

**SILIKA MESOPORI MCM-41:
PERKEMBANGAN RISET DAN APLIKASINYA**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

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

**Disampaikan pada Pengukuhan Guru Besar
Universitas Gadjah Mada
Pada 6 Agustus 2024**

**Oleh
Prof. Dr. Suyanta, M.Si.**

Bismillahirrahmanirrahim
Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh,
Salam sejahtera untuk kita semua.

Yang saya hormati,
Ketua dan segenap anggota Majelis Wali Amanat UGM,
Rektor dan para Wakil Rektor UGM,
Ketua dan segenap anggota Dewan Guru Besar UGM,
Ketua dan segenap anggota Senat Akademik UGM,
Para Dekan dan Wakil Dekan di lingkungan UGM,
Ketua dan segenap anggota Senat Fakultas MIPA UGM,
Segenap sivitas akademika Fakultas MIPA UGM,
Para tamu undangan serta segenap hadirin yang saya muliakan.

Alhamdulillah rabbil'alamin
Puji syukur kita panjatkan kepada Allah Swt. yang telah melimpahkan kasih sayangNya, sehingga kita bisa hadir dalam pertemuan ini dalam keadaan sehat dan berbahagia.
Allahuma sholi 'ala Muhammad ya Robbi sholi 'alihi wa salim.

Bapak/Ibu dan para hadirin yang saya hormati,

Silika mesopori, yaitu silika yang mengandung pori-pori dengan diameter sebesar 2-50 nm, merupakan material yang sangat penting dan menempati posisi super dalam ilmu bahan. Pori-pori dengan ukuran tsb selain mampu membatasi pertumbuhan kristal sehingga mencegah aglomerasi nanopartikel, juga menstabilkan dan meningkatkan permukaan spesifik bahan yang terdispersi di dalamnya, sehingga sangat berguna dalam aplikasi-aplikasi yang terkait dengan permukaan. Salah satu jenis silikat mesopori yang paling dikenal adalah MCM-41 (*Mobil Composition of Mater No. 41*), yang memiliki pori berbentuk batang yang tersusun dalam kemasan heksagonal berdimensi-1 dengan ukuran pori yang seragam, dan luas permukaan spesifik maupun volume pori yang besar. Sifat-sifat tersebut sangat menjanjikan untuk dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang, sehingga MCM-41 merupakan salah satu material yang paling banyak diteliti sejak berhasil

disintesis pada tahun 1992 hingga hari ini. Berdasarkan pada pertimbangan tersebut maka dalam pidato pengukuhan guru besar pada hari ini saya mengangkat judul **SILIKA MESOPORI MCM-41: PERKEMBANGAN RISET DAN APLIKASINYA**. Secara garis besar hal-hal yang akan saya sampaikan dalam pidato ini adalah meliputi: riwayat singkat penemuan, pengembangan metode sintesis, dan beberapa contoh aplikasinya, yaitu sebagai adsorben, katalis, saringan molekuler, pengirim obat, dan biosensor. Selain itu disajikan pula salah satu potensi pengembangan riset dan aplikasi MCM-41 di masa depan.

Bapak/Ibu dan para hadirin yang saya hormati,

Material berpori memainkan peran penting dalam berbagai aplikasi kimiawi, di antaranya untuk penyaringan air (Giannakoudakis dkk., 2021), pemisahan campuran minyak-air (Hussain dkk., 2020), peningkatan efektifitas katalitik partikel-partikel katalis (Xu dkk., 2019), adsorben (Bagheri dkk., 2019), penyimpan energi (Kim dkk., 2018), aplikasi biomedik (Emen dkk., 2019), sensor (Liu dkk., 2020), dll. Material berpori juga penting dalam bidang ilmu tanah (misal: penyerapan air dan zat makanan oleh akar), ilmu lingkungan (misal: pengembalian kualitas tanah dan penanganan air limbah), ilmu pangan dan teknologi pemisahan (misal: penyaringan, pemisahan gas menggunakan membran, dan kromatografi cair), ilmu polimer (misal: dalam dehidrasi lensa kontak), dan dalam industri konstruksi misalnya dalam hidrasi semen (Sahimi, 1995).

IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) mengklasifikasikan material berpori menjadi tiga jenis berdasarkan ukuran diameter porinya, yaitu: mikropori dengan diameter pori < 2 nm, mesopori dengan diameter pori 2 - 50 nm, dan makropori dengan diameter pori > 50 nm (Sing dkk. 1985). Zeolit yang banyak digunakan sebagai katalis dalam industri kimia umumnya berdiameter pori antara 0,5 dan 0,6 nm saja. Ukuran ini memang cukup untuk mengkatalisis reaksi molekul-molekul berukuran kecil, namun tidak cukup untuk hidrokarbon berbobot molekul tinggi yang semakin penting perannya. Zeolit-zeolit dengan ukuran pori terbesar yang digunakan secara komersial (misalnya, faujasit) merupakan suatu mikropori dengan

diameter sekitar 0,72 nm saja. Para peneliti, oleh karenanya, tertantang untuk mendapatkan bahan sejenis zeolit dengan ukuran pori yang lebih besar, yaitu dalam skala mesopori.

Para peneliti telah melakukan berbagai upaya untuk mensintesis bahan mesopori seperti silika (Iler, 1979), alumina transisi (Wefers dan Misra, 1987), dan lempung terpillar. Yanagisawa dkk. (1990) menjelaskan cara pembuatan silika mesopori dengan ukuran pori yang seragam, namun pori-pori pada bahan ini umumnya tak teratur serta memiliki distribusi ukuran yang lebar. Kesenjangan tersebut telah dijumpai oleh penemuan rumpun M41S, yang telah membuka kemungkinan baru dalam penyusunan katalis dengan pori-pori seragam pada daerah mesopori yang dapat dengan mudah diakses oleh molekul-molekul besar yang terdapat pada minyak mentah dan industri kimia.

Penemuan

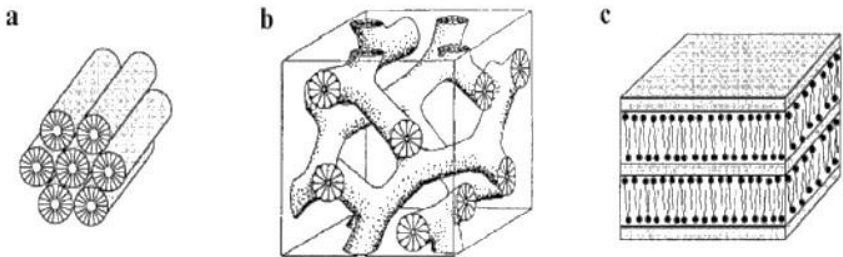
Bapak/Ibu dan para hadirin yang saya hormati,

Penemuan bahan mesopori M41S untuk pertama kali didasarkan pada inspirasi kerja yang dipelopori oleh tim peneliti Jepang, Yanagisawa dkk. (1990), yang telah menemukan suatu bahan dengan diameter pori 20-40 Å yang secara struktural berhubungan dengan silika mesopori. Dalam hal ini Yanagisawa dkk. (1990) mempreparasi kompleks *cetyltrimethylammoniumkanemite* dan kemudian mengkonversinya menjadi bahan mikropori. Penemuan tersebut telah menginspirasi kelompok peneliti di *Mobil Oil Corporation* di Amerika Serikat untuk mengembangkan jalur sintesis yang lebih fleksibel berdasarkan perakitan supramolekuler surfaktan kationik, S^+ dan prekursor bahan anorganik anionik, I^- (Beck dkk., 1992). Beberapa tahun kemudian, silika mesopori dengan pori-pori yang jauh lebih besar (bisa mencapai 30 nm) diproduksi di Universitas Santa Barbara California, yang diberi nama Santa Barbara Amorf, SBA-15 dan SBA-16 (Zhao dkk., 1998).

Beck dkk. (1992) melaporkan sintesis rumpun baru bahan mesopori silikat, M41S, yang memiliki bentuk dan ukuran pori seragam dengan susunan yang teratur dan berdiameter pori antara 1,5 dan 10 nm. Menurut Beck dkk. (1992) dan Kresge, dkk. (1992) rumpun bahan

mesopori M41S ini dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu: MCM-41 yang memiliki struktur pori heksagonal, MCM-48 dengan struktur pori kubik, dan MCM-50 yang memiliki struktur pori lamelar, sebagaimana disajikan pada Gambar 1.

MCM-41 merupakan salah satu anggota rumpun M41S yang paling menarik sehingga sudah lebih banyak dipelajari. Bahan ini memiliki pori dengan susunan heksagonal yang seragam (mirip sarang lebah) dengan ukuran pori yang dapat diatur dan *well defined*. Karakteristik utama bahan MCM-41 adalah: stabilitas termal yang tinggi (sampai dengan 800°C), kapasitas penyerapan hidrokarbon yang besar (lebih dari 0,7 cc/g), luas permukaan spesifik yang besar (bisa mencapai 1000 m²/g) dan distribusi ukuran pori yang sempit.



Gambar 1 Rumpun bahan mesopori M41S: (a) MCM-41, (b) MCM-48, dan (c) MCM-50

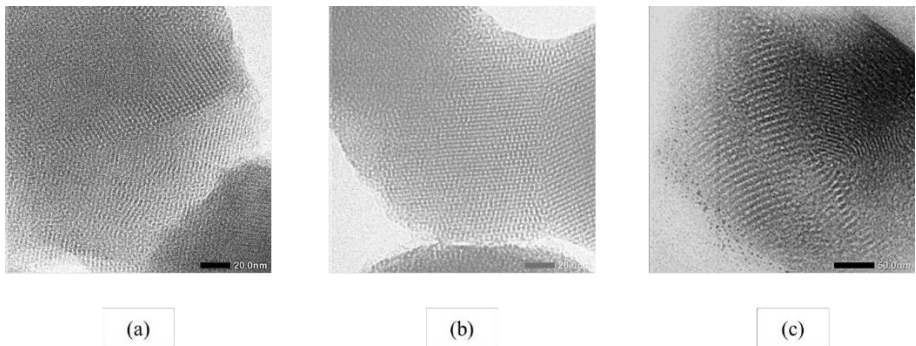
MCM-41 secara struktural stabil terhadap perlakuan termal, perlakuan hidrotermal dengan uap air pada kondisi ringan, dan penggilingan mekanik, namun tidak stabil terhadap hidrotermal berair (Pe'rez dkk., 2000). Bahan ini relatif stabil dalam larutan asam, tetapi mengalami kerusakan dalam larutan basa (Chen dkk., 1997).

Pengembangan Prosedur Sintesis

Bapak/Ibu dan para hadirin yang saya hormati,

Kresge dkk. (1992) menyatakan bahwa secara umum rumpun saringan molekul mesopori M41S dapat disintesis dengan mencampurkan suatu sumber silika (misalnya:

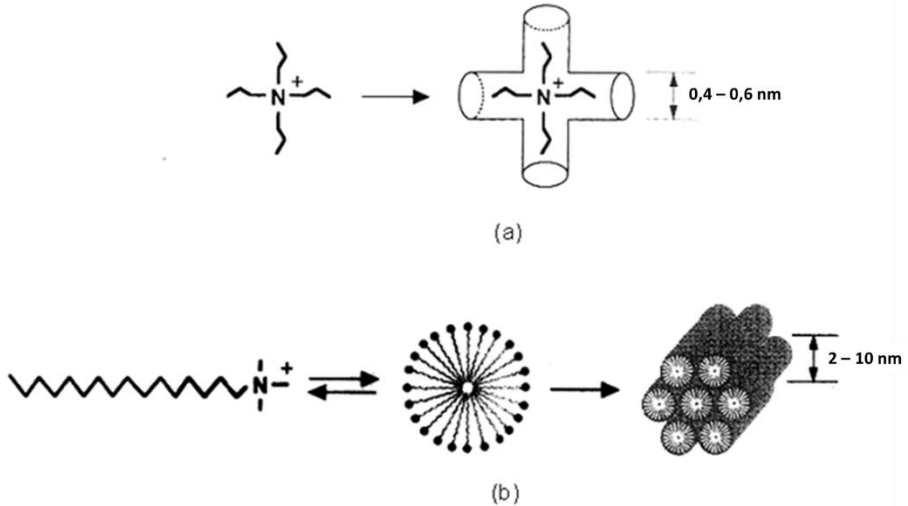
tetraethylorthosilicate/TEOS, uap silika, natrium silikat, dll.), suatu surfaktan alkiltrimetilamonium halida (misalnya: *cetyltrimethylammonium bromide*, CTAB), suatu basa (misalnya: NaOH atau *tetramethylammonium hydroxide*, TMAOH), dan air. Campuran ini, diberi perlakuan hidrotermal pada temperatur sekitar 100°C selama waktu tertentu, sehingga menghasilkan suatu mesostruktur organik-anorganik yang berupa endapan padat. Endapan tersebut disaring dan dicuci dengan air, kemudian dikeringkan dalam udara. Selanjutnya dilakukan kalsinasi pada temperatur sekitar 500 °C, sehingga surfaktan terbakar dan menyisakan bahan anorganik mesopori. Silika yang diekstrak dari limbah sekam padi juga dapat digunakan sebagai bahan dasar dalam sintesis MCM-41 (**Suyanta dan Kuncaka, 2011**), MCM-48 (**Suyanta, dkk., 2022**), maupun SBA-15 (**Suyanta dkk., 2022**) dengan keteraturan pori sebagaimana terlihat pada citra TEM yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Citra TEM MCM-41 (a), MCM-48 (b), dan SBA-15 (c) yang disintesis dari silika yang diekstrak dari sekam padi

Pencetak yang digunakan dalam contoh tersebut adalah suatu surfaktan kationik alkiltrimetilamonium dengan rantai alkil panjang. Sebelumnya telah diketahui bahwa pengarah struktur yang berupa amonium kuarterner dengan alkil rantai pendek lazim digunakan untuk mensintesis zeolit sebagaimana disajikan pada Gambar 3. Perbedaan antara surfaktan ionik alkiltrimetilamonium halida yang berantai alkil panjang dengan yang berantai pendek adalah bahwa

alkiltrimetilammonium halida yang berantai alkil panjang dapat membentuk struktur misel, sedangkan amonium kuartener rantai alkil pendek tidak membentuk misel dan mencetak zeolit di tingkat molekuler.



Gambar 3 Pembentukan saringan molekuler: (a) mikropori menggunakan garam amonium kuarterner dengan alkil berantai pendek, dan (b) mesopori menggunakan garam amonium kuarterner dengan alkil berantai panjang (Zhao, dkk., 1996)

Kelebihan utama rumpun M41S adalah fleksibilitasnya untuk dilakukan modifikasi struktur dan dikontrol ukuran porinya (2-10 nm) dengan mengubah kondisi sintesis. Schmidt dkk. (1995) menemukan bahwa perubahan rasio mol surfaktan/silika akan berakibat pada perbedaan fasa produk yang diperoleh sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Korelasi antara rasio mol surfaktan/silika dengan jenis fasa yang dihasilkan

Rasio mol Surfaktan/Silika	Jenis fasa produk
< 1,0	Heksagonal (MCM-41)
1,0 – 1,5	Kubik (MCM-48)
1,5 – 2,0	Material yang tak stabil secara termal
> 2,0	Kubik oktamer [(CTMA)SiO _{2.5}] ₈

(Schmidt dkk., 1995)

Laporan pertama mengenai rumpun material mesopori yang disebut sebagai M41S diterbitkan oleh Kresge dkk. (1992). Dalam makalah yang masih berhubungan dengan laporan tersebut, Beck dkk. (1992) melaporkan lebih detail tentang salah satu anggota rumpun M41S yaitu MCM-41. Kedua laporan ini telah memicu gelombang penelitian dan memberikan landasan bagi penelitian lebih lanjut mengenai silika mesopori, khususnya MCM-41 yang digunakan antara lain sebagai pendukung katalis, adsorben, dan saringan molekuler.

Bapak/Ibu dan para hadirin yang saya hormati,

Sejak laporan pertama mengenai sintesis MCM-41 dalam medium basa muncul, sejumlah paten dan publikasi telah dilaporkan. Huo dkk. (1994) melaporkan sintesis silika mesopori dalam kondisi asam, sedangkan Tanev dan Pinnavaia (1996) mengusulkan mekanisme sintesis dengan pencetak netral berdasarkan ikatan hidrogen antara amina primer dan spesies silika anorganik netral. Chen dkk. (1993) mensintesis MCM-41 dan mempelajari mekanisme sintesis pencetakan kristal cair (*Liquid Crystal Template*). Mereka mengkarakterisasi MCM-41 dengan metode difraksi sinar-X (*X-ray Diffraction*, XRD), XRD dengan temperatur terprogram, spektroskopi inframerah, spektroskopi Raman, analisis termogravimetri (*thermographic analysis*, TGA), ¹⁴N NMR, dan pengukuran adsorpsi N₂ cair. Metode XRD dan adsorpsi N₂ cair merupakan metode yang paling sering digunakan untuk mengkarakterisasi MCM-41. Dengan menggunakan ¹⁴N NMR mereka menemukan bahwa misel-misel berbentuk batang

yang tersusun secara acak berinteraksi dengan silika membentuk batang-batang misel dengan lapisan silika pada permukaan luarnya. Batang-batang misel dengan lapisan silika ini kemudian saling merapat membentuk struktur heksagonal MCM-41.

Telah dilaporkan juga kondisi sintesis optimal yang diperlukan untuk menghasilkan MCM-41 dengan kualitas tinggi. Sebagai contoh, Park dkk. (1997) melakukan serangkaian kajian untuk menentukan komposisi gel reaksi optimal dalam sintesis MCM-41 serta mempelajari reaksinya dengan memantau pH gel. Mereka menyimpulkan bahwa rasio mol optimal bahan reaksi pada gel adalah SiO_2 : 20 CTMACl: 0,18 TMAOH: 25 H_2O . Selain itu penggunaan garam-garam seperti NaCl dan K_2SO_4 dengan kadar tertentu dalam sintesis MCM-41 ternyata berdampak positif terhadap kristalinitas dan stabilitas hidrotermal produk (Suyanta dkk., 2012; Suyanta dkk., 2013).

Optimasi berkaitan dengan pH gel dalam sintesis MCM-41 juga telah dikaji. Ryoo dan Kim (1995) melaporkan bahwa keteraturan struktur MCM-41 meningkat secara sistematis akibat penambahan asam asetat ke dalam gel. Edler dan White (1997) melaporkan bahwa penggunaan H_2SO_4 hingga pH gel menjadi pH 9-10 menghasilkan MCM-41 dengan keteraturan yang tinggi. Selain pH, beberapa kajian mengenai pengaruh kondisi dalam sintesis MCM-41 terhadap karakteristik produk juga telah dilaporkan. Huo dkk. (1996) mempelajari hubungan antara jenis surfaktan pencetak, kondisi sintesis, dan perlakuan pasca sintesis dengan mesofasa silika yang dihasilkannya. Matos dkk. (2001) telah mengkaji perlakuan pasca sintesis dan penambahan bahan pengembang (*swelling agent*) organik sebagai rute menuju ekspansi ukuran pori, sedangkan Suyanta dkk. (2010) melakukan optimasi durasi hidrotermal untuk mendapatkan kristalinitas terbaik. Suyanta dkk. (2019) juga melakukan optimasi waktu sonikasi dalam sintesis MCM-41 yang dilakukan dengan metode sonokimia.

Bapak/Ibu dan para hadirin yang saya hormati,

Diameter pori (20 sampai 100 Å) bahan MCM-41 dapat dikontrol dengan tiga metode berbeda, yaitu: (i) dengan memvariasi panjang rantai surfaktan gugus alkil (8 sampai 22 atom C) pada

surfaktan (Kresge dkk., 1992; Beck dkk., 1992.), (ii) dengan menambahkan suatu bahan aditif (misal:1,3,5 trimetilbenzena) yang akan berinteraksi dengan gugus hidrofobik pada pusat misel, sehingga meningkatkan ukurannya (Vartuli dkk. 1998), dan (iii) dengan memvariasi kondisi inkubasi seperti temperatur, pH dan waktu (Zhao dkk., 1996; Chen dkk., 1997).

Kleitz dkk. (2001) telah mengkaji perubahan yang terjadi pada material MCM-41 selama kalsinasi untuk mengetahui bagaimana proses penghilangan surfaktan. Stabilitas termal dan hidrotermal MCM-41 telah diteliti (Broyer dkk., 2002) dan berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan stabilitas hidrotermal MCM-41 (Mori dkk., 2002; **Suyanta dkk., 2013**). Beberapa peneliti lain telah mengkarakterisasi struktur pori MCM-41. Zhou dkk. (2001) menerapkan perluasan metode yang digunakan untuk analisis bahan mikropori dan menemukan hasil yang konsisten dengan dimensi yang diperoleh berdasarkan metode XRD. Kruk dkk. (1999) telah mengkarakterisasi berbagai bahan MCM-41 dengan ukuran yang berbeda dengan metode XRD dan adsorpsi-desorpsi isotermal N₂. Mereka menyimpulkan bahwa dengan memodifikasi persamaan Kelvin dan menerapkan metode Barrett-Joyner-Halenda (BJH), prediksi distribusi ukuran pori yang akurat pada bahan MCM-41 dapat ditentukan (Kruk dkk., 2000). Penerapan metode BJH dengan persamaan Kelvin termodifikasi sering disebut sebagai Kruk-Jaroniec-Sayari atau metode KJS (Kruk dkk., 2000). Choma dkk. Dalam Glover (2008) membandingkan metode KJS untuk penentuan distribusi ukuran pori MCM-41 dengan metode-metode BJH, Dollimore dan Heal (DH), dan Broekhoff dan deBoer (BDB). Mereka menemukan bahwa untuk penentuan distribusi ukuran pori, metode KJS memberikan estimasi yang paling baik

Aplikasi

Bapak/Ibu dan para hadirin yang saya hormati,

MCM-41 memperlihatkan luas permukaan yang sangat tinggi, ukuran pori yang *well defined*, stabilitas termal yang tinggi serta komposisi kerangka yang fleksibel. Struktur mesoporinya yang sangat beraturan dengan ukuran pori yang dapat divariasi 2-10 nm,

menyebabkan MCM-41 menjadi sangat penting dalam berbagai aplikasi teknologi yang menggunakan adsorben, katalis, saringan molekul, dan dalam sintesis bahan kimia murni yang melibatkan molekul-molekul berukuran relatif besar.

a. Aplikasi MCM-41 sebagai adsorben

Menurut Zhao dkk. (1996), bahan mesopori merupakan adsorben yang baik karena distribusi ukuran porinya sempit dan luas permukaannya yang tinggi. Sejumlah penelitian telah difokuskan pada perilaku adsorpsi gas dan uap pada bahan-bahan mesopori. Sejak laporan pertama MCM-41, sejumlah studi tentang sintesis dan studi adsorpsi pada materi mesopori telah dilaporkan. Saringan molekuler ini memiliki kemampuan menyerap molekul-molekul dari berbagai ukuran. MCM-41 sangat potensial untuk diaplikasikan dalam berbagai bidang adsorpsi seperti penghilangan hidrokarbon dalam air, penyimpanan gas (misal: H_2 , O_2 , CH_4 , dll.), serta pemisahan berbagai senyawa dalam bidang farmasi maupun biologi. Kapasitas adsorpsinya terhadap molekul-molekul seperti n-heksana, air, benzena, nitrogen, argon, dll. menghasilkan informasi mengenai sifat hidrofilitas/hidrofobitas, volume pori dan distribusi ukuran pori MCM-41.

b. Aplikasi MCM-41 sebagai katalis

Si-MCM-41 murni dengan komposisi SiO_2 tidak memiliki muatan kelistrikan, hal ini menyebabkan tidak adanya keasaman permukaan intrinsik yang kuat. Namun, pembangkitan sifat asam dan sifat redoks dapat dihasilkan setelah dilakukan modifikasi. Modifikasi-modifikasi yang telah dilakukan pada material MCM-41 padat adalah: (i) Pembangkitan sifat basa oleh pertukaran ion dengan larutan garam golongan IA, (ii) Pembangkitan sifat asam karena penggabungan kation-kation bervalensi +3, (iii) Pemasukan unsur transisi untuk menghasilkan sifat redoks, (iv) Immobilisasi kompleks logam di dalam rongga, dan (v) Fungsionalisasi untuk menghasilkan katalis-katalis kiral.

Berbagai upaya dilakukan untuk menggabungkan atom logam transisi maupun unsur- unsur golongan utama ke dalam silika mesopori. Substitusi sebagian Si pada dinding silika dengan kation-kation trivalen

seperti B^{+3} , Ga^{+3} , Al^{+3} dan Fe^{+3} dapat menimbulkan muatan negatif, yang dapat dikompensasi oleh proton sehingga menyediakan situs-situs asam yang memiliki sifat katalitik. Jumlah situs asam dan kekuatan sifat katalitiknya dipengaruhi oleh jumlah dan sifat logam yang dimasukkan. Bahan-bahan ini digunakan dalam reaksi-reaksi yang terkatalisis oleh asam yang terutama diaplikasikan dalam proses pemurnian minyak bumi (Sayari, 1996).

Bapak/Ibu dan para hadirin yang saya hormati,

Di antara logam yang telah disubstitusikan ke dalam MCM-41 untuk pembangkitan sifat asam, adalah aluminium (**Suyanta dkk., 2010**). Aktivitas katalitik H-Al-MCM-41 telah diuji untuk alkilasi Fridel-Craft 2,4-diters-butyl fenol dengan cinnamyl alkohol. Reaksi ini telah dipelajari dengan baik menggunakan katalis asam untuk meningkatkan konversi substrat menjadi dihidrobenzopiren, yang merupakan salah satu produk penting dalam pembuatan zat warna. Selain itu katalis H-Al-MCM-41 juga sudah disintesis dan dapat diaplikasikan untuk perengkahan minyak kelapa (**Suyanta dan Falah, 2012**). Ion-ion Fe^{3+} telah dimpregnasikan ke dalam pori MCM-41 dengan kajian pengaruh konsentrasi Fe^{3+} terhadap prosen *Fe-Frameworks* and *Fe-Non-Frameworks* dalam MCM-41 yang dihasilkan (**Suyanta dkk, 2023**). Ion-ion Fe^{3+} juga telah dimpregnasikan ke dalam pori RH-MCM-48 tersililasi eksternal menghasilkan nanopartikel oksida besi superparamagnetik dalam pori dan Fe^{3+} yang tersubstitusi isomorfis pada kerangka silika (**Suyanta dkk, 2022**).

Logam-logam yang dapat memiliki 2 macam bilangan oksidasi seperti Co(II)/Co(III), Fe(II)/Fe(III), Cr(II)/Cr(V), dan Cu(I)/Cu(II) dapat berfungsi sebagai pembawa oksigen untuk mengkatalisis suatu reaksi (Iwamura dan Lunsford, 1985; Mortier dan Schoonheydt, 1995; Thomas, 1994), dan ternyata kemampuan sebagai pembawa oksigen tersebut disebabkan oleh pembentukan jembatan M-O-M (M = Co, Fe, Cr, Cu, dll.) dalam *cubooktahedra*. Hal ini menimbulkan kendala terkait dengan keterbatasan difusi, mengingat reaktan dan produk harus keluar dan masuk melewati *cubooktahedra*. Untungnya, logam yang terikat oleh kompleks supermolekul organik yang terkapsul dalam

rongga zeolit ternyata juga efektif sebagai pembawa oksigen untuk keperluan katalis tersebut (Mitchell, 1991).

Kendala lain pada zeolit jika diaplikasikan sebagai katalis adalah ukuran pori, misalnya untuk ligan $\{CoII(bpy)(terpy)\}^{2+}$ hanya sedikit sekali yang dapat terkapsul dalam pori NaY; bahkan ligan-ligan dengan ukuran yang lebih besar seperti $\{Co(phtalocyanine)\}^{2+}$ yang memiliki diameter dinamik 1,5 nm tidak dapat terkapsul dalam pori zeolit mikropori. Kelemahan tersebut kini dapat teratasi dengan memanfaatkan silika mesopori MCM-41 sebagai pengkapsul.

Bapak/Ibu dan para hadirin yang saya hormati,

c. Aplikasi MCM-41 sebagai saringan molekuler

Saringan molekuler (*moleculer sieve*) adalah material berpori yang dapat digunakan untuk memisahkan molekul-molekul secara selektif berdasarkan pada ukuran atau bentuknya (Szostak, 1998). Pengelompokan yang sudah umum untuk material ini adalah meliputi: (i) Padatan kristalin mikropori, yang terdiri dari zeolit, aluminofosfat, saringan molekuler silika, dll.; (ii) Padatan mesopori dari golongan M41S, yaitu MCM-41, MCM-48, MCM-50, dll.; (iii) Lempung terpillar; dan (iv) Padatan nonkristalin misalnya arang dan oksida logam (Szostak, 1998).

Kelebihan material mesopori silikat MCM-41 untuk aplikasi sebagai saringan molekul adalah meliputi pori-pori yang seragam dengan ukuran yang teratur, ukuran pori yang dapat dikontrol, dan kemudahan untuk dilakukan fungsionalisasi pada permukaannya sehingga dapat digunakan dalam pemisahan bahan tertentu. Selain itu, MCM-41 memiliki struktur yang kaku (*rigid*) sehingga terhindar dari masalah pemekaran (*swelling*) sebagaimana dihadapi oleh beberapa saringan molekuler lainnya. MCM-41 sudah diaplikasikan sebagai saringan molekuler, di antaranya dalam pemisahan protein (Kisler dkk., 2001).

d. Aplikasi MCM-41 sebagai Sistem Pengiriman Obat

Bapak/Ibu dan para hadirin yang saya hormati,

Silika mesopori sangat menjanjikan untuk dapat diaplikasikan sebagai teknik pengobatan berbasis pada *drugs delivery system* (Emen

dkk., 2019). Luas permukaan pori-pori yang besar memungkinkan partikel-partikel tersebut diisi dengan obat atau sitotoksin. Partikel-partikel tersebut akan diserap oleh sel-sel biologis tertentu melalui endositosis, tergantung pada bahan kimia apa yang menempel di bagian luar bola-bola tersebut. Beberapa jenis sel kanker akan menyerap lebih banyak partikel daripada sel-sel sehat, sehingga para peneliti berharap bahwa MCM-41 suatu hari nanti akan digunakan untuk mengobati jenis-jenis kanker tertentu (Wani dkk, 2017)

Silika mesopori yang teratur juga menunjukkan potensi untuk meningkatkan disolusi *in vitro* dan *in vivo* dari obat-obatan yang sulit larut dalam air. Banyak kandidat obat yang berasal dari penemuan obat mengalami kelarutan air yang buruk. Disolusi yang tidak memadai dari obat-obatan hidrofobik ini dalam cairan *gastrointestinal* sangat membatasi bioavailabilitas oral. Salah satu contohnya adalah itrakonazol yang merupakan antimikotik yang dikenal karena kelarutan airnya yang buruk. Setelah pengenalan formulasi itrakonazol-pada-SBA-15 dalam cairan *gastrointestinal* simulasi, larutan super jenuh diperoleh sehingga meningkatkan transportasi usus *transepitelial* (Mellaerts dkk, 2010).

e. Aplikasi MCM-41 sebagai Biosensor

Bapak/Ibu dan para hadirin yang saya hormati,

Nanopartikel silika mesopori (MSN) MCM-41 telah menarik banyak perhatian dalam biosensor, karena struktur spesifik dan sifat kimia fisiknya yang unik. Dikombinasikan dengan berbagai bahan atau molekul fungsional, seperti DNA, probe sinyal, dan berbagai nanopartikel aktif, MSN MCM-41 dapat dikembangkan menjadi nanomaterial multifungsi dalam aplikasi biosensor DNA. Secara khusus, film MSN MCM-41 yang bulat dan berpori memiliki keunggulan kapasitas pemuatan yang tinggi, pelepasan pori yang terkontrol, dan luas permukaan spesifik yang tinggi, yang secara efektif dapat memuat berbagai probe sinyal, mengendalikan penyebaran partikel, dan memperbaiki banyak nanomaterial aktif. Hasilnya, sensitivitas biosensor DNA akan meningkat pesat (Liu dkk., 2020)

Selain itu, Struktur partikel-partikel MCM-41 memungkinkan untuk diisi dengan pewarna fluoresen yang biasanya tidak dapat

menembus dinding sel. Bahan MSN kemudian ditutup dengan molekul yang kompatibel dengan sel target. Ketika MSN ditambahkan ke kultur sel, mereka membawa pewarna melintasi membran sel. Partikel-partikel ini transparan secara optik, sehingga pewarna dapat dilihat melalui dinding silika. Pewarna dalam partikel tidak memiliki masalah yang sama dengan *self-quenching* seperti yang dimiliki pewarna dalam larutan. Jenis molekul yang dicangkokkan ke bagian luar MSN akan mengendalikan jenis biomolekul apa yang diizinkan di dalam partikel untuk berinteraksi dengan pewarna (Trewyn dkk., 2007).

Potensi Pengembangan Riset dan Aplikasi MCM-41 di Masa Depan

Bapak/Ibu dan para hadirin yang saya hormati,

Salah satu dari sekian banyak potensi pengembangan riset dan aplikasi MCM-41 di masa depan adalah terkait dengan penanganan masalah CO₂. Kadar CO₂ di atmosfer adalah sebesar 411,4 ppm per 17 Mei 2011, kemudian meningkat menjadi 417,6 ppm per 17 Mei 2022. Angka tersebut akan semakin meningkat dari waktu ke waktu selama penggunaan bahan bakar fosil masih dominan, sehingga diperkirakan akan menjadi sekitar 550 ppm pada tahun 2050. Hal ini akan menjadi masalah serius, karena CO₂ merupakan gas rumah kaca yang sangat berpengaruh pada pemanasan global. Sistem penangkapan CO₂ yang paling banyak digunakan dalam skala besar pada cerobong-cerobong pembuangan gas industri sekarang ini adalah adsorpsi selektif menggunakan amina cair, seperti monoetanolamin atau dietanolamin (Hornebecq, 2003). Faktanya metode ini membutuhkan sejumlah besar panas untuk desorpsi CO₂, yang berkontribusi lebih dari 50% dari biaya operasi (Kim dkk, 2006). Oleh karena itu, sistem penangkapan CO₂ yang menggunakan adsorben padat sedang banyak dikaji. Bahan-bahan yang potensial untuk keperluan ini diantaranya alumina, kerangka organik logam, zeolit, karbon aktif dan MCM-41 (Adhyapak dkk., 2004). Kelebihan MCM-41 dibanding bahan-bahan lain yang baru saja disebutkan adalah keberadaan gugus silanol (-Si-OH) pada permukaannya (internal maupun eksternal), sehingga dapat dimodifikasi dengan berbagai substituen untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu.

Bapak/Ibu hadirin yang saya hormati,

Pada bagian akhir pidato ini saya ingin mengungkapkan rasa syukur kepada Allah Swt., Tuhan yang Maha Kudus dan Maha Agung, yang telah membimbing dan memudahkan jalan hidup saya. Sebelum kuliah di Yogyakarta pekerjaan rutin saya di luar sekolah adalah *ngarit* (mencari rumput) dan menggembalakan sapi, serta membantu pekerjaan orang tua yang lain, di sawah dan ladang. Ketika SMP saya pernah menjadi pedagang asongan, membawa 1 termos *es lilin* untuk diperjual-belikan sambil berjalan-jalan dari dusun ke dusun (jika terjual habis saya mendapat penghasilan Rp.50,-). Sebagai anak seorang petani, saya pernah (bersama teman-teman) ketika masih SD mengolah lahan kosong yang terhampar di tepi Sungai Dengkeng yang belum lama direlokasi di wilayah kami. Kami tanami dengan palawija. Pada awal kuliah di FIPA UGM tahun 1980 setiap senin pagi saya berangkat naik sepeda onthel dari Bayat Klaten ke kampus ini sejauh ± 40 km, memakan waktu ± 3 jam. Pada hari sabtu pulang ke Bayat Klaten sejauh ± 40 km, naik sepeda onthel juga. Itulah sebagian riwayat dan latar belakang saya, betapa sederhananya.

Bapak/Ibu dan para hadirin yang saya hormati,

Di lingkungan perguruan tinggi, Profesor (guru besar) merupakan jabatan yang sangat mulia dan terhormat, tidak mudah untuk meraihnya. Jadi dengan riwayat dan latar belakang sangat sederhana seperti yang sudah saya sampaikan, namun ternyata saya dipandang layak untuk menyandang jabatan profesor; saya sangat yakin bahwa ini hanya bisa terjadi atas pertolongan Allah Swt. Jadi, tidak henti-hentinya saya bersyukur dan bersyukur, karena doa saya yang disertai dengan usaha keras dan semangat pantang menyerah telah diridhoiNya.

Saya juga ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mewarnai serta berperan dalam perjalanan hidup saya selama lebih dari 35 tahun mengabdikan sebagai dosen di Fakultas MIPA UGM. Terimakasih yang sebesar-besarnya saya ucapkan kepada Pemerintah Republik Indonesia melalui KEMENRISTEKDIKTI atas kepercayaan yang diberikan

kepada saya untuk mengemban amanah sebagai Profesor atau Guru Besar dalam bidang Kimia Anorganik di UGM terhitung mulai tanggal 1 Juni 2023. Terimakasih yang sebesar-besarnya juga saya ucapkan kepada Pemerintah RI yang sudah membantu pembiayaan melalui beasiswa ketika saya menempuh pendidikan pada Program S1, S2, dan S3. Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya juga saya haturkan kepada Rektor UGM (Prof. dr. Ova Emilia, M.Med.Ed., Sp.OG(K), Ph.D.) beserta jajarannya, Ketua Senat Akademik UGM (Prof. Dr. Sulistiowati, SH, M.Hum.) dan para anggotanya, serta Ketua Dewan Guru Besar UGM (Prof. Dr. Ir. Mochammad Maksum, M.Sc. yang sekarang sudah memasuki masa pensiun dan digantikan oleh Prof. Dr. Muhammad Baiquni, MA) dan para anggotanya, yang telah menyetujui usulan kenaikan jabatan saya menjadi Guru Besar. Demikian juga kepada Dekan FMIPA UGM (Prof. Dr. Eng. Kuwat Triyana, M.Si.) beserta jajarannya, Ketua Senat FMIPA UGM (Prof. Drs. Mudasir, M.Eng., Ph.D.) beserta para anggotanya, Ketua Departemen Kimia FMIPA UGM (Prof. Dr.rer.nat Nurul Hidayat Aprilita, S.Si., M.Si.) beserta stafnya, atas persetujuannya pada usulan kenaikan jabatan saya tsb. Terimakasih yang sebesar-besarnya kepada staf SDM dan tim enumerator Penilaian Angka Kredit FMIPA (Bomahasko Rossasih, S.S.) dan staf SDM UGM (Mbak Kenok Poniye, SE dan tim), atas bantuannya dalam penyusunan dokumen sehingga beban administratif saya menjadi lebih ringan. Terimakasih yang setulus-tulusnya saya haturkan kepada Prof. Dr.rer.nat. Nuryono, MS dan Prof. Drs. Mudasir, M.Eng., Ph.D. yang telah berkenan mereview draft naskah pidato ini, dengan memberikan sejumlah saran dan kritik yang sangat berharga.

Terimakasih yang tiada tara saya haturkan kepada para guru yang telah mendidik saya sejak SD hingga perguruan tinggi. Pertama, kepada Bapak-bapak guru saya di SDN Wiro II Bayat Klaten, yang telah berjasa memberikan dasar-dasar pengetahuan yang sangat penting dan menyebabkan saya menjadi penasaran dan ingin tahu lebih banyak. Juga kepada Bapak/Ibu guru-guru saya di SMPN Bayat Klaten. Mereka adalah guru-guru terbaik pada level, wilayah, dan jamannya. Saya benar-benar merasa sangat beruntung menjadi anak didik mereka, meskipun beberapa di antara mereka tidak sungkan-sungkan

menghukum (membentak, menjewer, bahkan memukul) siswa-siswinya yang melakukan kesalahan. Tidak kalah hebatnya, Bapak/Ibu guru-guru saya di SMAN I Klaten. Mereka adalah guru-guru yang sangat baik dan berdedikasi tinggi. Merekalah yang sudah mengantarkan saya untuk dapat diterima di Bagian Kimia FIPA UGM (satu-satunya pilihan saya), melalui jalur Proyek Perintis II, yang tidak perlu menjalani tes tertulis. Selanjutnya termakasih yang sedalam-dalamnya kepada Bapak/Ibu dosen-dosen saya di Bagian Kimia FIPA UGM. Mereka adalah kelompok orang-orang cerdas yang lebih senang menjadi ilmuwan kampus, walaupun jika mau bekerja di luar dengan fasilitas yang jauh lebih baik sebenarnya masih sangat terbuka pada waktu itu. Semoga semua ilmu yang sudah diajarkan oleh guru-guru saya sejak SD hingga Perguruan Tinggi menjadi amal jariyah yang akan selalu mengalirkan pahala.

Terimakasih yang sedalam-dalamnya saya ucapkan kepada para dosen pembimbing, yaitu pembimbing karya ilmiah sarjana muda (Prof. Dr. Iip Izul Falah), pembimbing skripsi S1 (Drs. H. Mujiran alm. dan Prof. Dr. Narsito alm.), pembimbing tesis S2 (Haryono Arumbinang, MSc. alm. dan Dr. Eko Sugiharto, DEA), promotor dan kopromotor S3 (Prof. Dr. Narsito alm., Prof. Dr. Endang Tri Wahyuni, MS dan Prof. Dr. Triyono, SU) yang telah menjalani tugasnya dengan sangat baik selama menjadi pembimbing/promotor/kopromotor saya.

Saya bersyukur menjadi anggota staf pendidik di Departemen Kimia Fakultas MIPA UGM, yang merupakan salah satu departemen dengan capaian tertinggi dalam memproduksi dosen bergelar Doktor maupun Profesor. Data statistik yang diluncurkan SDM UGM per 27 Februari 2024 menunjukkan bahwa UGM baru memiliki 12,84% dosen bergelar profesor, padahal Departemen Kimia waktu itu sudah mencapai 44%. Seandainya atmosfer di Departemen Kimia tidak sebaik yang ada sekarang, belum tentu saya bisa meraih capaian ini. Terkait dengan hal itu, pada kesempatan ini saya ingin menyampaikan apresiasi dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua teman-teman sejawat di Departemen Kimia Fakultas MIPA UGM.

Sungkem dan terimakasih yang tak terhingga saya haturkan kepada almarhum bapak saya dan almarhumah ibu saya, yang telah mendidik, membesarkan, mendoakan, merestui, dan mencukupi semua

kebutuhan sehingga saya tumbuh menjadi dewasa dan dapat mengembangkan diri. Demikian juga kepada almarhum bapak mertua dan almarhumah ibu mertua, saya haturkan sungkem dan terimakasih yang tak terbatas, atas kontribusinya yang sangat besar demi kebahagiaan, kesejahteraan, dan kesuksesan rumah tangga saya. Semoga mereka diampuni dosa-dosanya, diterima seluruh amal ibadahnya, dan mendapatkan tempat yang teduh dan terbaik di sisiNya. Kepada kakak-kakak kandungku dan saudara-saudara ipar semuanya, saya mengucapkan terimakasih atas kebersamaan, rasa saling mengerti, dan saling hormat yang sudah terjalin selama ini. Semoga tetap terjaga dan berlanjut sampai akhir hayat.

Saya sangat berbahagia karena pidato pengukuhan sebagai guru besar ini dapat disaksikan secara langsung oleh semua anak dan menantu saya: (1). dr. Taufik Nur Yahya, Sp.BTKV, S.Ked., M.Ked.Klin. / Indah Wulansari, S.Kep., Ners; (2). dr. Suci Nur Hayati, S.Ked., PPDS Radiologi / Sukardono Hidayat, S.Pi, M.P.; (3). dr. Kharisma Nur Prabowo, S.Ked. / dr. Hesti Kusumastuti, S.Ked., PPDS IKA, dan (4). dr. Risang Nur Wiguna, S.Ked. yang masih bujang.

Semoga kalian semua termotivasi untuk berprestasi lebih baik lagi dalam bidangnya masing-masing serta memperoleh kebahagiaan dan kesejahteraan di dunia maupun akhirat. Tak terkecuali cucu-cucuku tercinta: Sofia, Sarah, Yusron, Fira, Syifa, dan Tesla. Jadilah anak-anak saleh dan salimah, hormatilah orang tua dan guru, dan rajin-rajinlah belajar. Semoga kalian semua kelak menjadi orang-orang yang sukses.

Selanjutnya saya tujukan kepada seorang wanita dengan siapa saya dijodohkan, bersama siapa saya berjuang membangun rumah tangga, dan oleh siapa anak-anak saya dilahirkan, dididik dan dibesarkan; dialah istri tercinta, Dra. Sri Maryati. Terimakasih atas kebersamaannya yang sudah lebih dari 39 tahun. Terimakasih atas pendampingan dan doa yang istiqomah, sehingga semua masalah keluarga dapat teratasi. Terimakasih atas pengorbanan dan kesungguhannya dalam mendidik dan membesarkan anak-anak, sehingga alhamdulillah sekarang semuanya Qurrota A'yun (menyejukkan mata dan menyenangkan hati). Semoga abadi cinta ini.

Akhirnya, dengan tulus dan rendah hati, saya memohon doa dan restu kepada para hadirin semua agar dapat mengemban amanah ini dengan penuh tanggung jawab.

Para hadirin yang saya hormati, demikianlah pidato ini saya sampaikan, semoga menambah pengetahuan dan wawasan. Terimakasih atas perhatiannya, dan mohon maaf jika terdapat hal-hal yang kurang berkenan.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhyapak, P.V., Karandikarb, P., Vijayamohanamb, K., Athawalec, A.A., Chandwadkar, A.J., A.J. 2004, Synthesis of silver nanowires inside mesoporous MCM-41 host, *Mater. Lett.*, 58(7–8), 1168.
- Bagheri, S., Amini, M.M., Behbahani, M., Rabiee, G., 2019, Low cost thiol-functionalized mesoporous silica, KIT-6-SH, as a useful adsorbent for cadmium ions removal: a study on the adsorption isotherms and kinetics of KIT-6-SH, *Microchem. J.* 145, 460–469. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.11.006>
- Beck, J.S., Vartuli, J.C., Roth, W.J., Leonowicz, M.E., Kresge, C.T., Schmitt, K.D., Chu, C.T- w., Olson, D.H., Sheppard, E.W., McCullen, S.B., Hioggins, J.B. and Schlenker, J.L. 1992, A New Family of Mesoporous Molecular Sieves Prepared with Liquid Crystal Templates, *J. Am. Chem. Soc.*, 114, 10834-10843.
- Brian G.T., Giri, S., Igor I.S., Victor S.Y.L., 2007, Mesoporous silica nanoparticle-based controlled release, drug delivery, and biosensor systems, *ChemComm* (31): 3236–3245.
- Broyer, M., Valange, S., Bellat, J.P., Bertrand, O., Weber, G., and Gabelica, Z., 2002, Influence of Aging, Thermal, Hydrothermal, and Mechanical Treatments on The Porosity of MCM-41 Mesoporous Silica, *Langmuir*, 18 (13), 5083–5091
- Chen, C.Y., Li, H.Y., and Davis, M.E., 1993, Studies on Mesoporous Material. I. Synthesis and Characterization of MCM-41, *Micropor. Mater.* 2, 17-26.
- Chen, L.Y., Jaenicke, S., and Chuah, G. K., 1997, Thermal and hydrothermal stability of framework-substituted MCM-41 mesoporous materials, *Micropor. Mater.*, 12, 323-330.
- Edler, K. J., and White, J. W., 1997, Further Improvements in The Long-Range Order of MCM-41 Materials, *Chem. Mater.*, 9, 1226-1233.
- Emen, F.M., Demirdogen, R.E., Avsa, G., Kiliç, D., 2019, 2-Chlorobenzoylthiourea-modified MCM-41 for Drug Delivery, *J. Turk. Chem. Soc.*, Section A 6(1):29-34

- Giannakoudakis, D.A., Anastopoulos, I., Barczak, M., Antoniou, E., Terpiłowski, K., Mohammadi, E., Shams, M., Coy, E., Bakandritsos, A., Katsoyiannis, I.A., Colmenares, J.C., Pashalidis, I. 2021, Enhanced uranium removal from acidic wastewater by phosphonate-functionalized ordered mesoporous silica: surface chemistry matters the most, *J. Hazard. Mater.* 413, 125279 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125279>
- Glover, T.G., 2008, Novel Adsorbent Synthesis, Diffusion in Nanoporous Materials, and Adsorption System Optimization, *Dissertation*, Faculty of The Graduate School of Vanderbilt University, Nashville, Tennessee.
- Hornebecq, V., Antonietti, M., Cardinal, T., Treguer-Delapierre, M., 2003, Stable silver nanoparticles immobilized in mesoporous silica, *Chem. Mater.*, 15, 1993.
- Huang, W., Zhang, Y., Li, D., 2017, Adsorptive removal of phosphate from water using mesoporous materials: a review, *J. Environ. Manage.* 193, 470–482. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.030>
- Huo, Q., Margolese, D.I., Ciesla, U., Feng, P., Gier, T.E., Sieger, P., Leon, R., Petroff, P.M., Schuth, F. and Stucky, G.D., 1994, Generalised Synthesis of Periodic Surfactant- Inorganic Composite Materials, *Nature*, 368, 317-323.
- Hussain, F.A., Zamora, J., Ferrer, I.M., Kinyua, M., Velázquez, J.M., 2020, Adsorption of crude oil from the crude oil-water emulsion by mesoporous hafnium oxide ceramics, *Environ. Sci.: Water Res. Technol.* 6, 2035–2042. <https://doi.org/10.1039/D0EW00451K>
- Iler, R. K., 1979, *The Chemistry of Silica: Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties, and Biochemistry*, Wiley, New York.
- Iwamura, S., and Lunsford, J.H., 1985, Separation of Oxygen from Air by [CoII(bipy)(terpy)]²⁺ Complexes in Zeolite Y, *Langmuir*, 1, 326-330.
- Kim, J., Grate, J.W., Wang, P., 2006, Nanostructures for enzyme stabilization, *Chem. Engng. Sci.*, 61, 1017.

- Kim, N., Park, H., Yoon, N., Lee, J.K., 2018, Zeolite-templated mesoporous silicon particles for advanced lithium-ion battery anodes, *ACS Nano* 12, 3853–3864. <https://doi.org/10.1021/acsnano.8b01129>
- Kim, S.J., Chase, G., Jana, S.C., 2016, The role of mesopores in achieving high-efficiency airborne nanoparticle filtration using aerogel monoliths, *Sep. Purif. Technol.* 166, 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.04.017>
- Kisler, J.M., Dahler, A., Stevens, G.W., and O'Connor, A.J., 2001, Separation of Biological Molecules Using Mesoporous Molecular Sieves, *Micropor. Mesopor. Mater.*, 44–45, 769–774.
- Kleitz, F., Schmidt, W. and Schüth, F., 2001, Evolution of Mesoporous Materials during the Calcination Process: Structural and Chemical Behavior, *Micropor. Mesopor. Mater.* 44-45, 95-109.
- Kresge, C.T., Leonowicz, M.E., Roth, W.J., Vartuli, J.C., and Beck, J.S., 1992, Ordered Mesoporous Molecular Sieve Synthesized by a Liquid-crystal Template Mechanism, *Nature*, 359, 710-712.
- Kruk, M., Jaroniec, M. and Sayari, A., 1999, Synthesis and characterization of FeSiMCM-41 and LaSiMCM-41, *Micropor. Mesopor. Mater.* 27, 217.
- Kruk, M., Jaroniec, M., Ryoo, R. and Joo, S.H., 2000, Characterization of MCM-48 Silicas with Tailored Pore Sizes Synthesized via a Highly Efficient Procedure, *Chem. Mater.*, 12, 1414-1421.
- Liu, C., Zhang, D., Wang, Z., Li, Y., Liu, J., Xiao, X., 2020, Preparation and Application of MCM-41 Mesoporous Silica in the DNA Biosensors, *Prog Chem.* 33(11):2085-2102
- Matos, J., Laine, J., and Herrmann J.M., 2001, Effect of The Type of Activated Carbons on The Photocatalytic Degradation of Aqueous Organic Pollutans by UV-Irradiated Titania, *J. Catal.*, 200, 10-20.
- Mitchell, P.C.H., 1991, Zeolite Encapsulated Metal Complexes: Biomimetic Catalysts, *Chem. India*, 308-310.
- Mori, T., Kuroda, Y., Yoshikawa, Y., Nagao, M., and Kittaka, S., 2002, Preparation of Water- Resistant Siliceous MCM-41 Sample, Through Improvement of Crystallinity, and It's Prominent Adsorption Features, *Langmuir*, 18, 1595-1603.

- Park, D.H., Cheng, C.P., He, H., and Klinowski, J., 1997, Sintesis and Characterization of Vanadosilicate Mesoporous Molecular sieves MCM-41, *J. Mater. Chem.*, 7(1), 159-162.
- Pe´rez, C.N., Moreno, E., Henriques, C.A., Valange, S., Gabelica, Z., and Monteiro, J.L.F., 2000, On The Stability of MCM-41 After Ion-Exchange and Impregnation with Cesium Species in Basic Media, *Micropor. Mesopor. Mater.*, 41 (1–3),137–148.
- Randy, M., Kristof, H., Ken, E., Hong, C., Michiel, V.S., Jan, V.H., Patrick., A., Jules, M., Guy, V.D.M., Johan A.M., 2010, Aging behavior of pharmaceutical formulations of itraconazole on SBA-15 ordered mesoporous silica carrier material, *Microporous and Mesoporous Mater.*, 130 (1–3): 154–161.
- Sayari, A.,1996, Catalysis by Crystalline Mesoporous Molecular Sieves, *Chem. Mater.*, 8, 1840-1852.
- Schmidt, R., Stöcker, M., Akporiaye, D., Tørstad, E.H. and Olsen, A., 1995, High-Resolution Electron Microscopy and X-Ray Diffraction Studies of MCM-48, *Micropor. Mater.*, 5, 1-7.
- Sing, K.S. W, Everett, D.H., Haul, R.A.W., Moscou, L., Pierotti, R.A., Rouquerol, J. and Siemieniewska, T., 1985, Reporting Physisorption Data for Gas/Solid Systems with Special Reference to the Determination of Surface Area and Porosity, *Pure Appl. Chem.*, 57, 603-619.
- Suyanta** and Falah, I.I., 2012, Cracking of palm oil over H-AIMCM-41 catalyst, *J. Chem. Chem. Eng.* 6 (6), 531
- Suyanta** and Mudasir, 2022, Optimizing Rice Husk Silica Mass and Sonication Time for a More Efficient and Environmentally Friendly Synthesis of SBA-15, *Indo. J. Chem.* 22 (4), 1090 – 1106
- Suyanta Suyanta** and Agus Kuncaka, 2011, Utilization of rice husk as raw material in synthesizing mesoporous silicates MCM-41, *Indo. J. Chem.*, 11(3), 279-284
- Suyanta Suyanta**, Mika Kusuma, Eko Sri Kunarti, Bambang Rusdiarso, and Dritta Anies Cahaya, 2019, Rapid Synthesis of MCM-41 from Rice Husk Using Ultrasonic Wave: Optimization of Sonication Time, *Materials Science Forum* 948, 198-205
- Suyanta**, Agus Kuncaka, and Mudasir, 2023, Impregnation of Fe³⁺ into MCM-41 Pores: Effect of Fe³⁺ Concentration on the Weight

Percent of Fe-Frameworks and Fe-Non- Frameworks, *Indo. J. Chem.* 23 (4), 984 – 996

- Suyanta**, M Mudasir, W Nugroho, and K Fajariatri, 2022, Externally Silylated RH-MCM-48 from Rice Husk Silica with Superparamagnetic Iron Oxide for Multifunctional Applications, *Asian J. Chem.* 34 (8), 1997-2007
- Suyanta**, N Narsito, ET Wahyuni, T Triyono, and S Sutarno, 2010, Effect of aging time toward crystallinity of products in synthesizing mesoporous silicates MCM-41, *Indo. J. Chem.* 10 (3), 310-314
- Suyanta**, Narsito, Endang Tri Wahyuni, and Triyono, 2010, Synthesis and Characterization of Mesoporous Aluminosilicates Al-MCM41 and Investigation of Its Thermal, Hydrothermal and Acidity Stability, *Indo. J. Chem.*, 2010, 10 (1), 41 – 45
- Suyanta**, Narsito, Endang Tri Wahyuni, Triyono, and Sutarno, 2013, The Dependence of Crystallinity and Hydrothermal Stability of the Product in the Synthesis of MCM-41 on the Molar Ratio of $K_2SO_4/CTAB$, *Proceeding International Conference of the Indonesian Chemical Society (ICICS)*, UII, Yogyakarta.
- Suyanta**, Sutarno, dan Asih Wudartu, 2012, Pengaruh Penggunaan NaCl Dalam Sintesis MCM-41 terhadap Kristalinitas dan Stabilitas Hidrotermal Produk, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah - Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir 2012 Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan - BATAN Yogyakarta, 4 Juli 2012.
- Szostak, R., 1989, *Molecular Sieves: Principles of Synthesis and Identification*, Van Nostrand Reinhold, New York
- Tanev, P.T. and Pinnavaia, T.J., 1996, Mesoporous Silica Molecular Sieves Prepared by Ionic and Neutral Surfactant Templating: A Comparison of Physical Properties, *Chem. Mater.* 8, 2068-2079.
- Thomas, J.M., 1994, The Chemistry of Crystalline Sponges, *Nature*, 368, 289-290.
- Vartuli, J. C.; Roth, W. J.; Beck, J. S.; McCullen, S. B.; Kresge, C. T., 1998, The Synthesis and Properties of M41S and Related

- Mesoporous Materials, *Molec. Sieves*, 1, 97- Mortier, W.J., and Schoonheydt, R.A., 1995, Surface and Solid State Chemistry of Zeolites, *Prog. Solid State Chem.*, 16, 1-125.
- Wefers, K. and Misra, C., 1987, *Oxides and Hydroxides of Alumina*, Alcoa Technical Paper No. 19, Revised, Alcoa Laboratories.
- Xu, L., Zhang, Q., Zhang, M. *et al.* Synthesis of micro-mesoporous molecular sieve ZSM-5/SBA-15: tuning aluminium content for tert-butylation of phenol. *J Chem Sci* 131, 42 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12039-019-1619-4>
- Yanagisawa, T., Schimizu, T., Kuroda, K., Kato, C., 1990, The Preparation of Alkyltrimethylammonium-Kanemite Complexes and their Conversion to Mesoporous Materials. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 63, 988-992.
- Zhao, D., Feng, J., Huo, Q., Melosh, N., Fredrickson, G.H., Chmelka, B.F., Stucky, G. D., 1998, Triblock Copolymer Syntheses of Mesoporous Silica with Periodic 50 to 300 Angstrom Pores, *Science*. 279 (5350), 548–52.
- Zhao, X. S., Lu, G. Q., and Millar, G. J., 1996, Reviews: Advances in Mesoporous Molecular Sieve MCM-41, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 35, 2875-2090.
- Zhou, W. Z., 200, in *Progress in Transmission Electron Microscopy*, ed. Zhang, X. F. and Zhang, Z., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 1–24.

BIODATA

Nama Lengkap : Prof. Dr. Suyanta, MSi.
 Jenis Kelamin : L
 Pangkat/Golongan : Pembina Utama
 Jabatan Fungsional : Guru Besar
 NIP/NIDN : 196002281988031002 / 0028026003
 Tempat dan Tgl Lahir : Klaten, 28 Februari 1960
 E mail : suyanta_mipa@ugm.ac.id
 Alamat Kantor : Dep. Kimia FMIPA UGM Sekip utara Sleman
 DIY
 Alamat Rumah : Jl. Raya Janti Gg. Bimo 77 Karangjambe
 Banguntapan Bantul DIY

Keluarga

Istri : Dra. Sri Maryati

Anak/menantu :

1. dr. Taufik Nur Yahya, Sp. BTKV, S.Ked., M.Ked.Klin. / Indah Wulansari, S.Kep., Ners
2. dr. Suci Nur Hayati, S.Ked., PPDS Radiologi / Sukardono Hidayat, S.Pi, M.P.
3. dr. Kharisma Nur Prabowo, S.Ked. / dr. Hesti Kusumastuti, S.Ked., PPDS IKA
4. dr. Risang Nur Wiguna, S.Ked

Cucu :

1. Syafia Hime Nur Sholeha
2. Sarah Nur Hafidza
3. Yusron Nurhidayat Sholeh
4. Zafira Nurhidayati Sholeha
5. Qarniyatussyifa Nurhidayati Sholeha
6. Muhammad Tesla Nur Wijaya

Pendidikan

- 1968 – 1973 : SDN Wiro II
 1974 – 1976 : SMPN Bayat
 1977 – 1980 : SMAN I Klaten
 1980 – 1986 : Bagian Kimia FIPA UGM Program S0 (BSc.) dan S1 (Drs.)
 1989 – 1993 : Jurusan Ilmu-ilmu MIPA Fakultas Pasca Sarjana UGM Program S2 (MSi.)
 2006 – 2011 : Departemen Kimia FMIPA UGM Program S3 (Dr.)

Publikasi Terpilih

1. **Suyanta**, Agus Kuncaka, and Mudasir, 2023, Impregnation of Fe^{3+} into MCM-41 Pores: Effect of Fe^{3+} Concentration on the Weight Percent of Fe-Frameworks and Fe⁻ Non-Frameworks, *Indonesian Journal of Chemistry* 23 (4), 984 – 996
2. **Suyanta Suyanta**, Mudasir-Mudasir, Iip Izul Falah, Wahyu Nugroho, Kristiana Fajariatri, 2022, Novel Superparamagnetic Nanocomposite of Core-Shell Magnetic Zeolite Coated with Chitosan Crosslinked by Glutaraldehyde: Synthesis and Characterization, *Egyptian Journal of Chemistry* 65 (3), 39 – 49
3. **Suyanta** and Mudasir, 2022, Optimizing Rice Husk Silica Mass and Sonication Time for a More Efficient and Environmentally Friendly Synthesis of SBA-15, *Indonesian Journal of Chemistry* 22 (4), 1090 – 1106
4. **Suyanta**, M Mudasir, W Nugroho, and K Fajariatri, 2022, Externally Silylated RH- MCM-48 from Rice Husk Silica with

Superparamagnetic Iron Oxide for Multifunctional Applications, Asian Journal of Chemistry 34 (8), 1997-2007

5. **Suyanta** Narsito, Endang Tri Wahyuni, Triyono and Sutarno, 2013, The Dependence of Crystallinity and Hydrothermal Stability of the Product in the Synthesis of MCM-41 on the Molar Ratio of K_2SO_4 /CTAB, Proceeding International Conference of the Indonesian Chemical Society (ICICS), UII, Yogyakarta.
6. **Suyanta Suyanta**, Nor Harisah, Dwi Siswanto, and Mudasir Mudasir, 2022, Superparamagnetic Composite of Magnetite-CTAB as an Efficient Adsorbent for Methyl Orange, Indonesian Journal of Chemistry 22
7. **Suyanta Suyanta**, Lia Kurnia Sutarno Sutarno, Nuryono Nuryono, Bambang Rusdjarso, and Eko Sri Kunarti, 2019, Superparamagnetic Nanocomposite of Magnetite-Chitosan Using Oleic Acid as Anti Agglomeration and Glutaraldehyde as Crosslinkage Agent, Indonesian Journal of Chemistry 19 (1), 133-142
8. **S Suyanta** and Falah, I.I., 2012, Cracking of palm oil over H-AIMCM-41 catalyst, Journal of Chemistry and Chemical Engineering 6 (6), 531
9. **Suyanta Suyanta** and Agus Kuncaka, 2011, Utilization of rice husk as raw material in the synthesis of mesoporous silicates MCM-41, Indonesian Journal of Chemistry, 11(3), 279-284
10. **S Suyanta**, N Narsito, ET Wahyuni, T Triyono, and S Sutarno, 2010, Effect of aging time toward crystallinity of products in synthesis of mesoporous silicates MCM-41, Indonesian Journal of Chemistry 10 (3), 310-314
11. **Suyanta**, Narsito, Endang Tri Wahyuni, and Triyono, 2010, Synthesis and Characterization of Mesoporous Aluminosilicates Al-MCM41 and Investigation of Its Thermal, Hydrothermal and Acidity Stability, Indonesian Journal of Chemistry, 2010, 10 (1), 41 – 45
12. **Suyanta**, Sutarno, dan Asih Wudartu, 2012, Pengaruh Penggunaan NaCl Dalam Sintesis MCM-41 terhadap Kristalinitas dan Stabilitas Hidrotermal Produk, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah - Penelitian Dasar Ilmu

- Pengetahuan dan Teknologi Nuklir 2012 Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan - BATAN Yogyakarta, 4 Juli 2012.
13. Mahmudi, M., Ardhani, R., Pidhatika, B., Nuryono, and **Suyanta**, 2024, Development of a local drug delivery system for promoting the regeneration of infective bone defects: composite films with controlled properties. *Polym. Bull.*
 14. Nuryono Nuryono, Anfi'na Ilma Yunita, Muhammad Wahyu Arif Wibowo, and **Suyanta Suyanta**, 2022, Synthesis of White Mineral Trioxide Aggregate (WMTA) Using Silica from Rice Husk Ash and CaCO_3 from Limestone, *Materials Science Forum* 1068 (-), 189 – 195
 15. A Jaman, N Nuryono, and **S Suyanta**, 2021, The Properties of White Mineral Trioxide Aggregate (WMTA) Made of Rice Husk Ash Silica and Limestone Calcium Carbonate and the Effect of Silica Particles Addition, *Key Engineering Materials* 884, 274-281
 16. Busroni, **Suyanta**, and Chairil Anwar, 2023, Themizoroki Heck Reaction In Aqueous Solvents Promoted by Resin-Supported of Novel Rpf@Pdnpns Nanospheres: Catalytic Reduction Test Int., *J. of Adv. Res.* 11 (Feb), 1145-1151]
 17. ERF Maftuhah, **S Suyanta**, SJ Santosa, 2021, A Preliminary Study on the Selective Detection of Hypochlorite Based on Antiaggregation of AuNPs, *Key Engineering Materials* 884, 353-359
 18. MRT Amnillah, **S Suyanta**, and SJ Santosa, 2021, Immobilization of Salicylic Acid on Ni-Zn Layered Hydroxide Salts, *Key Engineering Materials* 840, 566-572
 19. Nuryono, Fahmiati, Alrum Armid, and **Suyanta**, 2020, Adsorption of Au(III) on diethylenetriamine-functionalized silica coated on iron sand magnetic material, *AIP Conference Proceedings* 2237, 020051 (2020) 2237 (1), 0200511 – 0200518
 20. Endang Tri Wahyuni, Sri Juari Santosa, Gusrizal, Fadliah, Magfiroh, and **Suyanta**, Physicochemical Characteristics Of Silver Nanoparticles Synthesized And Stabilized By O-, M- And P-Hydroxybenzoic Acids, *Progress and Prospects in Nanoscience Today*, 59-76

21. Amaria Amaria, Nuryono Nuryono, and **Suyanta Suyanta**, 2017, Preparation of L- arginine-modified silica-coated magnetite nanoparticles for Au (III) adsorption, *Orient. J. Chem*, 33, 384-395
22. N Nuryono, M. Mahmudi, B. Pidhatika, and **S. Suyanta**, 2022, Modification of Gelatin/Carbonated Hydroxyapatite Membrane With Chitosan to Improve the Tensile Strength, *Rasayan J. Chem.*, 15 (2), 954 - 959B
23. Ishartono, **S Suyanta**, and I Kartini, 2021, Effect of Zeolite to Clay Ratios on the Formation of Zeolite-Clay-White Cement Composite Cylinder as an Encapsulant of Urea Fertilizer, *Key Engineering Materials* 884, 196-203
24. A Ramadani, **S Suyanta**, NS Pamungkas, NA Putrisetya, MC Prihatiningsih, et al., 2020. Ordered Structure Analysis of Prepared Mesoporous Silica Using Small Angle X-Ray Scattering, *Atom Indonesia* 46 (1), 11-17
25. I Kartini, ET Lumbantobing, **S Suyanta**, S Sutarno, and R Adnan, 2020, Bioplastic composite of carboxymethyl cellulose/NPK fertilizer, *Key Engineering Materials* 840, 156-161
26. Nurul Hidayat Aprilita, **S Suyanta**, and RS Murti, 2019, Synthesis of adsorbent based on silica derived from bagasse fly ash as adsorbent chromium hexavalent in tannery wastewater, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 536, 012077
27. AL Rettob, **S Suyanta**, and A Yateman, 2019, Coating of 2-Aminobenzimidazole and 1-(o-Tolyl) biguanide Functionalized Silicas on Iron Sand Magnetic Material for Sorption of $[AuCl_4]$, *Indones. J. Chem* 19 (2), 395-404
28. S Fahmiati, Nuryono, and **Suyanta**, 2017, Characteristics of Iron Sand Magnetic Material from Bugel Beach, Kulon Progo, Yogyakarta, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 172, 012020
29. DI Saragih, DCV Arifin, B Rusdiarso, **S Suyanta**, and SJ Santosa, 2020, Synthesis of silver nanoparticles using tyrosine as reductant and capping agent, *Key Engineering Materials* 840, 360-367

30. AS Andreani, **S Suyanta**, ES Kunarti, and SJ Santosa, 2018, Synthesis of Citrate- Capped Gold Nanoparticles from Reduced $[\text{AuCl}_4]^-$ on Ascorbic Acid-Immobilized Mg/Al Hydrotalcite, Indonesian Journal of Chemistry 18 (3), 434-440
31. Nuryono Nuryono, Desinta Dwi Ristiana, and **Suyanta Suyanta**, 2022, Sulfonic acid- functionalized silica with controlled hydrophobicity as an effective catalyst for esterification of levulinic acid, Materials Today Communications 32 (-), 103953
32. Martasiana Karbeka, Nuryono, and **Suyanta**, 2020, Synthesis of silica-coated on iron sand magnetic materials modified with 2-mercapto benzimidazole through sol-gel, Moroccan Journal of Chemistry 8 (S1), 44 – 52
33. Faryda Veronica Lamma Koly, Adhitasari Suratman, and **Suyanta**, 2020, Adsorption of carbon dioxide with nanofibers based on alginate/polyethylene oxide/triton X-100, Moroccan Journal of Chemistry 8 (S1), 53 – 63
34. Mulya Supianto, Indriana Kartini, and **Suyanta Suyanta**, 2019, An Interplay Role between Ammonium and Halide Anions as Additives in Perovskite $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, Materials Science Forum 948, 287-293
35. Olivia Febri Marvita, Sutarno, and **Suyanta**, 2018, Adsorption of Toluene from Aqueous Solution onto Dodecyl Dimethyl-3-Ammonio-1-Propane Sulfonate (DPS) Surfactant-Modified Natural Zeolite, Proceedings of 177th The IIER International Conference
36. Karna Wijaya, Irfan Ilmi, Indriana Kartini, Bunsho Ohtani, and **Suyanta**, 2016, The isolated anatase for dye-sensitized solar cell, AIP Conference Proceedings 1677, 070015
37. SH Siregar, K Wijaya, ES Kunarti, A Syoufian, and **S Suyanta**, 2017, Preparation and characterization of montmorillonite-cetyl trimethylammonium bromide, Asian Journal of Chemistry 30 (1), 25-28
38. Martasiana Karbeka, Nuryono, and **Suyanta**, 2020, Coating of mercapto modified silica on iron sand magnetic material for Au(III) adsorption in aqueous solution, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 823, 012031

39. Fahmiati Fahmiati, Nuryono Nuryono, and **Suyanta Suyanta**, 2018, Functionalization of Silica Coated on Iron Sand Magnetic Material with Diethylenetriamine, *Asian Journal of Chemistry* 30 (8), 1805 – 1810
40. Nuryono, Nuryono, Amaria Amaria, and **Suyanta Suyanta**, 2017, Coating of L- Arginine Modified Silica on Magnetite through Two Different Sol-Gel Routes, *Indonesian J. Chem.* 17 (2), 256 – 263
41. S Wahyuni, **S Suyanta**, BB Sedayu, W Nafisyah, and I Kartini, 2022, Synthesis Bioplastic Fertilizer of Carboxymethyl Cellulose/NPK/Zeolite Using Twin-Screw Extruder as a Model Slow-Release, *Key Engineering Materials* 928, 89-94
42. Desinta Dwi Ristiana, N Nuryono, and **S Suyanta**, 2022, Simple One-Pot Synthesis of Sulfonic-Acid-Functionalized Silica for Effective Catalytic Esterification of Levulinic Acid, *Indonesian Journal of Chemistry* 22 (1), 157 – 170
43. F Fahmiati, A Armid, **S Suyanta**, and N Nuryono, 2020, Adsorption of Au (III) on diethylenetriamine-functionalized silica coated on iron sand magnetic material, *AIP Conference Proceedings* 2237 (1)
44. Sri Hilma Siregar, Karna Wijaya, Eko Sri Kunarti, and **Suyanta Suyanta**, Akhmad Syoufian, 2019, Kinetics adsorption of heavy oil spills in rivers on magnetite-(CTAB- montmorillonite) adsorbent, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 509, 012136
45. **Suyanta Suyanta**, Mika Kusuma, Eko Sri Kunarti, Bambang Rusdiarso, and Drita Anies Cahaya, 2019, Rapid Synthesis of MCM-41 from Rice Husk Using Ultrasonic Wave: Optimization of Sonication Time, *Materials Science Forum* 948, 198-205
46. Sri Juari Santosa, Agustina Sus Andreani, **Suyanta**, and Eko Sri Kunarti, 2017, Synthesis of Gold Nanoparticle from Adsorbed Au on Hydrotalcite Using SDS and Sodium Citrate as Capping Agent and its Recovery into Pure Gold, *Materials Science Forum* 901, 32–36
47. Mahmudi, Nuryono, B. Pidhatika, and **Suyanta**, 2022, Synthesis Of Bioactive Membranes For Guided Tissue Regeneration (Gtr):

A Comparative Study Of The Effect Silane-Based Cross-Linker, RASĀYAN J. Chem. 15 (1), 102-107

48. Yuli Pujiarti, **S Suyanta**, and ES Kunarti, 2017, A Visible Light-Induced $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}^-$ Cu Nanocomposite and its Photocatalytic Activities for Rhodamine B Photodegradation, Key Engineering Materials 884, 60-66
49. **S Suyanta**, S Sudiono, S and J Santosa, 2010, Determination of rate constant and stability of adsorption in competitive adsorption of Cr (III) and Cd (II) on humic acid by using the new model of kinetic formulation, Indonesian Journal of Chemistry 4(3), 161-167
50. **Suyanta** and Agus Kuncaka, 2006, Study on Effect of pH and Metal Concentration on The Synthesis of Dimensionally Stable Anode Gaphite/ $\text{La}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ and Gaphite/ $\text{RuO}_2\text{-TiO}_2$, Indonesian Journal of Chemistry, 2006, 6 (2), 127 - 131

Hak Paten

1. **Suyanta**, 2024, Proses Pem buatan Adsorben Zat Warna Anionik Superparamagnetik, granted (IDP 000092090)
2. Indriana Kartini, Muhammad Idad Akbar, Elisabeth Tiolina Lumbantobing, Sutarno, **Suyanta**, 2022, Komposisi Pupuk Pelepas Lambat Nitrogen, Fosfor dan Kalium Berbasis Nanokomposit Bioplastik Karboksimetil Selulosa (KMS), NPK, Gliserol, Zeplit Alam, Lempung Alam, granted (IDS 000004997)
3. **Suyanta**, Sutarno, Nuryono, 2018, Proses Pembuatan Komposit Berbahan Dasar Kitosan, Glutaraldehyd dan Magnetit Termodifikasi Oleat Sebagai Adsorben Logam- Logam Berat dan Produk yang Dihasilkannya, Under reviewed (P00201808764)
4. **Suyanta**, 2018, Proses Pembuatan Nanopartikel Magnetit Terdispersi Pada Zeolit Berbahan Dasar Zeolit Alam, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dan NH_4OH Sebagai Adsorben Logam-Logam Berat dan Produknya, Under reviewed (P00201906180)
5. **Suyanta**, 2019, Proses Pembuatan Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C}$ -aktif Berbahan Dasar Ampas Tebu, $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan

NH₄OH Sebagai Adsorben Bifungsional Logam-Logam Berat dan Zat Warna Serta Produknya, Under reviewed (P00201906184)

6. **Suyanta**, 2019, Proses Sililasi Ekternal pada MCM-48 dan Sintesis Nanopartikel Oksida Besi dalam Pori MCM-48-Tersililasi Serta Produk yang Dihasilkannya, Under reviewed (P00201907396)
7. **Suyanta**, 2018, Proses Sililasi Ekternal Pada MCM-41 dan Substitusi Isomorfis Fe(III) pada Kerangka MCM-41-Tersililasi Serta Produk yang Dihasilkannya, Under reviewed (P00201904844)

Buku

1. **Suyanta**, 2013, Buku Ajar Kimia Unsur, Gadjah Mada University Press.
2. **Suyanta**, *proses cetak*, Buku Ajar Kimia Koordinasi, Gadjah Mada University Press.
3. Sri Juari Santosa, Kustomo, **Suyanta**, 2020, Adsorption Characteristics of Methylene Blue on Humic Acids-Functionalized Magnetite Nanoparticles
4. Sri Juari Santosa, Gusrizal, Fadilah Fuad, **Suyanta**, Endang Tri Wahyuni, 2020, Physicochemical Characteristics of Silver Nanoparticles Synthesized and Stabilized by o-, m- and p-Hydroxybenzoic Acids

Penghargaan

No.	Nama Penghargaan	Institusi Pemberi	Tahun
1	Satyalancana Karya Satya 10 Tahun	Presiden RI	2001
2	Piagam Penghargaan Kesetiaan 25 Tahun	Rektor UGM	2013
3	Satyalancana Karya Satya 30 Tahun	Presiden RI	2019
4	Piagam Penghargaan Dosen Berprestasi	Dekan FMIPA UGM	2019
5	Piagam Penghargaan Kesetiaan 35 Tahun	Rektor UGM	2023

