



KIPRAH NANOMATERIAL DALAM KEHIDUPAN MANUSIA DAN DAMPAKNYA



Prof. Dr. Fauziatul Fajarah, M.S.

Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam Bidang Ilmu Kimia Material
pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
disampaikan pada Sidang Terbuka Senat
Universitas Negeri Malang
tanggal 25 November 2019

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS NEGERI MALANG (UM)
NOVEMBER 2019**



KIPRAH NANOMATERIAL DALAM KEHIDUPAN MANUSIA DAN DAMPAKNYA

Prof. Dr. Fauziatul Fajaroh, M.S.

Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam Bidang Ilmu Kimia Material
pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
disampaikan pada Sidang Terbuka Senat
Universitas Negeri Malang
tanggal 25 November 2019

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS NEGERI MALANG (UM)
NOVEMBER 2019**

KIPRAH NANOMATERIAL DALAM KEHIDUPAN MANUSIA DAN DAMPAKNYA

Bismillahirrahmaanirrohiim

Assalaamu'alaikum warahmatullaahi wabaraakatuh.

Yth. Bapak Rektor beserta para wakil Rektor Universitas Negeri Malang,
Yth. Bapak Ketua, Sekretaris, dan para anggota Senat Akademik Universitas Negeri Malang,

Yth. Bapak/Ibu Dekan, Direktur Pascasarjana, dan Ketua Lembaga di lingkungan Universitas Negeri Malang

Yth. Bapak/Ibu pejabat struktural di lingkungan Universitas Negeri Malang,

Yth. Bapak/Ibu para Guru Besar di lingkungan Universitas Negeri Malang,

Yth. Ketua Jurusan dan rekan sejawat (dosen dan tendik) di lingkungan Universitas Negeri Malang

Yth. Para hadirin dan undangan yang berbahagia

Pertama-tama izinkan saya memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas segala nikmat yang dikaruniakan kepada saya beserta keluarga, dan kepada hadirin sekalian, sehingga pada hari ini kita bisa berkumpul dalam suatu majelis yang insyaAllah diridloi oleh Allah SWT. Terimakasih saya sampaikan kepada semua hadirin atas kesediaannya menghadiri acara pengukuhan saya hari ini. Mudah-mudahan Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayahNya kepada kita semua di sepanjang sisa usia kita ke depan, aamiin

Hadirin yang saya muliakan,

Sebelum menyampaikan pidato pengukuhan ini, perkenankan saya menyampaikan ucapan terimakasih kepada Rektor dan Senat Universitas Negeri Malang yang telah berketetapan menganugerahi saya gelar Guru Besar dalam bidang Ilmu Kimia Material, yang secara formal telah ditetapkan oleh Kemenristek - Dikti tanggal 1 Mei 2019 yang lalu. Sungguh suatu kehormatan bagi saya dan keluarga atas penghargaan ini. Saya sangat menyadari bahwa penganugerahan ini hanya bi idznillah semata. Mudah-mudahan penghargaan ini bisa memicu saya untuk berkarya lebih baik lagi di masa mendatang. Pada kesempatan yang berbahagia ini izinkan saya untuk mengulas secara ringkas obyek yang selama ini menjadi kajian riset saya, yakni tentang nanomaterial, kiprahnya dalam kehidupan manusia dan dampaknya serta sekilas uraian tentang riset di bidang pengembangan nanomaterial yang telah kami lakukan baik Bersama tim dari Laboratorium Elektrokimia dan Korosi Jurusan Teknik Kimia ITS, maupun dengan tim Kelompok Bidang Keahlian (KBK) Kimia Fisik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Malang.

Hadirin yang saya muliakan,

Pada dekade terakhir ini, sebagaimana istilah-istilah berawalan “nano” lainnya, istilah nanomaterial telah demikian populer, tidak hanya terbatas dalam karya-karya ilmiah tetapi juga dalam kehidupan bermasyarakat (Pal, 2011). Hal ini membuktikan bahwa teknologi nano telah menjadi bagian penting dari masyarakat. Bersama-sama dengan nanosain dan nanoteknologi, Istilah nanomaterial pertama kali diperkenalkan oleh Norio Taniguchi pada tahun 1974 dalam suatu tulisan tentang teknologi penciptaan obyek berskala nanometer. Nanometer adalah suatu satuan dalam sistem internasional yang menggambarkan ukuran sebesar 10^{-9} meter. Nanomaterial digambarkan sebagai bahan dengan panjang 1 - 1000 nm dalam setidaknya-tidaknya satu dimensinya; Namun, umumnya nanomaterial didefinisikan sebagai material yang berdiameter dalam kisaran 1 hingga 100 nm. Definisi lain tentang nanomaterial menurut organisasi Internasional untuk Standardisasi (ISO) adalah material dengan dimensi eksternal dalam

skala nano atau material dengan struktur internal atau struktur permukaan dalam skala nano. Definisi dari Komisi Eropa menyebutkan bahwa nanomaterial dapat berupa material alamiah, insidental, atau sintetis yang mengandung komponen yang tersusun atas partikel bebas atau sebagai agregat atau aglomerat, di mana 50% atau lebih dari komponennya merupakan partikel yang memiliki minimal satu dimensi eksternalnya berada dalam kisaran ukuran 1–100 nm (Sudha *et al.*, 2018).

Dari definisi di atas dapat dinyatakan tanpa kita sadari bahwa nanomaterial itu sendiri telah lahir bersamaan dengan penciptaan alam semesta beserta isinya (Sudha *et al.*, 2018). Nanomaterial di alam amatlah berlimpah, baik sebagai segmen biotik maupun abiotik ciptaan Allah SWT. Nanomaterial alamiah diproduksi oleh spesies biologis atau melalui aktivitas antropogenik. Tubuh kita sendiri adalah contoh sempurna dari rakitan nanomaterial. Setiap bagian dari tubuh kita dibangun dari nanomaterial yang memiliki pengaturan struktural tertentu yang berbeda satu dengan lainnya sesuai fungsi masing-masing. Fungsi-fungsi logika, memori, gerak, sintesis, konversi energi, bahkan kesadaran diri kita adalah hasil langsung dari kompleksitas struktur berskala nano. Sebagai contoh DNA yang ada di dalam inti sel yang ikut bertanggung jawab dalam fungsi sintesis yang memiliki tugas utama menyimpan dan mereplikasi informasi adalah merupakan suatu struktur nano. Contoh lain, energi dalam sistem sel juga disimpan dalam struktur nano yang dibentuk oleh Adenosine TriFosfat (ATP) dan Adenosin Di-Fosfat (ADP) yang mudah dimanipulasi (Jeevanandam *et al.*, 2108). Kebesaran Allah SWT dalam penciptaan nanomaterial yang lain adalah keajaiban pada tanaman teratai. Daun dan bunga teratai yang memiliki permukaan yang ditutupi oleh papillae berukuran mikrometer dan dihiasi cabang berukuran nanometer yang membentuk tonjolan-tonjolan, menyebabkan sifat hidropobisitas yang super serta dapat melakukan *self cleaning service*, sehingga teratai tetap bersih walaupun tumbuh keluar dari dalam lumpur. Meskipun banyak tanaman lain memiliki permukaan superhidropobik dengan sudut kontak yang hampir sama, namun tanaman teratai menunjukkan stabilitas dan kesempurnaan yang lebih baik sebagai penangkis air (Ensikat *et al.*, 2011). Masih banyak contoh nanomaterial

alamiah lainnya dengan keunikan dan kelebihan masing-masing, misalnya kulit kerang yang begitu kokoh, nanostruktur sisik pada permukaan kulit ikan hiu yang tertata sedemikian rupa sehingga terbebas dari alga. Begitu melimpah keunikan dan keajaiban di alam, sehingga manusia terinspirasi oleh struktur-struktur fungsional yang telah diciptakan oleh-Nya tersebut sehingga berkembang nanoteknologi dalam batas-batas kemampuan manusia (Fajaroh, 2018).

Hadirin yang saya hormati,

Dalam beberapa tahun terakhir, pengembangan nanoteknologi termasuk nanomaterial telah menarik minat dan perhatian yang luar biasa dari para peneliti di seluruh dunia. Hal ini karena nanomaterial mampu menunjukkan sifat-sifat optik, mekanik, magnetik, konduktif, dan kereaktifan yang lebih unggul dibanding material sejenis yang berukuran lebih besar. Pemahaman yang lebih baik tentang sifat-sifat nanomaterial akan membuka peluang untuk mensintesis material baru di masa depan yang memiliki potensi untuk meningkatkan kualitas hidup. Nanomaterial perlahan-lahan mulai dikomersialkan, mulai muncul sebagai komoditas, dan digunakan dalam banyak aplikasi dan produk teknologi inovatif, termasuk beragam produk konsumen.

Untuk memahami keanekaragaman nanomaterial, diperlukan beberapa bentuk klasifikasi. Klasifikasi ini antara lain dapat didasarkan atas dimensi dan komposisinya. Perbedaan dimensi maupun komposisi ini akan menampilkan karakteristik fisik, kimia, dan biologis yang berbeda, yang dapat dimanfaatkan untuk aplikasi spesifik. Pada tahun 2007, Pokropivny dan Skorokhod membuat skema klasifikasi nanomaterial sebagai dimensi-0 (0D), dimensi-1 (1D), dimensi-2 (2D), dan dimensi-3 (3D). Klasifikasi ini sangat tergantung pada gerakan elektron di sepanjang dimensi dalam material. Elektron dalam nanomaterial 0D terjebak dalam ruang tanpa dimensi, sedangkan nanomaterial 1D memiliki elektron yang dapat bergerak di sepanjang sumbu x, yang kurang dari 100 nm. Demikian juga, nanomaterial 2D dan 3D memiliki pergerakan elektron di sepanjang sumbu x-y, dan x, y, z (Jeevanandam, 2018). Material yang termasuk dalam tiga dimensi antara lain nanopartikel, bubuk, multilayer, yang termasuk dalam dua dimensi di antaranya adalah film tipis, *nanosheets*, yang termasuk satu

dimensi contohnya adalah kawat nano, *nanotube*, dan yang nol dimensi di antaranya adalah titik kuantum, *nanospheres*, dan *cluster* (Sajanlal *et al.*, 2011).

Hadirin yang saya muliakan

Berdasarkan komposisinya, nanomaterial disusun menjadi empat golongan, nanomaterial yang berbasis: (1) karbon, (2) organik, (3) anorganik, dan (4) komposit (Sudha *et al.*, 2018). Termasuk dalam golongan nanomaterial berbasis karbon adalah Fullerene (C60), carbon nanotube (CNTs), carbon nanofibers, carbon black, dan graphene (Gr). Nanomaterial berbasis anorganik di antaranya berupa nanopartikel logam dan oksida logam. Nanomaterial berbasis-organik sebagian besar terbuat dari bahan organik, tidak termasuk yang berbasis karbon atau berbasis-anorganik, di antaranya adalah dendrimer, misel, liposom, dan polimer. Nanomaterial berbasis komposit dibangun oleh nanopartikel multi-fase atau nanopartikel yang dikombinasikan dengan bahan yang lebih besar atau struktur yang lebih rumit, misalnya sebagai kerangka metalorganik. Komposit dapat berupa kombinasi dari nanomaterial berbasis karbon, berbasis logam, atau berbasis organik dengan segala bentuk logam, keramik, atau bahan polimer.

Hadirin sekalian yang saya hormati,

Selain dua klasifikasi di atas, dikenal juga klasifikasi dengan sudut-sudut pandang yang berbeda, di antaranya adalah klasifikasi berdasarkan asal muasal nanomaterial (Sajanlal *et al.*, 2011). Berdasarkan sudut pandang ini nanomaterial diklasifikasikan sebagai nanomaterial alami (seperti telah disinggung di bagian awal pidato ini) dan nanomaterial sintetis.

Terkait dengan nanomaterial sintetis, kemajuan besar sedang terjadi dalam pengembangan nanomaterial, dengan munculnya penemuan-penemuan dan harapan baru terhadap nanoteknologi hampir di setiap hari di banyak sektor. Salah satu contoh adalah pengembangan biosensor, nanoteknologi telah memainkan peran yang semakin penting dalam pengembangan biosensor. Sensitivitas dan kinerja biosensor semakin meningkat dengan menggunakan nanomaterial dalam strukturnya. Penggunaan nanomaterial ini memungkinkan pengenalan banyak sinyal baru teknologi transduksi dalam biosensor. Pengembangan ini sekaligus memungkinkan analisis sederhana dan cepat secara *in vivo*. Instrumen-instrumen yang portable yang mampu menganalisis berbagai komponen menjadi tersedia (Jianrong *et al.*, 2004).

Contoh lain adalah pengembangan partikel berbasis besi yang digunakan melawan jaringan kanker. Diagnosis dini dan skrining kanker dapat dilakukan dengan menggunakan nanopartikel magnetik dalam teknik pencitraan resonansi magnetik (MRI) dan atau sistem sensor. Sensor-sensor ini dirancang untuk biomarker spesifik, yakni senyawa yang dapat dikaitkan dengan permulaan atau evolusi kanker, selama dan setelah pengobatan penyakit ini. Selanjutnya, nanopartikel magnetik dapat dieksploitasi dalam terapi kanker sebagai agen pengiriman obat atau terapi hipertermia dengan memanfaatkan medan magnet eksternal (Hosu *et al.*, 2019).

Contoh berikutnya adalah pengembangan nanomaterial pada pengolahan limbah cair, baik sebagai adsorben, fotokatalis, nanofiltrasi, ataupun sebagai agen antibakteri (Roy & Bhattacharya, 2016). Luas permukaan spesifik nanopartikel yang jauh lebih besar dibanding *bulk* material sejenis meningkatkan potensinya dalam berbagai aplikasi tersebut. Sebagai gambaran hubungan antara ukuran dan luas permukaan spesifik partikel dicontohkan berikut ini. Fe_3O_4 yang berdiameter 10 nm memiliki luas permukaan spesifik sekitar $100 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, sedangkan dengan partikel sejenis dengan ukuran 80 nm menunjukkan luas permukaan spesifik $6,8 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (Iconaru *et al.*, 2016).

Pengembangan nano-catalytic converter yang mengubah gas-gas polutan menjadi gas ramah lingkungan, seperti yang telah dilakukan oleh Durairajan *et al.* (2012) yang mengembangkan nanopartikel palladium dan rhodium (90-100 nm) dengan menggunakan metode deposisi uap kimia dan diaplikasikan sebagai onverter katalitik nano yang secara efisien mengurangi emisi komponen NO_x , HC dan CO dari gas buang kendaraan bermotor.

Contoh terakhir adalah aplikasi nanomaterial di bidang pengembangan kosmetika dan kesehatan, yakni pengembangan tabir surya nano yang transparan dan efektif (Osmond & McCall, 2010). Penambahan nanopartikel ZnO dan TiO_2 dalam sunscreen memberikan perlindungan terhadap efek karsinogenik, immunosupresan, dan penuaan dari pengaruh UV A dan UV B. Tabel 1 menampilkan aplikasi nanopartikel di beberapa bidang.

Tabel 1 Beberapa Aplikasi Nanomaterial

No.	Bidang	Nanopartikel	Fungsi
1	Kedokteran	Polimer	Penghantar obat
		Oksida besi bersalut polimer	Penyembuh infeksi bakteri
		Serium oksida	antioksidan
		Nanointan	pertumbuhan tulang, terapi leukimia
		Nanointan bersalut obat	Kemoterapi
		Au	Diagnosis, penghantar obat, hyperthermia
2	Industri dan Material Konstruksi	Fe ₃ O ₄	MRI, drug delivery, hyperthermia
		SiC, Ni-Polimer	Menambah kekuatan bahan Kulit sintetis
		Si	Melindungi makanan dalam kemasan
		ZnO	Pelindung terhadap sinar UV, antibakteri
		Ag	Antibakteri pada tekstil
3	Lingkungan	Cu ₂ O	Fotokatalis
		Au <i>embended</i> MnO ₂	Katalis polutan organic
		Fe	Adsorben CCl ₄
		Oksida besi	Adsorben
		Pt, Pd	Katalis
4	Energi dan Elektronik	C	Electrode
		Ag (dalam tinta)	garis konduktif di papan sirkuit.
		Pt-Co	Katalis pada Fuel Cell
		Pd	Sensor hydrogen

(<http://www.understandingnano.com/nanoparticles.html>)

Hadirin yang saya muliakan,

Dari uraian di atas tampak bahwa nanomaterial berperan penting hampir di semua sektor kehidupan. Revolusi nanoteknologi yang menghasilkan nanomaterial merambah berbagai disiplin ilmu dan hampir di semua bidang kehidupan dan melibatkan berbagai disiplin ilmu. Bidang pengembangan nanomaterial sangat luas mulai dari biologi molekuler hingga elektronik. Minat di bidang ini pun telah meningkat di kalangan ilmiah maupun di lembaga pemerintahan dan dalam komunitas investasi, ditandai dengan peningkatan pendanaan di sektor pengembangan nanomaterial dari tahun ke tahun di berbagai negara di dunia. Ditandai pula dengan dikembangkannya pusat-pusat unggulan inovasi di bidang material maju di universitas-universitas, termasuk UM. Pertumbuhan minat dalam ilmu sains dan rekayasa nanomaterial adalah karena konjungsi dari beberapa faktor: antara lain peningkatan nanofabrikasi dan teknik mikroskopi serta pengakuan bahwa sifat baru akan muncul dalam struktur nano sintetik.

Hadirin sekalian yang berbahagia,

Daya tarik nanomaterial itu pula yang menarik minat kami untuk turut berkontribusi pada pengembangan nanomaterial. Obyek yang menjadi kajian kami hanyalah satu di antara ribuan atau bahkan jutaan atau milyaran obyek kajian. Kami bersama tim kami baru berhasil mengembangkan nanopartikel yang dikenal sebagai ferrit dan komposisinya (Fajaroh, et al., 2012; Setyawan et al., 2012; Fajaroh et al., 2013; Setyawan et al., 2014; Fajaroh, et al., 2018) serta mengaplikasikannya sebagai agen pengolah limbah (Fajaroh & Sutrisno, 2014); Mumtazah et al, 2016; Fajaroh, et al., 2019), agen antibakteri (Fajaroh et al., 2018), serta katalis pada produksi biodiesel (Primadi et al., 2019).

Ketertarikan kepada ferrite, khususnya magnetit adalah karena bahan ini merupakan salah satu bahan magnet paling penting dan banyak digunakan di industri. Dalam beberapa tahun terakhir, nanopartikel magnetit yang monodispers telah menarik perhatian karena memiliki biokompatibilitas yang baik, sifat superparamagnetik yang kuat, toksisitas rendah dan proses pembuatannya yang mudah. Magnetit memiliki potensi yang cukup besar untuk digunakan dalam industri biomedis, seperti pemberian obat yang ditargetkan, pengobatan hipertermia, pemisahan sel, pencitraan resonansi magnetik, immunoassay dan pemisahan produk biokimia. Mereka juga berguna untuk proses lingkungan, seperti pengolahan air dan air limbah (Fajaroh et al., 2012). Di samping itu ferrite secara umum, termasuk magnetit, juga berpotensi sebagai katalis heterogen dalam beberapa reaksi

kimia, termasuk fotokatalisis, reaksi-reaksi organik seperti degradasi fenol, oksidasi alkena, dan reaksi trans-esterifikasi (Kooti et al., 2012; Falcao et al., 2017).

Berbagai metode sintesis nanopartikel magnetit telah dikembangkan, di antaranya kopresipitasi, sol-gel, dan hidrotermal. Di antara metode-metode tersebut, kopresipitasi merupakan metode yang paling sederhana. Namun dengan metode ini sulit untuk mendapatkan nanopartikel magnetit monodisperse, karena reaksi yang berlangsung cepat dalam campuran menyebabkan sulit untuk mengontrol proses kristalisasi. Partikel yang monodisperse dapat dihasilkan melalui metode kopresipitasi, tetapi dengan penambahan suatu surfaktan dalam proses sintesisnya. Surfaktan yang menempel pada produk akhir kemungkinan mempengaruhi sifat partikel. Kombinasi surfaktan dengan partikel mungkin tidak cukup kuat, dan mereka dapat sangat mengganggu aplikasi tertentu, seperti penggunaan biomedis. Metode sol-gel dan teknik hidrotermal dapat secara efektif memang dapat mengontrol morfologi dan komposisi kimia dari nanopartikel magnetit yang disiapkan, namun metode sol-gel biasanya membutuhkan reaktan berupa alkoksida yang mahal dan suhu kalsinasi yang tinggi, serta waktu yang lama untuk menghasilkan produk akhir. Metode hidrotermal juga membutuhkan suhu tinggi dan periode waktu yang lama untuk mendapatkan produk akhir. Metode ini biasanya juga dilakukan dengan penambahan surfaktan untuk menghindari agregasi partikel (Fajaroh et al., 2012).

Metode elektrokimia kemudian menjadi pilihan, dengan pertimbangan: (1) kemudahan dalam mengontrol sifat-sifat partikel yang diharapkan melalui pengaturan parameter sel elektrokimia, seperti jenis electrode, jenis dan konsentrasi elektrolit, rapat arus, jarak antar electrode, dan variasi sumber arus (*Continuous Direct Current*, CDC, atau *Pulsed Direct Current*, PDC); (2) mengingat magnetite bahwa adalah produk korosi besi, maka metode elektrokimia menjadi pilihan berikutnya yang patut dipertimbangkan. Pertimbangan kedua inipun didukung oleh hasil-hasil penelitian sebelumnya, di antaranya oleh Marques *et al.* (2008) mendapatkan nanopartikel magnetite yang bersifat superparamagnetis yang ukurannya homogen dari elektrolisis larutan $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ dalam etanol dengan elektroda karbon. Untuk menghindari terbentuknya hidroksida besi sebagai kontaminan, elektrolisis harus bebas air. Dengan demikian metode ini cenderung menghasilkan partikel yang hidropobik, sehingga membatasi aplikasinya. Franger *et al.* (2004;2007) mensintesis nanopartikel magnetite yang ukurannya seragam melalui elektro-oksidasi besi, yakni proses elektrolisis yang memposisikan besi sebagai anoda. Elektrolit yang digunakan adalah larutan alkali yang mengandung ion-ion

Cl⁻, SO₄²⁻, SCN⁻, dan S₂O₃²⁻. Ukuran partikel yang dihasilkan berkisar antara 74 sampai 88 nm. Dengan rentang tersebut dispersi partikel dalam suatu medium akan mudah terpengaruh oleh gaya gravitasi. Melalui elektro-oksidasi besi pula Cabrera *et al.* (2008) berhasil mendapatkan nanopartikel magnetite yang berbentuk bola dengan ukuran hampir seragam dan bersifat feromagnetis. Elektrolit yang digunakan adalah larutan encer tetrametil ammonium klorida yang tidak lain merupakan surfaktan.

Berdasarkan pertimbangan di atas, sintesis nanopartikel magnetit kami kembangkan dengan elektro-oksidasi besi dalam air, suatu metode yang lebih ramah lingkungan. Pengembangan ini berhasil mendapatkan nanopartikel magnetit yang monodisperse yang berdiameter rata-rata 22,5 nm dengan. Tetapi produk ini masih mengandung *impurities* FeOOH yang merupakan zat *intermediate* dalam pembentukan magnetit. Yang menggembirakan adalah bahwa mekanisme pembentukan magnetite yang kami usulkan kemudian dipelajari secara lebih intensif oleh Lozano *et al.*, (2017) dengan kesimpulan bahwa mekanisme yang kami usulkan adalah yang paling sesuai di antara mekanisme-mekanisme lainnya.

Riset berikutnya dilakukan untuk menjawab tantangan bagaimana mendapatkan magnetit yang murni yang bebas dari FeOOH. Dua metode yang kemudian dilakukan adalah metode isolasi (Setyawan *et al.*, 2012) dan osilasi (Setyawan *et al.*, 2014). Kedua metode ini berhasil menghasilkan nanopartikel magnetit dengan kemurnian tinggi.

Pengembangan berikutnya adalah riset-riset yang bertujuan untuk mendapatkan *yield* yang lebih besar (Fajaroh *et al.*, 2016), membuat komposisinya dengan silika, perak, dan PEG, pengembangan ferrite dan juga aplikasinya (Fajaroh & Sutrisno, 2014; Mumtazah *et al.*, 2016; Fajaroh, *et al.*, 2019, Fajaroh *et al.*, 2018; Primadi *et al.*, 2019)

Hadirin yang saya hormati,

Terkait dengan pengembangan nanomaterial yang seolah-olah dapat mengatasi berbagai problema kehidupan dengan penuh kesempurnaan, istilah “Nanomaterial” pun identik untuk hal-hal yang inovatif dan sangat menjanjikan, Al-Qur’an Surat Al-Baqarah ayat 255 (ayat kursi) menyatakan bahwa hanya Allah

dzat yang Maha sempurna. Dan itu terbukti antara lain melalui fakta bahwa ternyata pengembangan nanomaterial selain menunjukkan dampak positif bagi kehidupan, ternyata juga dikhawatirkan menimbulkan dampak negatif. Ukuran partikel yang demikian kecil membuat nanomaterial memiliki potensi paparan yang tidak diinginkan dalam jangka panjang terhadap kesehatan manusia dan lingkungan baik ketika diproduksi, saat digunakan, maupun limbahnya. Paparan ini dapat terjadi melalui inhalasi, konsumsi atau pun penyerapan. Penanggulangan atau bahkan pencegahan terhadap dampak negatif ini mulai menjadi kajian bagi peneliti dan pemerhati lingkungan. Hanya beberapa penelitian yang telah dilakukan dengan tujuan menemukan paparan langsung dan tidak langsung untuk bahan nano dan belum ada pedoman yang jelas untuk mengukur efeknya. Untuk itu perlu dievaluasi dan ditanggulangi dampak paparan nanomaterial terhadap manusia dan lingkungan (Green & Ndegwa, 2011).

Sebagai contoh, Titanium dioksida (TiO_2) selama ini dianggap sebagai bahan inert dan aman dan telah digunakan dalam banyak aplikasi selama beberapa dekade. Namun, studi toksikologis mekanistik menunjukkan bahwa nanopartikel TiO_2 secara dominan menyebabkan efek buruk melalui induksi stres oksidatif yang mengakibatkan kerusakan sel, genotoksisitas, peradangan, respons imun, dll. Berdasarkan bukti eksperimental dari studi inhalasi hewan nanopartikel TiO_2 diklasifikasikan memiliki “kemungkinan karsinogenik bagi manusia” oleh Badan Internasional untuk Penelitian Kanker dan sebagai karsinogen kerja oleh Institut Nasional untuk Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Studi tentang paparan kulit untuk nanopartikel TiO_2 , yang pada manusia substansial melalui penggunaan tabir surya, umumnya menunjukkan penetrasi transdermal yang dapat diabaikan; namun data diperlukan untuk paparan jangka panjang dan efek samping potensial dari produk foto-oksidasi. Belum diketahui data yang dapat diandalkan tentang penyerapan, distribusi, ekskresi, dan toksisitas pada paparan oral. TiO_2 juga dapat masuk ke lingkungan, dan meskipun toksisitas akut rendah bagi organisme akuatik, jika terpapar dalam jangka panjang, TiO_2 menginduksi serangkaian efek mematikan. Dengan demikian nanopartikel TiO_2 harus digunakan dengan sangat hati-hati (Skocaj et al., 2011).

Tabel 2 berikut ini menampilkan beberapa temuan terkait paparan nanomaterial bagi manusia (Ray et al., 2009).

Nanomaterial	Kemungkinan Resiko
Nanomaterial karbon, nanopartikel silika	Peradangan paru, granuloma, dan fibrosis
Nanomaterial karbon, perak dan emas	Terdistribusi ke organ lain termasuk sistem saraf pusat
Titik kuantum, Nanopartikel karbon dan TiO_2	Penetrasi melalui kulit
Nanopartikel MnO_2 , TiO_2 , dan karbon	Memasuki otak melalui neuron penciuman epitel hidung
Nanopartikel TiO_2 , Al_2O_3 , karbon hitam, Co, dan Ni	Mungkin lebih beracun daripada partikel berukuran mikron

Upaya yang bisa dilakukan untuk menghadapi tantangan ini antara lain adalah mencegah dampak buruk nanomaterial terhadap manusia dan lingkungannya melalui penerapan prinsip-prinsip kimia hijau (Anastas & Warner, 1998) pada proses sintesis, produksi nanomaterial, dan pengelolaan limbah, sehingga paparan yang tidak diinginkan bisa direduksi atau bahkan dihindari. Kimia hijau menerapkan prinsip-prinsip baru dalam proses sintesis, pengolahan, dan aplikasi bahan-bahan kimia sedemikian rupa sehingga dapat menurunkan ancaman terhadap keselamatan lingkungan dan manusia. Kimia hijau, sering juga disebut kimia ramah lingkungan (*Environmental benign Chemistry*), kimia bersih (*Clean Chemistry*), ekonomi atom (*atom economy*), kimia yang dirancang jinak/ramah (*benign-by-design chemistry*) (Wardencki et al, 2004). Penerapan kimia hijau diharapkan dapat memfa-

silitasi jaminan kesehatan manusia dan lingkungan, dengan tetap memperhatikan efisiensi dan keuntungan.

Aplikasi kimia hijau berpedoman pada dua belas prinsip (Anastas & Warner, 1998) sebagai berikut:

- 1) **Pencegahan:** mencegah dampak negatif limbah lebih diutamakan daripada meremediasi limbah;
- 2) **Ekonomis:** pemakaian bahan-bahan sintesis dirancang stoikiometris sehingga menjamin semua bahan baku menjadi produk;
- 3) **Pengurangan penggunaan zat kimia berbahaya:** Sintesis menggunakan dan menghasilkan zat-zat dengan toksisitas serendah mungkin;
- 4) **Perancangan Proses sintesis yang aman:** proses sintesis didesain sedemikian rupa hingga diperoleh hasil yang sesuai yang diinginkan namun dengan seminimal mungkin menghasilkan bahan toksik
- 5) **Penggunaan pelarut dan bahan penunjang yang aman:** menghindari penggunaan zat tambahan berbahaya
- 6) **Efisiensi energi:** meminimalkan kebutuhan energi dari proses kimia, jika memungkinkan, proses sintesis dilakukan pada suhu dan tekanan ambien;
- 7) **Penggunaan bahan mentah terbarukan:** pengembangan SDA terbarukan lebih diutamakan;
- 8) **Pengurangan pemakaian zat derivatif :** menghindari penggunaan bahan-bahan tambahan yang hanya akan menambah jumlah limbah;
- 9) **Penggunaan Katalis:** menggunakan katalis yang selektif;
- 10) **Perancangan degradasi bahan:** Produk kimia harus dirancang sedemikian rupa sehingga mudah diuraikan di akhir fungsinya;
- 11) **Pemantauan keamanan secara *real-time*:** Harus dilakukan pemantauan dan pencegahan terbentuknya zat berbahaya secara langsung pada setiap tahap dari proses sintesis.
- 12) **Penerapan kimia aman:** meminimalkan potensi kecelakaan, seperti timbulnya emisi zat berbahaya, ledakan, dan kebakaran.

Kedua belas prinsip ini diharapkan dapat menjiwai perancangan proses kimia, baik sintesis, aplikasi, maupun pengelolaan limbah. Prinsip pertama merupakan ruh kimia hijau, didukung oleh prinsip-prinsip berikutnya yang pada dasarnya menekankan pada efisiensi bahan dan energi, memaksimalkan penggunaan bahan terbarukan, pemanfaatan limbah, menghindari bahan beracun dan atau berbahaya, mengurangi emisi zat berbahaya, dan mengutamakan memperoleh bahan yang mudah terurai dan aman jika dibuang ke lingkungan.

Upaya-upaya berikutnya yang dapat dilakukan untuk mencegah dampak buruk nanomaterial terhadap manusia dan lingkungannya adalah:

- 1) meningkatkan pengetahuan masyarakat sehingga mengenal sifat-sifat nanomaterial yang digunakan dalam aktivitas kehidupan sehari-hari serta meningkatkan kesadaran masyarakat untuk turut berpartisipasi melakukan pengelolaan limbah dengan benar.
- 2) memperluas fokus pengembangan nanomaterial, dengan tidak hanya terbatas pada kegiatan eksplorasi bahan baku, pengembangan metode sintesis, fungsionalisasi, karakterisasi, fabrikasi, dan aplikasi saja, tetapi ada kebutuhan mendesak untuk mengembangkan metode pengelolaan limbah yang aman serta menilai tingkat paparan populasi terhadap bahan nano, dari waktu ke waktu dan untuk berbagai subkelompok populasi. Beberapa pertanyaan penting yang terkait dengan hal ini adalah jawaban terhadap pertanyaan: (1) Apakah nanomaterial lebih beracun daripada rekan non-nano? (2) Akankah partikel nano berubah menjadi bentuk yang lebih beracun di lingkungan?
- 3) mengembangkan penelitian nanotoksikologi untuk mengungkap dan memahami bagaimana nanomaterial mempengaruhi lingkungan sebelum nanomaterial diizinkan untuk digunakan dalam aktivitas kehidupan sehari-hari, sehingga sifat-sifatnya yang tidak diinginkan dapat dihindari.
- 4) mengembangkan teknik-teknik analisis dan *smart sensor* untuk pemantauan paparan bahan-bahan beracun berbahaya di lingkungan, termasuk nanomaterial.

Referensi

- Anastas, P. T., and Warner, J. C. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice* Eds. Oxford University Press: Oxford, UK.
- Arup Roy, A. and Bhattacharya, J., (2015). *Nanotechnology in Industrial Wastewater Treatment*, IWA Publishing Alliance House 12 Caxton Street London SW1H 0QS, UK
- Cabrera, L., Gutierrez, S., Menendes, N., Morales, M.P., Herrasti, P. (2008) Magnetite nanoparticles: Electrochemical synthesis and characterization, *Electrochem. Acta* 53: 3436-3441.
- Durairajan A., Kavitha T., Rajendran A. (2012) Experimental investigation and control the toxic emissions in IC engines by nano materials, *Discovery Sci.*, 1(1), 3-9
- Ensikat, H.J., Ditsche-Kuru P., Neinhuis C., and Barthlott W. (2011) *Beilstein J. Nanotechnol.* 2, 152–161. doi:10.3762/bjnano.2.19
- Fajaroh, F., Setyawan, H., Widiyastuti, W., Winardi, S. (2012) Synthesis of magnetite nanoparticles by surfactant-free electro-chemical method in an aqueous system *Advanced Powder Technology* 23, 328–333
- Fajaroh, F., Setyawan, H., Lenggoro, I.W., Nur, A. (2013) Thermal stability of silica coated magnetite synthesized by electrochemical method, *Advanced Powder Technology*, 24, 507-511
- Fajaroh, F & Sutrisno (2014), *Catalytic Performance of Fe₃O₄ Nanoparticles Prepared by Coprecipitation in Oxidation of Methylene Blue and Rhodamine B by H₂O₂*, *International Seminar on Chemical Engineering in Minerals and Materials Processing 2014*.
- Fajaroh, F., Sutrisno, Nazriati (2016) To Enhance The Yield of Magnetite Nanoparticles Using Isolation Method, *Proceeding Seminar Basic 2016*
- Fajaroh, F & Nazriati (2017), Factors influence the Structural and magnetic Properties of Ag-Fe₃O₄ Nanocomposites synthesized by reduction method, *IOP conference series: Material science and engineering*, 202 (2017) doi 10.1088/1757-899X/202/1/012064, 202 (2017) doi 10.1088/1757-899X/202/1/012064
- Fajaroh, F., Aisyah, S.N., Nazriati, Yahmin, Marfu'ah, S., Suryadharma, I.B. (2017) Pengaruh Perbandingan Komposisi Ag@Fe₃O₄ – asam oleat terhadap daya hambat Pertumbuhan Bakteri S. Aureus dan E. Coli. SNKP 2017
- Fajaroh, F. (2018) Sintesis Nanopartikel dengan Prinsip Kimia Hijau. *Prosiding SNKP 2018*.

- Fajaroh, F., Nazriati, Yahmin, Marfu'ah, S., Sumari, Nur, A. (2018) Synthesis of Fe₃O₄ Nanoparticle using PEG Template by Electrochemical Method, *J. Phys.: Conf. Ser.* 1093 012022. doi:10.1088/1742-6596/1093/1/012022 (<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/17426596/1093/1/012022>).
- Fajaroh, F., Susilowati, I.D., Nazriati, Sumari, Nur A. (2019) Synthesis of Zn-Fe₂O₄ Nanoparticles with PEG 6000 and Their Potential Application for Adsorbent, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 515 , 012049 doi:10.1088/1757-899X/515/1/012049 (<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/515/1/012049>)
- Falcão, IM, Garcia, M, de Moura, C., Nicolodi, S and de Moura, E.(2017) *J Brazil Chem Soc* **29**, 845-855 (2017).
- Franger, S., Berthet, P., Berthon, J. (2004) Electrochemical synthesis of Fe₃O₄ in alkaline aqueous solution containing complexing agents, *J. Solid State Electrochem.* 8: 218-223.
- Franger, S., Berthet, P., Dragos, O., Baddour-Hadjean, R., Bonville, P., Berthon, J. (2007) Large influence of the synthesis condition on the physico-chemical properties of nanostructure of Fe₃O₄, *J. Nanopart. Res.* 9: 389-402.
- Green, C.J. & Ndegwa, S. (2011) Nanotechnology: A Review of Exposure, Health Risks and Recent Regulatory Developments. *National Collaborating Centre for Environmental Health*
- Hosu O. , Tertis M., and Cristea C. (2019) Implication of Magnetic Nanoparticles in Cancer Detection, Screening and Treatment, 5, 55; doi:10.3390/magnetochemistry 5040055
- Iconaru S.L., Guégan R., Popa C., Motelica-Heino M., Ciobanu C.S., Predoi D.(2016) Magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles as adsorbents for As and Cu removal, *Applied Clay Science* 134, pp.128-135.
- Jeevanandam J., Barhoum A., Chan Y.S., Dufresne A. and Danquah M.K.(2018) Review on nanoparticles and nanostructured materials: history, sources, toxicity and regulations *Beilstein J. Nanotechnol.* 9, 1050–1074. doi:10.3762/bjnano.9.98
- Jianrong C., Yuqing, M., Nongyue, H., Xiaohua, W., Sijiao, L. (2004) Nanotechnology and Biosensor, *Biotechnology Advances* 22 (2004) 505–518
- Kooti, M. and Afshari, M. (2012) Magnetite Cobalt Ferrite nanoparticles as an efficient catalyst for oxidation alkene, *Scientia Iranica F* 19 (6) 1991-1995

- Lozano, I., Casilas, N., Ponce de Leon, C., Waalsh, SC, and Herrasti, P (2017) *J Electrochem Soc* 164, D 184
- Marques, R.C.F., Gracia, C., Lecante, P., Ribeiro, J.L., Noe, L., Silva, D.J.O., Amaral, V.S., Millan, A., Verelst, M. (2008) Electro-precipitation of Fe_3O_4 nanoparticles in ethanol, *J. Magn. Magn. Mater.* 320: 2311-2315.
- Mumtazah, Z., Nazriati, Fajaroh, F.,(2016) Studi faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi malakit hijau oleh nanopartikel magnetit bersalut silika Prosidings SNKP 2016
- Osmond M.J., & McCall M.J. (2010) Zinc oxide nanoparticles in modern sunscreens: An analysis of potential exposure and hazard *Nanotoxicology*, March 2010; 4(1): 15–41
- Pal, U J, Manna, U, Mohanta, P. K.G. P., Manavalan, R. (2011) Nanoparticle: An overview of preparation and Characterization *Journal of Applied Pharmaceutical Science* 01 (06) 228-234
- Primadi, TRP, Fajaroh, F., Santoso, A., Ciptawati, E.,(2019) Synthesis of $\text{CaO}@ \text{CoFe}_2\text{O}_4$ Nanoparticles and Its Utilization for Production of Biodiesel from Used Cooking Oil. *Submitted*
- Primadi, TRP, Fajaroh, F., Santoso, A., Sumari (2019) The Effect of SrO Impregnation on The Characteristics of Cobalt Ferrite (CoFe_2O_4) Nanoparticles Synthesized by Coprecipitation. *Submitted*
- Ray, PC, Yu, H and Fu, PP (2009) Toxicity and Environmental Risks of Nanomaterials: Challenges and Future Needs, *Journal of Environmental Science and Health Part C*, 27:1–35, 2009
- Sajanlal P.R., Sreepasad T.S., Samal A.K., and Pradeep T. (2011) Anisotropic nanomaterials: structure, growth, assembly, and functions, *Nano Reviews* 2011, 2: 5883 - DOI: 10.3402/nano.v2i0.5883
- Setyawan, H., Fajaroh, F., Widiyastuti, W., Winardi, S., Lenggoro, I.W., Mufti, N. (2012) One-step synthesis of silica-coated magnetite nanoparticles by electrooxidation of iron in sodium silicate solution, *Journal of Nanoparticle Research* 14:807 doi 10.1007/s1 1051-012-0807-7
- Setyawan, H., Fajaroh, F., Pusfitasari, MD, Yuwana, M., Affandi, S. (2014) A Facile Method to Prepare High Purity Magnetite Nanoparticles by Electrooxidation of Iron in Water Using Pulsed Direct Current , *Asia-Pac. J. Chem. Eng* 2014; 9: 768–774

- Skocaj, M., Filipic, M., Petkovic J., Novak, S. (2011) Titanium dioxide in our everyday life; is it safe? *Radiol Oncol* 2011; 45(4): 227-247
- Sudha, P.N, Sangeetha K., Vijayalakshmi K., Barhoum A. (2018) Emerging application of nanoparticles and architecture nanostructure Current Prospects and Future Trends *Micro and Nano Technologies* Pages 341-384.
- Wardencki, W, Cury, J., Namicoenik, J. (2005) Green Chemistry — Current and Future Issues. *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 14, No 4, 389-395.

UCAPAN TERIMAKASIH

Hadirin yang saya muliakan,

Mengakhiri pidato ini, perkenankan saya mengucapkan sekali lagi puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah mengijabah doa-doa kami sesuai dengan firmanNya dalam QS Al-Insyiroh 5-6 “Fainna ma’al ‘usri yusro, inna ma’al ‘usri yusro, karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”. Dilanjutkan dengan QS Taubah 40 “La takhof wala tahzan innallaha ma’ana, jangan takut dan jangan bersedih sesungguhnya Allah bersama kita”.

Selanjutnya perkenankan saya menyampaikan ucapan terimakasih yang mendalam dan tak hingga kepada semua pihak yang berkontribusi atas pencapaian saya meraih jabatan guru besar ini sehingga hari ini saya dikukuhkan. Beliau-beliau tersebut antara lain:

1. Ketua Senat Akademik UM, Bapak Prof. Dr. Suko Wiyono dan Rektor UM, Bapak Prof. Dr. A.H. Rofi’uddin, M.Pd beserta jajarannya, atas keyakinannya untuk mengukuhkan saya sebagai Guru Besar bidang Ilmu Kimia Material. Terimakasih dan penghargaan juga saya sampaikan kepada segenap panitia yang telah bekerja keras untuk menyukseskan acara pengukuhan hari ini.
2. Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI atas penetapan saya sebagai guru besar pada bidang Ilmu Kimia Material di FMIPA UM.
3. Rektor UM periode 2014-2018, Bapak Prof. Dr. A.H. Rofi’uddin, M.Pd, beserta jajarannya; Ketua Senat UM, Prof. Dr. Suko Wiyono, beserta seluruh anggota Senat dan Komisi Guru Besar UM; Dekan FMIPA UM, Prof. Dr. Hadi Suwono, M.Pd; Dekan FMIPA UM periode 2014-2018, Prof. Dr. Markus Diantoro, M.Si; Ketua Jurusan Kimia UM, Dr. Sumari, M.Si; Ketua Jurusan Kimia UM periode 2014-2018, Dr. Aman Santoso, M.Si; serta segenap anggota Tim Penilai Jabatan Akademik Dosen (TPJAD) Universitas dan FMIPA UM,

atas kepercayaan dan ketetapan merestui saya meraih guru besar ini. Ucapan terima kasih yang mendalam juga saya sampaikan kepada staf kepegawaian UM dan FMIPA UM atas layanan dan kerja kesarnya dalam memproses pengusulan guru besar ini.

4. Bapak Prof. Dr. Heru Setyawan, M.Eng (ITS), serta Bapak Prof. Dr. Sugeng Winardi, M.Eng (ITS) atas jasa-jasanya sebagai tim promotor saya dalam menempuh program Doktor di Teknik Kimia ITS sehingga saya memiliki syarat perlu untuk meraih jabatan guru besar. Terima kasih tak terhingga atas kehadiran beliau.
5. Bapak Prof. Dr. Sugeng Winardi, M.Eng dari Teknik Kimia ITS, dan Bapak Prof. Dr. rer. nat. Heru Susanto, ST, MT dari Universitas Diponegoro atas dukungan dan kesediaannya menjadi penilai eksternal.
6. Bapak Prof. Dr. Subandi dan Prof. Drs. Effendy, M.Pd, Ph.D, atas dukungan dan jasa beliau berdua sebagai reviewer internal.

Secara khusus, saya juga menyampaikan ucapan terimakasih yang tak terhingga kepada orang-orang yang saya banggakan berikut ini yaitu:

1. Almarhum-almarhumah yang tercinta: Ibunda Hj. Ruqojjah, suami-ku Ir. H. Didik Bambang Supriyadi, MT; ibunda mertua Siti Samsiar, ayahanda mertua Tjiptosudarmo, Ummi Hj. Sa'adah Rahman dan Abah Drs. H. A. Rahman Marsaid, atas doa, dukungan, dan kasih sayangnya yang tak terhingga kepada kami, teriring doa "Allahummagh-firlahum warhamhum wa'afih wa'fuanhum Aamiin".
2. Ayahanda tercinta Bapak Daim Abdul Hamid, Anak-anakku terkasih: Ahmad Rizqi Fadlil, Zulfikar Fikri Fauzi, dan Moh. Farhan Supri-adiputra, yang menjadi pemicu semangat dan penyejuk jiwa, teriring doa dan harapan semoga menjadi anak-anak yang sholih dan bermanfaat bagi sesama, aamiin.
3. Adikku tersayang Drs. Walidi Abror-Junaida S.Pd dan keluarga, Keluarga Besar abah H. Moh. Ijas dan ibu Hj. Alfijah; keluarga besar bapak Moh. Rodi; keluarga besar abah Drs. H. A. Rahman Marsaid; keluarga besar bapak Muslichan; keluarga besar Om Soepardjo; keluarga besar Mas Edy Sukamto; keluarga besar Mbak Retno Sudarwati;

keluarga besar Mas Djatmiko Sriwidodo, keluarga besar mbah Afyah, beserta adik-adikku tercinta: Zulaicha, S.Pd-Hariyanto, Zuraidah, S.Pd-Syaiful Aziz, S.Pd; Yusuf Bahtiar-Sholichah Arifah; Hasan Luthfi-Anisaul.; Miftachurrohman-Ainun; Nur Huda dan istri; Taufiq dan istri; Nur Yati Nurisnaini-Sam Ghani Utomo; Choirul As'ari, Rifqi Abdullah, dan Riska. Terima kasih tak terhingga atas dukungan, kasih sayang dan doanya

4. Bapak dan ibu guru saya mulai dari SD sampai SMA di Malang, yang telah memberikan ilmu dan nilai-nilai kebajikan dalam menaungi kehidupan. Terima kasih tak hingga atas kehadiran bapak Drs. Muchtar A. Karim, MA dan bapak Drs. Kamsiadi.
5. Pembimbing dan penasihat akademik saya semasa menempuh studi S1 dan S2, yaitu almarhum Prof. Sutardi, bapak Soenarto Tjitrowinto, MA (alm), dan Prof Dr. Susanto Imam Rahaju. Terima kasih atas bimbingan dan dukungannya.
6. Bapak Ibu rekan sejawat dosen Jurusan Kimia baik, yang masih aktif maupun yang sudah purna tugas terima kasih atas dukungan, keteladanan, ilmu yang ditularkan, dan kekrabannya yang membuat nyaman bekerja di jurusan kimia tercinta. Doa kami semoga bapak ibu segera menyusul saya berdiri di sini. Doa tulus dari musyafir yang insya Allah diijabah oleh Allah SWT (Taufiq, 2019; Muntholib, 2019).
7. Terima kasih secara khusus kepada sdr. Husni Wahyu Wijaya, Ph.D, Prof. Drs. Effendy, M.Pd, Prof. Sri Rahayu, Ph.D, Prof. Dr. Budi Eko Soetjipto, Prof Dr. Arif Hidayat, dan dosen-dosen KBK Kimia Fisik Prof Suhadi Ibnu, Dr. Darsono Sigit, M.Pd, Drs. IB Suryadharma, MS, Dr. Sumari M.Si, Drs. Ridwan Joharmawan M.Si, Dr. Nazriati M.Si, Dr. Yahmin M.Si, Dr. Adila Aliyatulmuna MT, dan Endang Cipatawati, M.Si terima kasih atas dukungan nyatanya.
9. Keluarga besar dosen dan karyawan di jurusan Kimia khususnya, dan FMIPA umumnya, yang tidak mungkin saya sebutkan satu per satu. Terima kasih atas kerjasama dan dukungannya selama ini.
10. Para mahasiswa S1 dan S2 bimbingan saya baik yang sudah lulus maupun yang akan lulus, terima kasih atas dukungan dan kerjasamanya dalam mengembangkan riset di bidang material maju.

11. Bapak Ibu rekan sejawat dari jurusan-jurusan lain di UM, ITS, UNS, UB, ITN, dan Ma Chung University, terima kasih atas dukungan dan kehadirannya. Terima kasih secara khusus kepada Dr. Adrian Nur (UNS) dan Dr. Eng Widiyastuti (ITS) atas dukungan dan kerjasamanya, semoga Allah memudahkan setiap urusannya aamiin.
13. Kepada sobat alumni SMPN 6 Malang, SMA PPSP IKIP Malang, dan Kimia 82 IKIP MALANG, terima kasih atas doa, dukungan dan kehadirannya.
14. Kepada saudara-saudaraku dari perumahan blok U ITS, keluarga Ibu Siti Aminah, Ibu Tubari, Ibu Indra Basuki, Ibu Nursuko Hadi, Ibu Suroiyah Maksum, Ibu Rosyidi, terima kasih atas keguyuban dan persaudaraannya selama ini.

Demikian pidato kami, terima kasih kami ucapkan, dan mohon maaf atas segala kekurangan.

Wallahul muaffiq ila aqwamith thorieq. Wassalaamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Identitas

1. Nama Fauziatul Fajaroh
2. NIP 196402211988032001
3. Tempat dan Tanggal Lahir Pasuruan, 21-02-1964
4. Alamat Jl. Teknik Komputer IV/U-161
Surabaya
5. Jabatan Akademik Guru Besar
6. Unit Kerja Jurusan Kimia FMIPA UM

B. Riwayat Pendidikan

No	Pendidikan	Nama Lembaga dan Alamat	Bidang	Tahun Lulus
1	SD	SL PGAN 6 THN Malang	-	1976
2	SMP	SMPN 6 Malang	-	1980
3	SMA	SMA PPSP IKIP MALANG	Palma	1982
4	S1	IKIP MALANG	Pend. Kimia	1986
5	S2	ITB	Kimia	1990
6	S3	ITS	Teknik Kimia	2011

C. Pendidikan Tambahan

No	Nama Pendidikan	Penyelenggara	Tahun
1	Lat. Prajabatan Tk III	ITB	1989
2	Pra S2	ITB	1988-1989
3	Sandwich-Like Program di Tokyo University of Agriculture and Technology (TUAT) Tokyo Japan	Dikti	2010
18	Workshop Reviewer Bersertifikat	September 2019, Bogor	
19	Workshop Asesor Serdos	Oktober 2019, Surabaya	

D. Pengalaman Penulisan Artikel Ilmiah dalam Jurnal Internasional

No	Judul Artikel Ilmiah	Nama Jurnal
1	Synthesis of magnetite nanoparticles by surfactant-free electro-chemical method in an aqueous system ((F. Fajaroh, H. Setyawan, W. Widiyastuti, S. Winardi)	Advanced Powder Technology 23 (2012) 328–333
2	One-step synthesis of silica-coated magnetite nanoparticles by electrooxidation of iron in sodium silicate solution (H. Setyawan, F. Fajaroh, W. Widiyastuti, S. Winardi, I.W. Lenggoro, N. Mufti)	Journal of Nanoparticle Research (2012) 14:807 doi 10.1007/s1 1051-012-0807-7
3	Thermal stability of silica coated magnetite synthesized by electrochemical method (F. Fajaroh, H. Setyawan, I.W. Lenggoro, A. Nur)	Advanced Powder Technology 24 (2013) 507–511

4	To Enhance The Purity To Enhance The Purity and Crystallinity Magnetite Nanoparticles Prepared By Surfactant Free Electrochemical ((F. Fajaroh, N. Nazriati, S. Sutrisno, S. Wonorahardjo)	AIP Conference Proceeding 2014; 9: 768–774
5	A Facile Method to Prepare High Purity Magnetite Nanoparticles by Electrooxidation of Iron in Water Using Pulsed Direct Current (H. Setyawan, F. Fajaroh, M.D. Pusfitasari, M. Yuwana, S. Affandi)	Asia-Pac. J. Chem. Eng 2014; 9: 768–774
6	The effectiveness of colloid module based on guided inquiry approach to increase students’ cognitive learning outcomes (L. Novilia, S. Iskandar, F. Fajaroh)	International journal of education Vol 9 No 1 (2016)
7	Socioscientific Issues (SSI) in reaction rates topic and its effect on the critical thinking skill of high school students (Y.N. Pratiwi, S. Rahayu, F. Fajaroh)	JPII Vol 5 No 2 (2016)
8	Effect of concentration of sodium silicate solution in the synthesis of silica coated magnetite nanoparticles by ultrasonication. (F. Fajaroh, N. Nazriati, S. Sumari)	AIP Conference Proceeding 1710, 030018 (2016); doi: 10.1063/1.4941484
10	Factors influence the Structural and magnetic Properties of Ag-Fe ₃ O ₄ Nanocomposites synthesized by reduction method (F. Fajaroh dan N. Nazriati)	IOP conference series: Material science and engineering 202 (2017) doi 10.1088/1757-899X/202/1/012064

11	Synthesis of TiO ₂ by Hydrolysis/ Electrochemical to Reduce Hazardous Disinfecting Materials, Equilibrium Journal of Chemical Engineering, 16(1). (A. Nur, A. Jumari, Nazriati, F. Fajaroh)	EQUILIBRIUM Journal of Chemical Engineering Vol.16 No. 1 (2017)
12	Phase Control of TiO ₂ Prepared by TiCl ₄ Hydrolysis and Electrochemical Method. EQUILIBRIUM Journal of Chemical Engineering; Vol. 16 No. 2 (2017). (A. Nur, A. Jumari, F. Fajaroh, N. Nazriati)	EQUILIBRIUM Journal of Chemical Engineering Vol.16 No. 2 (2017), https://jurnal.uns.ac.id/equilibrium/article/view/18396
13	The Electrolysis Time on Electrosynthesis of Hydroxyapatite with Bipolar Membrane. AIP Conference Proceedings 1931, 030004 (2018). (A. Nur, A. Jumari, AW Budiman, SF Puspitaningtyas, S Cahyaningrum, N. Nazriati, and F. Fajaroh)	The 3rd International Conference on Industrial, Mechanical, Electrical, and Chemical Engineering, AIP Conf. Proc. 2018, DOI: 10.1063/1.5024063, http://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.5024063
14	Synthesis of ZnO/CuO Composite by The Electrochemical Method in The Acetat Acid Solution (A. Nur, J. Rofi'uddin, MA Basir, N Nazriati, F Fajaroh).	EQUILIBRIUM Journal of Chemical Engineering; Vol. 2 No. 2 (2018). http://equilibrium.ft.uns.ac.id

15	Synthesis of Fe ₃ O ₄ Nanoparticle using PEG Template by Electrochemical Method (F Fajaroh, N Nazriati, Y Yahmin, S Marfu'ah, S Sumari and A Nur).	J. Phys.: Conf. Ser. 1093 012022. doi:10.1088/1742-6596/1093/1/012022 (http://iopscience.iop.org/article/10.1088/17426596/1093/1/012022).
16	Synthesis of ZnFe ₂ O ₄ Nanoparticles with PEG 6000 and Their Potential Application for Adsorbent (F Fajaroh, ID Susilowati1, N Nazriati, S Sumari, A Nur)	IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 515 (2019) 012049 doi:10.1088/1757-899X/515/1/012049 (https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/515/1/012049)
17	Electrosynthesis of cobalt – hydroxyapatite nanoparticles (A Nur, A Jumari, AW. Budiman, O Ruzicka, MA. Fajri, N Nazriati, and F Fajaroh)	AIP Conference Proceedings 2097, 030012 (2019). https://doi.org/10.1063/1.5098187 (https://aip.scitation.org/toc/apc/2097/1?expanded=2097)

18	Synthesis of nickel – hydroxyapatite by electrochemical method. (A Nur, A Jumari, A W Budiman, A H Wicaksono, A R Nurohmah, N Nazriati and F Fajaroh)	IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 543 (2019) 012026 doi:10.1088/1757-899X/543/1/012026 (https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/543/1/012026/meta)
19	Fatty Acids in Tamarindus indica L. Seeds Oil and Antibacterial Activity Assay (Sutrisno, R Retnosari, S Marfu'ah, and F Fajaroh)	Key Engineering Materials Vol. 811 40-46
20	Effect of Temperature Synthesis on Structural Behaviours of NaY Zeolite Using Local Sand as A Silica Source (S Sumari, F Fajaroh, Yahmin, N Sholihah, A Santoso, A Budianto)	IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 515 (2019) 012036 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/515/1/012036
21	Zeolite Impregnated with Ag as Catalysts for Glycerol Conversion to Ethanol Assisted by Ultrasonic (S Sumari, F Fajaroh, IB Suryadharma, A Santoso, A Budianto)	IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 515 (2019) 012075 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/515/1/012075
22	Removal methylene blue from aqueous solution using silica aerogel prepared from bagasse ash (N Nazriati, L Maknun and F Fajaroh)	IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci 299 012044 (2019)

E. Riwayat Jabatan

No	Jabatan	Mulai	Sampai
1	Asisten Ahli Madya	28/2/1991	31/8/1995
2	Asisten Ahli	31/8/1995	29/8/1997
3	Lektor Muda	29/8/1997	2/7/2001
4	Lektor	20/3/2001	2/7/2007
5	Lektor Kepala	2/7/2007	1/5/2019
6	Guru Besar	1/5/2019	sekarang

F. Pengalaman di Bidang Pendidikan dan Pengajaran

No	JENIS PENGALAMAN	TAHUN
1	Pembina Mata Kuliah Kimia Fisik (S1)	1991- sekarang
2	Pembina Mata Kuliah Kimia Dasar (S1)	1991- sekarang
3	Pembina Mata Kuliah Kimia untuk Fisika (S1)	1991- sekarang
4	Pembina Mata Kuliah Kimia untuk Biologi (S1)	1991- sekarang
5	Pembina Mata Kuliah Praktikum Kimia Fisik (S1)	1991- sekarang
6	Pembina Mata Kuliah Kinetika Kimia (S1)	2012-sekarang
7	Pembina Mata Kuliah Energetika dan Kinetika Kimia (S2 Pend Kimia)	2012-sekarang
8	Pembina Mata Kuliah Review dan Pengembangan Materi Kinetika dan Dinamika Reaksi-reaksi Kimia (S3 Pend Kimia)	2013-sekarang
9	Pembina Mata Kuliah Kinetika dan Energetika Kimia (S2 Kimia)	2018
10	Pembina Mata Kuliah Kimia Nanomaterial (S2 Kimia)	2018
11	Pembina Mata Kuliah Energi Alternatif dan Energi Terbarukan (S2 Kimia)	2019
12	Pembina Mata Kuliah Elektrokimia (S2 Kimia)	2019

G. Pengalaman di Bidang Penelitian

No	Tahun	Judul penelitian
1	2013-2014	Pengembangan Nanopartikel Magnetite secara Elektrokimia dan aplikasinya pada remediasi limbah Organik
2	2015-2016	Modifikasi Permukaan Nanopartikel Magnetite Hasil sintesis secara Elektrokimia dan Aplikasinya sebagai agen Pengolah Limbah
3	2017	Sintesis Nanokomposit Ag-Fe ₃ O ₄ dengan Template PEG dan Uji Awa Potensinya sebagai Antibakteri
4	2017	Eksporasi Pengalaman Belajar Mahasiswa Calon Guru Kimia dalam <i>Learner Centered –Environment</i> dan <i>critical Thinking</i> dengan strategi pembelajaran literasi sains
5	2018	Sintesis Komposit Karbon-Silika dan Aplikasinya sebagai Adsorben
6	2018	Sintesis Zn Ferrite dan Aplikasinya sebagai Adsorben Malasit Hijau
7	2018	Pengembangan Zeolit berbasis limbah geotermal
8	2018	Implementasi Pembelajaran Kimia Berbasis Inkuiri dengan Konteks <i>Socioscientific Issues (SSI)</i> untuk Mengoptimalkan <i>Learner's Capability</i> dan <i>Scientific Literacy</i> Siswa SMA
9	2019	Sintesis Komposit Karbon-Silika dan Aplikasinya sebagai Adsorben
10	2019	Studi Sintesis Nanomagnetis CoFe ₂ O ₄ yang Diimpregnasi CaO dan SrO, serta Potensi Katalitiknya untuk Produksi Biodiesel dari Minyak

H. Pengalaman di Bidang Pengabdian pada Masyarakat (Selama 5 thn terakhir)

No	Tahun	Judul Pengabdian
1	2015	Layanan Praktikum Kimia Siswa MAN 1 Karangrejo Tulungagung Pokok Bahasan Elektrokimia
2	2017	Dewan Juri Seleksi Laboran SMA Berprestasi Tingkat Provinsi Jawa Timur Tahun 2017
3	2017	Workshop Penulisan Hasil PTK dalam Bentuk Artikel Ilmiah
4	2018	Sains Kuliner Mahasiswa Internasional UM
5	2019	Bersih-bersih Pantai dari Sampah Plastik

I. Penulisan di Bidang Penulisan Buku/Diktat

No	Tahun	Judul Buku/ Diktat
1	2005	Kimia untuk SMA / Madrasah Aliyah
2	2007	Kimia Fisik : Keseimbangan Kimia
3	2008	Kimia Fisik: Keseimbangan Fasa
4	2008	Model Pembelajaran Berbasis Konstruktivistik: Learning Cycle
5	2012	Kinetika Kimia

J. Pengalaman lain-lain (Seminar, Lokakarya dll).

No.	Nama Pertemuan Ilmiah / Seminar	Waktu dan Tempat
1.	Seminar Nasional Sains & Teknologi Nano 2009.	Bandung, 3 Juni 2009.
2.	Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia – SNTKI 2009	Bandung, 19-20 Oktober 2009.
3.	Seminar Rekayasa Kimia dan Proses 2010	Semarang 4-5 Agustus 2010
4.	The 4 th Nanoscience Nanotechnology	Bali, 23-25 September 2011
5	5 th Nanoscience and Nanotechnology Symposium 2013	Surabaya – ITS, Meritus Hotel tanggal 23 – 25 Oktober 2013

6	NRS 2014	UM Oktober 2014
7	Seminar Nasional Kimia 2014	FMIPA UM September 2014
8	STKSR 2014	ITB Oktober 2014
9	6 th Nanoscience and Nanotechnology Symposium 2015	UNS Nopember 2015
10	Seminar Nasional Kimia 2015	Nopember 2015, UM
11	BASIC 2016	Maret 2016 UB Malang
12	ICAMST 2016	September 2016, UM
13	Seminar Nasional Kimia 2016	Oktober 2016, UM
14	Seminar Nasional Kimia 2017	Nopember 2017, UM
15	Seminar ICoMSE	Oktober 2017, UM
16	Seminar Nasional Kimia 2018	Nopember 2018, UM
17	Seminar IC2MAM 2018	September 2018, UM
10	Seminar JCC 2019	10-11 September
11	Seminar ICoLiST 2019	12-13 September 2019
12	Seminar ICoMSE 2019	27-28 Agustus 2019, UM
13	Seminar ICER3M 2019	18-19 September 2019, UM
14	Seminar IC2MS 2019	2-3 November 2019, UB

K. Paten yang sudah GRANTED:

1. Nanopartikel Magnetit dengan Kristalinitas dan Kemurnian Tinggi dan Metode Pembuatannya, 27 Pebruari 2018
2. Metode Pelapisan Nanopartikel Magnetit dengan Silika, 25 Maret 2019

L. Keterangan Keluarga

1. Ayah dan Ibu Kandung

	NAMA	TGL. LAHIR/UMUR	PEKERJAAN	KETE-RANGAN
Ayah	H. Daim Abdul Hamid	08-08-1936	Pensiunan Guru	Ayah Kandung
Ibu	Hj. Ruqoiyah	-	Pensiunan Guru	Ibu Kandung (almarhumah)

2. Bapak dan Ibu Mertua

NAMA	TGL. LAHIR/UMUR	PEKERJAAN	KETE-RANGAN
Tjipto Soedarmo	-	Wiraswasta	Ayah mertua (almarhum)
Siti Samsiyar	-	Wiraswasta	Ibu mertua (almarhum)

3. Suami

NAMA	TEMPAT LAHIR	TANGGAL LAHIR	TANGGAL MENIKAH	PEKER-JAAN	KETE-RANGAN
Ir. H. Didik Bambang Supriyadi, M.T	Magetan	5 Juli 1963	10 Juli 1991	Dosen ITS	Almarhum

4. Anak

NO	NAMA	JENIS KELAMIN	TEMPAT LAHIR	TANGGAL LAHIR	STATUS
1	Ahmad Rizqi Fadlil	L	Malang	07-08-1998	Mahasiswa Jurusan Sistem Informasi ITS
2	Zulfikar Fikri Fauzi	L	Malang	16-10-2000	Mahasiswa Jurusan Teknik Industri ITS
3	Moh. Farhan Supriadiputra	L	Malang	08-04-2002	Pelajar SMA 20 Surabaya

Demikian daftar riwayat hidup ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat keterangan yang tidak benar saya bersedia dituntut dimuka pengadilan, serta bersedia menerima segala tindakan yang diambil oleh Pemerintah.

Surabaya, 3-11-2019

Yang membuat,

Prof. Dr. Fauziatul Fajaroh, MS





