

**Keluarga**

Suami : Dr. Azhari, M.T.

Anak : Dennis Atyugrasiwi Kunarsito, S.T., M.Eng.

**Pendidikan**

Strata-3 : Kimia, University of New South Wales, Australia (2005)  
 Strata-2 : Kimia, FMIPA UGM (1994)  
 Strata-1 : Kimia FMIPA UGM (1988)  
 Sarjana Muda : Kimia FMIPA UGM (1986)  
 SMA : SMA Negeri I Klaten (1983)  
 SMP : SMP Negeri IV Klaten (1980)  
 SD : SD Negeri Gemblegan I Klaten (1976)

**Publikasi dalam Jurnal Ilmiah Nasional dan Internasional** (terpilih dari beberapa artikel)

1. Hikmah, N., Agustiningsih, D., Nuryono, N., and Kunarti, E.S., 2022, Preparation of Iron-Doped SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> Using Silica from Sugarcane Bagasse Ash for Visible Light Degradation of Congo Red, *Indones. J. Chem.*, 22(2), 402-412.
2. Andreani, A.S., Kunarti, E.S., Hashimoto, T., Hayashita, T., and Santosa, S.J., 2021, Fast and selective colorimetric detection of Fe<sup>3+</sup> based on gold nanoparticles capped with ortho-hydroxybenzoic acid, *J. Environ. Chem. Eng.*, 9, 105962.
3. Kunarti, E.S., Kartini, I., Mardjan, M.I.D., and Prameswari, E.H., 2021, Sulfur-doped-titania coated on magnetite as magnetically recoverable photocatalyst for UV-visible light-assisted-degradation of Congo red solution, *Rasayan J. Chem.*, 14, 1199–1207.
4. Kunarti, E.S., Roto, R., Sutarno, S., Budi, I.S. and Mardiansyah, M., 2021, Effective Photocatalytic Degradation of Nitrobenzene by Magnetite Modified Titania Composite,



- Asian J. Chem.*, 33(6), 1319-1324.
- Fadillah, N.D., Kunarti, E.S. and Kartini, I., 2021, Degradation of Titan Yellow Using ZnO/Ag Embedded with Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles under Visible Light Induced, *Key Eng. Mater.*, 884, 54-59.
  - Pujiarti, Y., Suyanta, and Kunarti, E.S., 2021, A visible light-induced Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ZnO-Cu nanocomposite and its photocatalytic activities for rhodamine-B photodegradation, *Key Eng. Mater.*, 884, 60–66.
  - Aji, A., Santosa, S.J., and Kunarti, E.S., 2020, Effect of reaction time and stability properties of gold nanoparticles synthesized by p-aminobenzoic acid and p-aminosalicylic acid, *Indones. J. Chem.*, 20, 413–421.
  - Misriyani and Kunarti, E.S., 2020, Synthesis and photoelectrochemical activity of TiO<sub>2</sub> nanotube based free standing membrane, *Asian J. Chem.*, 32, 2739–2742.
  - Kunarti, E.S., Roto, R., Nuryono, N., Santosa, S.J., and Fajri, M.L., 2020, Photocatalytic reduction of AuCl<sub>4</sub><sup>-</sup> by Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> nanoparticles, *Glob. Nest J.*, 22, 119–125.
  - Budi, I.S., Santosa, S.J., and Kunarti, E.S., 2020, Polyaniline (PANI)-sensitized Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> nanocomposites as photocatalyst for the reduction of Au(III) ions, *Rasayan J. Chem.*, 13, 202–209.
  - Budi, I.S., Kartini, I. and Kunarti, E.S., 2020, Photoreduction of Pb(II) Using TiO<sub>2</sub> Catalyst Modified with Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles, *Key Eng. Mater.*, 840, 79-83.
  - Susanthy, D., Santosa, S.J. and Kunarti, E.S., 2020, Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles Capped by p-Aminobenzoic Acid on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*, *Indones. J. Chem.*, 20(1), 182-189.
  - Gusrizal, G., Santosa, S.J., Kunarti, E.S., and Rusdiarso, B., 2020, Silver nanoparticles capped with p-hydroxybenzoic acid as a colorimetric sensor for the determination of paraquat, *Indones. J. Chem.*, 20, 688–696.
  - Ramanda, Y., Nuryono, and Kunarti, E.S., 2019, Synthesis and application of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> nanocomposite as a photocatalyst in CO<sub>2</sub> indirect reduction to produce methanol, *Indones. J. Chem.*, 19, 827–834.
  - Aisyiah, R.P.U., Sulthon, M.N.S.P., Miqdam, M.M., and Kunarti, E.S., 2019, The influence of Cu dopant concentration on the optical properties of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> nanocomposite, *Mater. Sci. Forum*, 948, 260–266.
  - Kunarti, E.S., Kartini, I., Syoufian, A., and Widyandari, K.M., 2018, Synthesis and Photoactivity of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub>-Co as a Magnetically Separable Visible Light Responsive Photocatalyst, *Indones. J. Chem.*, 18(3), 403-410
  - Wahyuni, S., Kunarti, E.S., Swasono, R.T., and Kartini, I., 2018, Characterization and photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub>(rod)-SiO<sub>2</sub>-polyaniline nanocomposite, *Indones. J. Chem.*, 18, 321–330.
  - Kunarti, E.S., Roto, R., Pradipta, A.R., and Budi, I.S., 2017, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> core-shell nanoparticles as catalyst for Ag(I) Ions, *Orient. J. Chem.*, 33, 1933–1940.

19. Kunarti E.S., Syoufian, A., Budi, I.S. and Pradipta, A.R., 2016, Preparation and Properties of  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  Core-Shell Nanocomposite as Recoverable Photocatalyst, *Asian J. Chem.*, 28(6), 1343-1346.
20. Misriyani, Kunarti, E.S., and Yasuda, M., 2015, Synthesis of Mn(II)-loaded  $\text{Ti}_x\text{Si}_{1-x}\text{O}_4$  composite acting as a visible-light driven photocatalyst, *Indones. J. Chem.*, 15, 43–49.
21. Buhani, Narsito, Nuryono, Kunarti, E.S. and Suharso, 2015, Adsorption competition of Cu(II) ion in ionic pair and multi-metal solution by ionic imprinted amino-silica hybrid adsorbent, *Desalin. Water Treat.*, 55, 1240–1252.
22. Kunarti, E.S. and Moran, G., 2011, Effect of Glycerol on the Activity of  $\alpha$ -Chymotrypsin Encapsulated in Sol-Gel Derived Silica Monoliths, *Asian J. Chem.*, 23(9), 3940-3944.
23. Buhani, Narsito, Nuryono, and Kunarti, E.S., 2010, Production of metal ion imprinted polymer from mercapto-silica through sol-gel process as selective adsorbent of cadmium, *Desalination*, 251, 83–89.
24. Kunarti, E.S. and Moran, G., 2008, Entrapment of Avidin in Sol-Gel Derived Silica Glasses, *J. Phys. Sci.*, 19(2), 31–44.
25. Kunarti, E.S. and Moran, G., 2005, Preparation, Characterisation and Modification of Ammonium Tartrate Templated Organosilicate Nanotubes, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 440, 71–78.

#### **Publikasi dalam Seminar Nasional dan Internasional**

1. Kunarti, E.S., Roto, R. and Y. Widiastuti, Y., 2009, Mesoporous Methylated Silica Xerogels as Adsorbent for Alizarine Red S and Methyl Orange Molecules, Taibah International Chemistry Conference (TICC) 2009, 23-25 Maret 2009, Taibah University, Madinah, Saudi Arabia.
2. Kunarti, E.S. and Wahyuni, E.T., 2009, Preparation and Preliminary Activity Test of Cobalt-Doped Titania-Silica Nanocomposite for Photodegradation of Methyl Orange, The International Symposium on Sustainable Energy and Environment Protection (ISSEEP) 2009, 24-25 November 2009, UGM Yogyakarta.
3. Kunarti, E.S., Sutarno and Baralangi, S., 2010, Modification of Indonesian Natural Zeolite by Surfactant for Sorption of Permanganate and Bichromate Ions, The 16<sup>th</sup> International Zeolite Conference joint with the 17<sup>th</sup> International Mesosstructured Material Symposium (IZC-IMMS) 2010, 4-9 Juli 2010, Sorrento, Italy.
4. Kunarti, E.S., Wahyuni, E.T., Sutarno and Arofah, 2011, Phosphomolybdic Acid Modified  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  Composite as Photocatalyst for Decolorization of Methylene Blue Solution, International Seminar on Chemistry (ISC) 2011, 24-25 November 2011, UNPAD, Bandung
5. Kunarti, E.S., Kartini, I., Khamariyah dan Kholilah, 2012, Lapis Tipis Nanosol Silika-Titania sebagai Bahan untuk Fungsionalisasi Tekstil, Seminar Nasional Kimia 2012, 3 November 2012, UNY, Yogyakarta.

6. Kunarti, E.S., Syoufian, A., Budi, I.S. and Pradipta, A.R., 2015, Synthesis of TiO<sub>2</sub> Coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-SiO<sub>2</sub> Nanocomposite as a Magnetically Recoverable Photocatalyst, International Conference on Natural, Mathematic and Environmental Sciences (NAMES) 2015, 9-10 Oktober 2015, UNLAM, Banjarbaru.
7. Kunarti, E.S., Syoufian, A., Rusdiarso, B., Budi, I.S. and Pradipta, A.R., 2016, The Activity Test of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> Core-Shell Nanocomposite as Photocatalyst for Silver(I) Reduction, International conference on Solid State Chemistry (SSC) 2016, 18-23 September 2016, Prague, Czech Republic.
8. Kunarti, E.S., Kartini, I., Syoufian, A. and Budi, I.S., 2017, TiO<sub>2</sub> Coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> Nanoparticles as a Catalyst for Photoreduction of Au(III), The 6<sup>th</sup> International Conference on Nanostructures, Nanomaterials and Nanoengineering (ICNNN) 2017, 26-29 Oktober 2017, Tokyo, Japan.
9. Kunarti, E.S., Kartini, I., Syoufian, A., Kartika, I.L., and Agnes, 2018, TiO<sub>2</sub> Coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> Nanoparticles as a Magnetically Separable Photocatalyst for Reduction of Au(III) in the Mixture of Au(III) and Cu(II) Ions, The 3<sup>rd</sup> Green and Sustainable Chemistry Conference (GREN) 2018, 13-16 Mei 2018, Berlin, Germany.
10. Kunarti, E.S., Nuryono, Budi, I.S., and Fajri, M.L., 2019, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> Nanoparticle as photocatalyst for Au(III) reduction in the presence of Ni(II) Ions, The 14<sup>th</sup> International Conference on Materials Chemistry (MC14), 8-11 Juli 2019, Birmingham, United Kingdom.
11. Agustiningih, D., Kunarti, E.S. and Rusdiarso, B., 2020, Synthesis of TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> Nanocomposite with Sugarcane Bagasse Ash as the Source of Silica, The 1<sup>st</sup> International Conference on Innovation in Science, Health, and Technology (ICISHT), 10-11 Desember 2020, Gorontalo, Indonesia