

Submitted : 5 October

Revised : 25 November

Accepted : 6 December

REVIEW TENTANG SINTESIS SiO₂ NANOPARTIKEL

Muhammad A. Fadhlulloh¹, Taufik Rahman¹, Asep Bayu D. Nandiyanto^{1*}, Ahmad Mudzakir¹

¹Program Studi Kimia, Jurusan Pendidikan Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudi no 229, Bandung 40154, Jawa Barat, Indonesia

Email: nandiyanto@upi.edu; Tel.: +62-22-2001108

Abstrak

Silika adalah unsur yang memiliki berbagai keunggulan baik dari segi sifat fisika maupun sifat kimia. Keunggulan sifat yang dimiliki silika ini menjadikannya memiliki aplikasi yang sangat luas dalam berbagai bidang. Performa silika tergantung pada metode sintesis yang berpengaruh terhadap ukuran partikel, struktur kristal, kemurnian, dan morfologi. Sehingga perlu pendekatan lebih lanjut untuk mengetahui efektifitas berbagai metode yang digunakan para peneliti dalam melakukan sintesis silika nanopartikel. Namun, tidak semua rangkuman jurnal yang ada menunjukkan informasi yang detail dan menyeluruh baik dari segi penjabaran metode maupun aplikasi materialnya. Dalam paper ini, akan dikaji beberapa metode yang dapat digunakan dalam proses sintesis silika nanopartikel, diantaranya: metode sol gel, metode *liquid-phase*, metode penukar ion, metode induksi listrik mikrowaf, metode *co-condensation*, dan metode *tungsten carbide vial*. Selain itu, akan dijabarkan juga informasi terkait aplikasi silika dalam bidang biomedis.

Kata kunci: silika, sifat silika, metode, aplikasi

Abstract

Silica is an element that has many advantages both in terms of physical properties and chemical properties. Because of the advantages owned by silica, it has a very wide application in many fields. Performance silica depends on the method of synthesis that affects particle size, crystal structure, purity, and morphology. So it needs further approach to determine the effectiveness of various methods used by researchers in conducting the synthesis of silica nanoparticles. However, not all existing review journals show detailed and comprehensive information both in terms of the translation method and application material. In this paper, will be studied several methods that can be used in the synthesis of silica nanoparticles, including: sol-gel method, the method of liquid-phase, ion exchange method, microwave electric induction method, co-condensation method, and methods of tungsten carbide vial. In addition, this paper also gives information about application of silica in the field of biomedical.

Keywords : silica, silica properties, methods, applications

1. PENDAHULUAN

Silika adalah unsur dengan kegunaan tinggi dalam berbagai macam ruang lingkup, seperti bioteknologi (Galliker, 2010; Cheang, 2012), lingkungan (Liu, 2013; Le, 2013), industri semen (Singh, 2011), komposit (Nandiyanto, 2011), dan medis (Slowing, 2008; Kwon, 2013; Estévez, 2009; Lu, 2007; Tang, 2013; Xu, 2003). Hal ini disebabkan silika memiliki sifat yang terbukti memiliki stabilitas tinggi, fleksibilitas kimia, dan biokompatibilitas yang berperan penting bagi berbagai lingkup (Ogi, 2014).

Selain itu, silika memiliki kelimpahan yang banyak, biaya yang relatif murah untuk penelitian silika berbasis nano dan mikropartikel, dan memiliki permukaan yang besar untuk rasio volume yang diharapkan mampu menjadi *carrier* imobilisasi yang besar untuk sejumlah enzim dengan relatif sedikit material bahan pembawa (Galliker, 2010). Namun, pada studi busa CO berair dengan prekursor hidrofilik silika nanopartikel dan non-ionik Triton X100, surfaktan TX100, ditemukan kekurangan dari studi tersebut bahwa stabilitas busa distabilkan oleh

partikel dengan mengandalkan tingkat hidrofobisitas dari partikel yang secara inheren hidrofilik di alam (Yusuf, 2013).

Dalam paper ini, akan dibahas tentang *review* silika mengenai cara sintesis silika nanopartikel hingga aplikasinya. Kelebihan paper ini ialah pembahasan tentang metode penelitian yang digunakan untuk fabrikasi berbahan dasar silika dengan aplikasinya yang lebih menyeluruh.

Jika manfaat besar yang diperoleh dari material berbahan dasar silika dapat dipahami, akan menguntungkan untuk pihak industri dan peneliti lebih lanjut. Dalam paper ini, akan dibahas metode penelitian yang digunakan untuk fabrikasi berbahan dasar silika seperti *liquid-phase*, *co-condensation*, *sol-gel*, pertukaran ion, metode dengan alat mikrowaf, *liquid-phase then electrospray*, tungsten *carbide vial*.

2. METODE PENELITIAN

Ada beberapa macam cara metode penelitian fabrikasi silika yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Metode dan Bahan Pembuatan Silika

No	Metode	Bahan	Daftar Pustaka
1	Pengadukan	SiO ₂ -TX100 <i>Aqueous Dispersion</i>	Yusuf, 2013 Lu, 2009;
2	<i>Liquid-Phase</i>	TEOS	Nandiyanto, 2009; Estévez, 2009; Lin, 2009; Huang, 2010;
3	Induksi Listrik <i>Microwave</i>	(SiH ₄), H ₂ , Ar	Knipping, 2004
4	Sol-gel	<i>Glycerol-derived polyol-based silanes, orthosilicic acid, sodium metasilicate, tetraethyl orthosilicate (TEOS) or tetramethoxysilane (TMOS) and tetrakis (2-hydroxyethyl) orthosilicate (THEOS)</i>	Kwon, 2013
5	Pertukaran ion	Sodium silikat, etil silikat, etanol, penisilin, triton x-100	Yuan, 2010
6	<i>Co-condensation</i>	<i>Tetraalkoxysilane, aminoalkoxysilane modified with diazeniumdiolate NO donors</i>	Camporotondi, 2013, Suteewong, 2010;
7	Sol-gel	TEOS	Suteewong, 2010; Guo, 2011; Singh, 2011, Singho, 2012
8	<i>Liquid-phase</i>	<i>Fluorescent (red-F or green-F)-labeled silica particles</i>	Nabeshi, 2011
9	<i>Liquid-phase</i>	<i>Rice husk, sodium hydroxide, CTAB</i>	Le, 2013
10	<i>Stöber method (liquid phase)</i>	<i>Radioactive 14C-labeled BPA, laccase, TEOS</i>	Galliker, 2010
11	<i>Electroless etching method</i>	<i>Silicon nanoparticles</i>	Ge, 2013
12	<i>Nitridation reactor system</i>	<i>SiO₂ nanoparticles</i>	Rizka Z., 2014
13	<i>Liquid-Phase</i>	silika sol	Wentao H., 2013
14	<i>Liquid-phase</i>	<i>Colloidal silica particles</i>	Chunzhao L., 2005
15	Metode pembentukan koting silika/PS dengan cara <i>spin-coated</i> menggunakan DSS ke substrat	Silika nanopartikel Dp = 5 nm, PS Dp = 410 nm	Nandiyanto, 2011

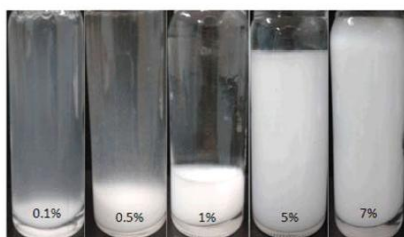
16	<i>Liquid phase</i> dengan melarutkan APTES & TX-100 dengan air, + buffer agar pH 11	<i>Methyltrimethoxysilane</i>	Cheang, 2012
17	<i>Sol-gel process at high temperature</i>	<i>Fluorescent mesopori silika nanopartikel (FMSNs)</i>	Lu, 2007
18	<i>Tungsten carbide vial</i>	Sodium silikat (Na_4Si_4) dan silikon tetrachloride (SiCl_4)	Atkins, 2013

2.1. Liquid-Phase

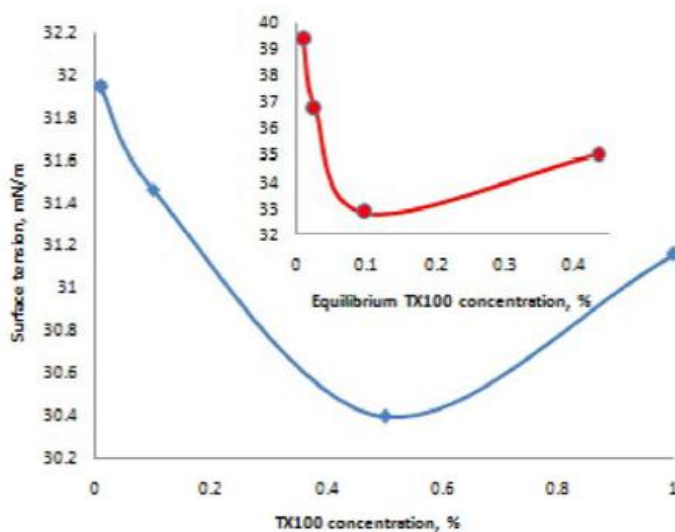
Ada beberapa peneliti yang membahas tentang fabrikasi berbahan dasar silika dengan metode *liquid-phase* (Yusuf, 2013; Lu, 2009; Nabeshi, 2011; Le, 2013; Galliker, 2010; Canton, 2011; Nandiyanto, 2009; Suhendi, 2013; He, 2013; Li, 2005; Estévez, 2009; Lin, 2009; Huang, 2010; Nandiyanto, 2010; Cheang, 2012; Liu, 2013; Nandiyanto, 2014; Nandiyanto, 2013; Nandiyanto, 2008; Suhendi, 201; Xu, 2003; Kim, 2003; Suhendi, 2013).

Yusuf, dkk. pada tahun 2013 membahas tentang pembuatan SiO_2 -TX100 dengan mencampurkan silika

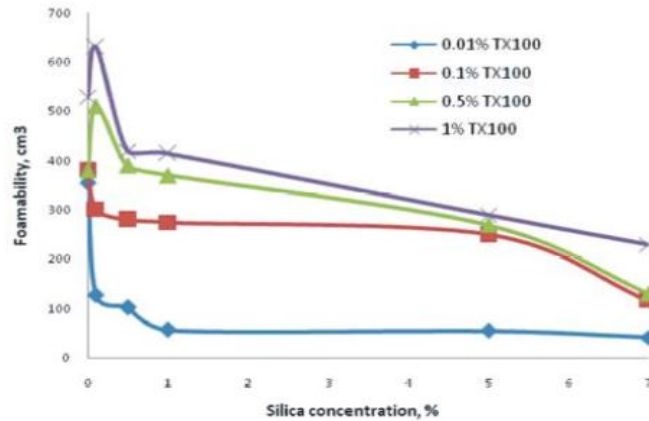
berbagai konsentrasi persen berat dari 0,1-7 wt% dan ukuran 60-70 nm dengan persen kemurnian 98% dilarutkan dalam air. Dispersi silika dalam 0,1% TX100 pada konsentrasi 0,1 sampai dengan 7% dapat dilihat pada Gambar 1. Hasil yang diperoleh ialah grafik hubungan tegangan permukaan dengan konsentrasi TX 100 (%) meningkat saat kesetimbangan yang dapat dilihat pada Gambar 2. Grafik hubungan *foamability* dengan konsentrasi yang dapat disimpulkan jika konsentrasi rendah, maka *foamability* meningkat yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 1. Dispersi silika dalam 0,1% TX100 pada konsentrasi 0,1 sampai dengan 7% yang didapat dari Suriatie Yusuf, dkk.



Gambar 2. Tegangan permukaan larutan TX100 pada 0,01; 0,1; 0,5; dan 1%. Inset: tegangan permukaan max. pada 1% SiO_2 yang didapat dari Suriatie Yusuf, dkk.

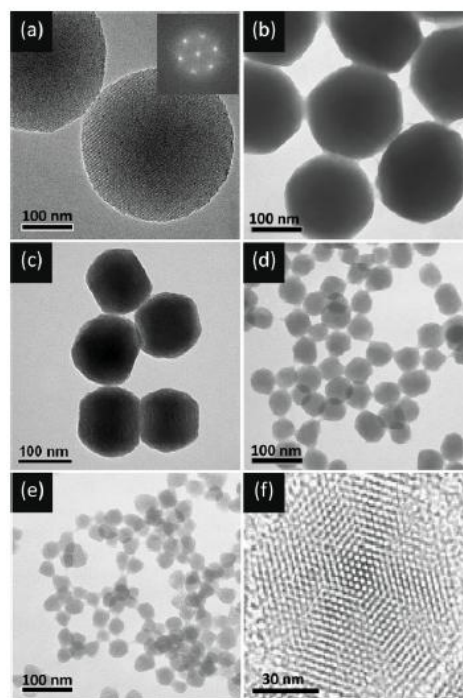


Gambar 3. Foamability dispersi silika/TX100 yang didapat dari Yusuf, dkk., 2013

Kelebihan dari penelitian ini ialah kestabilan busa berair dan stabilitas busa meningkat dengan memperhatikan pengaruh nanopartikel *laponite* hidrofilik dengan non-ionik *Tetraethylene glycol monododecyl eter*, surfaktan. Namun, kekurangan dari penelitian ini ialah penggunaan surfaktan untuk menstabilkan busa tidak efektif untuk aplikasi skala besar. Kekurangan yang lain ialah stabilitas busa distabilkan oleh partikel hanya mengandalkan pada tingkat hidrofobisitas dari partikel yang secara inheren hidrofilik di alam.

Fang Lu, dkk. pada tahun 2009 membahas pembuatan silika nanopartikel mesopori dengan

mencampurkan tetraetil ortosilikat (TEOS) dengan surfaktan konsentrasi rendah dalam NH_4OH yang mengandung *cetyltrimethylammonium bromide* (CTAB). Hasil karakterisasi menggunakan instrumen TEM ialah ukuran partikel silika nanopartikel mesopori dapat dimodulasi dengan kontrol pH. Sebagai contoh apabila pH yang digunakan ialah 11.52 ukuran partikel yang diperoleh ialah 280 nm. Pengurangan pH dari 11.38, 11.32, dan 11.00, rata-rata ukuran partikel berubah berturut-turut menjadi 170, 110, 50, 30 nm. Contoh hasil penelitiannya dapat dilihat pada Gambar 4.

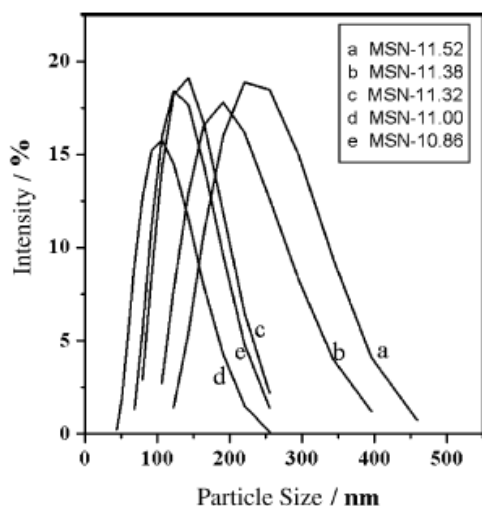


Gambar 4. Gambar TEM dari silika mesopori dengan rata-rata ukuran a) 280 nm; inset: FF analisis dengan TEM; b) 170, c) 110, d) 50, e) 30 nm. f) TEM resolusi tinggi partikel tunggal dalam c) yang didapat dari Fang Lu, dkk.

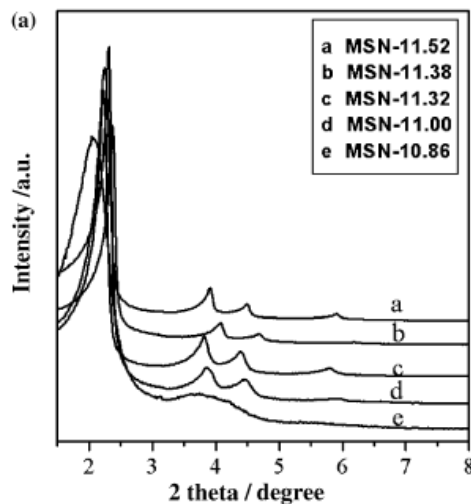
Hasil karakterisasi menggunakan instrumen alat DLS ialah *trend* yang sama dengan hasil TEM bahwasanya turunnya ukuran partikel seiring dengan berkurangnya pH dari 11,52 sampai 11,00. Silika nanopartikel mesopori pun tersuspensi dengan baik dalam pelarutnya dan tidak menunjukkan adanya agregasi yang dapat dilihat pada Gambar 5. Karakterisasi dengan XRD diperoleh struktur kristal heksagonal dari silika mesopori nanopartikel, dapat

dilihat pada Gambar 6. Hasil pengukuran Zeta Potensial ialah titik isolistrik pada pH 6.5-6.9, dapat dilihat pada Gambar 7.

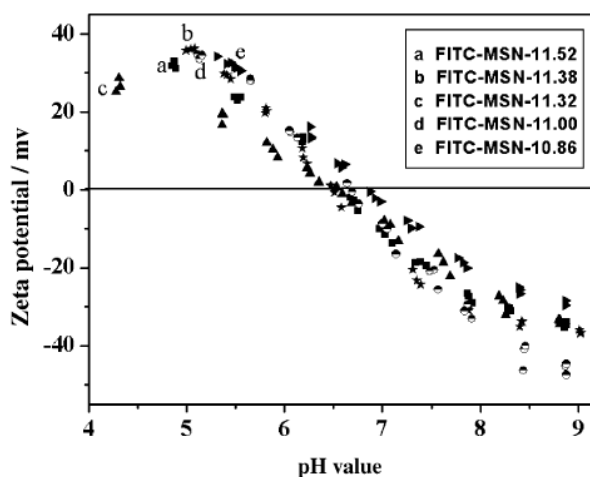
Hasil pengukuran dengan instrumen CLSM untuk ukuran optimum penyerapan sel ialah 50 nm. Serapan seluler sangat tergantung dari ukuran partikel. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa serapan seluler dari yang terkuat dengan urutan 50, 30, 110, 280, 170 nm. Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 8.



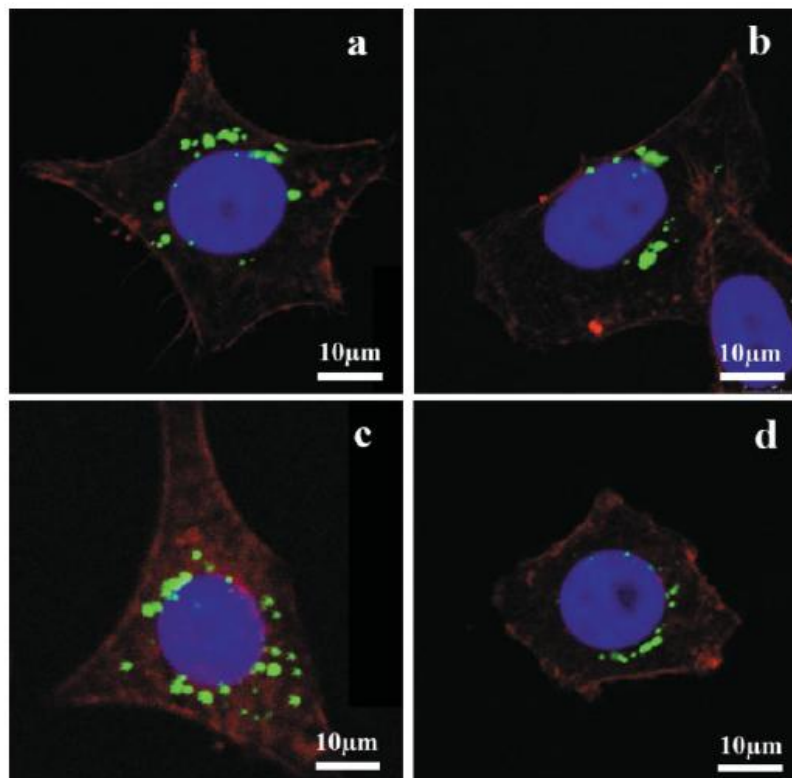
Gambar 5. Pengukuran dengan DLS untuk mesopori silika nanopartikel yang disintesis dengan berkurangnya pH dari 11,52-10,86 yang didapat dari Fang Lu, dkk.



Gambar 6. Pengukuran dengan XRD untuk mesopori silika nanopartikel yang disintesis dengan berkurangnya pH dari 11,52-10,86 yang didapat dari Fang Lu, dkk.



Gambar 7. Zeta potensial untuk mesopori silika nanopartikel-FITC pada rentang pH 11,52-10,86 yang didapat dari Fang Lu, dkk.

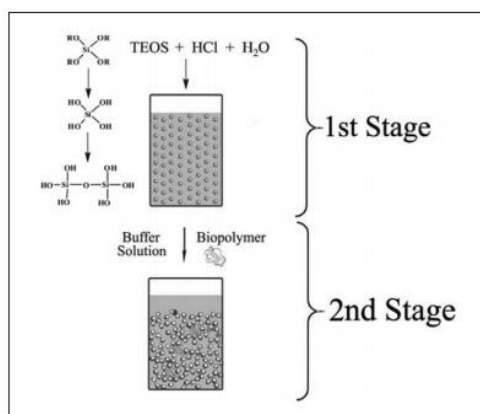


Gambar 8. Gambar CLSM dari HeLa setelah inkubasi selama 5 jam pada 37°C dengan FITC- mesopori silika nanopartikel (100 μg/mL, hijau) ukuran a) 170, b) 110, c) 50, and d) 30 nm. Skeleton diukur dengan *rhodamine phalloidin* (merah), nukleus dengan 4',6-diamidino-2-phenylindole (DAPI; biru) yang didapat dari Fang Lu, dkk.

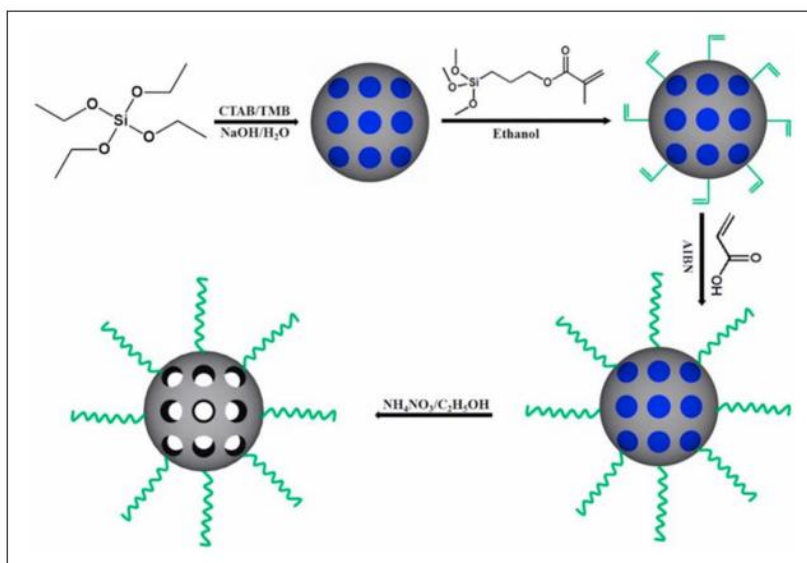
2.2. Sol-Gel

Kwon, dkk. pada tahun 2013 membahas mesopori silika nanopartikel (MSNs) sebagai bahan pembawa obat. Mesopori silika nanopartikel dipreparasi dengan metode sol-gel yang dapat diilustrasikan pada Gambar

9. Dalam paper Li, dkk. pada tahun 2013 yang ditulis kembali dalam paper Kwon, dkk. dijelaskan bahwa inti dari mesopori silika nanopartikel berikatan silang dengan poli(asam akrilik) (PAA) melalui ikatan disulfid yang diilustrasikan pada Gambar 10.



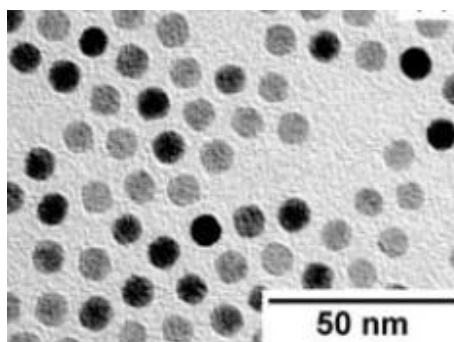
Gambar 9. Ilustrasi proses sol-gel dalam sintesis mesopori silika nanopartikel yang didapat dari Sooyeon Kwon, dkk.



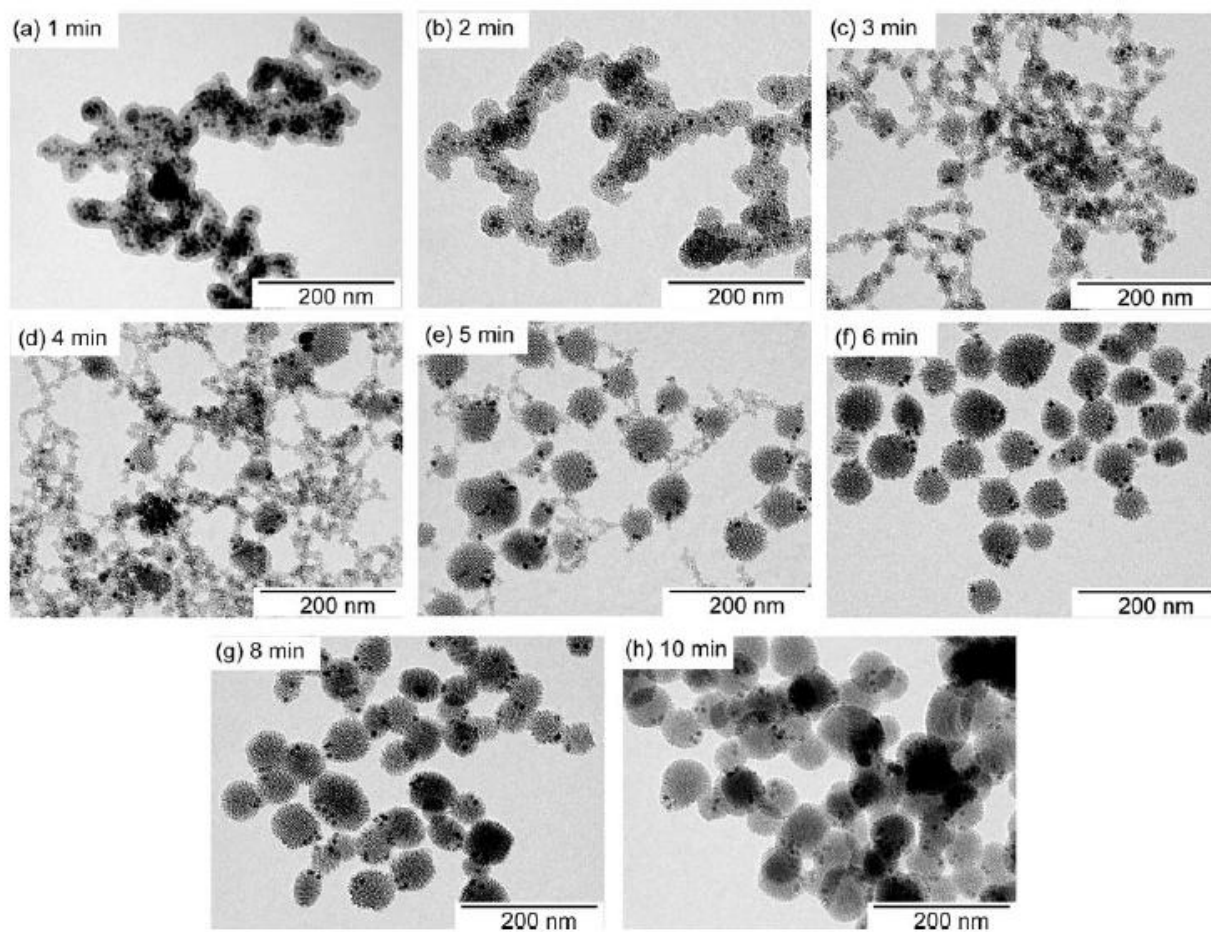
Gambar 10. Skema proses preparasi PAA-MSN yang didapat dari Sooyeon Kwon, dkk.

Prosedur sol-gel yang digunakan Sooyeon Kwon, dkk. tidak multi-step dan tidak membutuhkan banyak prekursor. Metode yang harganya murah diperoleh dengan menggunakan metode sol-gel. Terdapat dua tingkatan dalam proses sol-gel: hidrolisis dan reaksi kondensasi. Dalam fase larutan, partikel koloid akan terhidrolisis, yang dapat distimulasi dengan pH asam atau basa. Pada pH netral akan lebih cepat mengalami reaksi kondensasi dengan membuat gel tiga dimensi (3D) dimana saling berikatan silang partikel sol ikatan siloksan. Reaksi kondensasi itu *reversible*, sehingga silika dapat berubah struktur dengan mudah. Setelah dipanaskan, perbedaan biomolekul dapat melekatkan matriks gel silika dan *controllably released*, mengandalkan pada struktur dan porositas dari mesopori silika nanopartikel. Dapat disimpulkan bahwa metode sol-gel dapat digunakan untuk mengontrol morfologi (*spheres, rods, twisted columns, dan kidney bean-shaped*) dan ukuran (60-1000 nm). Perbedaan pori dan porositas mesopori silika nanopartikel dapat mengatur parameter seperti pH, suhu, bahan, pelarut, katalis, prekursor, dan bahan tambahan dalam konsentrasi berbeda

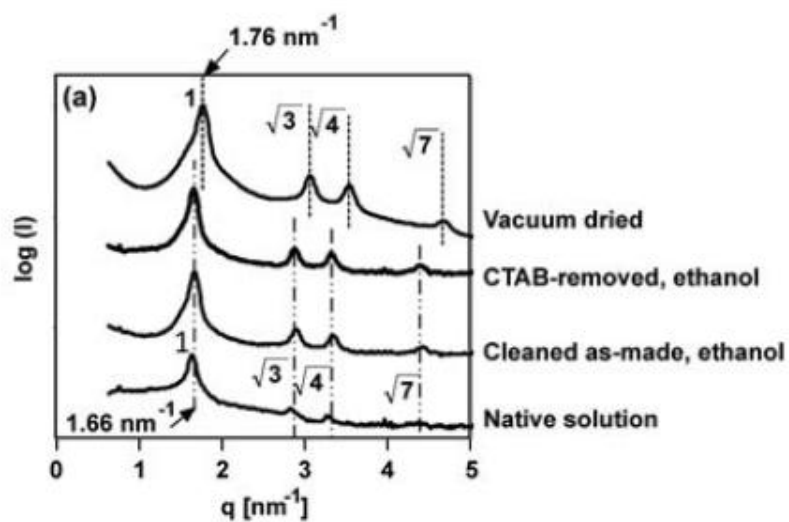
Suteewong, dkk. pada tahun 2010 membahas evolusi struktur pada suhu ruang selama sintesis heksagonal mesopori silika nanopartikel dengan dan tanpa penambahan oksida besi. Metode *liquid-phase* saat mensintesis mesopori silika nanopartikel (MSNs) yang ditambahkan nanopartikel magnetik dengan cara melarutkan CTAB yang distabilkan dengan larutan magnetik nanopartikel dalam air, diikuti dengan penambahan etil asetat, TEOS, NH_4OH . Hasil yang diperoleh dengan instrumen TEM ialah asam oleat-capped oksida besi nanopartikel ialah 8 nm; ukuran partikel mesopori silika nanopartikel ialah 62 ± 10 nm, dapat dilihat pada Gambar 11. Pengukuran TEM untuk partikel mesopori silika nanopartikel dengan variasi waktu dari 1-10 menit diperoleh hasil bahwa terjadi perubahan lokasi oksida besi dari tengah menuju ke tepi silika yang dapat diamati pada Gambar 12. Hasil karakterisasi menggunakan SAXS diketahui struktur kristal ialah heksagonal dengan *d-spacing* sebesar 4,2 nm dan dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 11. Gambar TEM dari asam oleat-capped oksida besi nanopartikel yang didapat dari Teeraporn Suteewong, dkk.



Gambar 12. Gambar TEM untuk m-MSNs pada variasi waktu 1-10 menit (a-h) yang didapat dari Teeraporn Suteewong, dkk

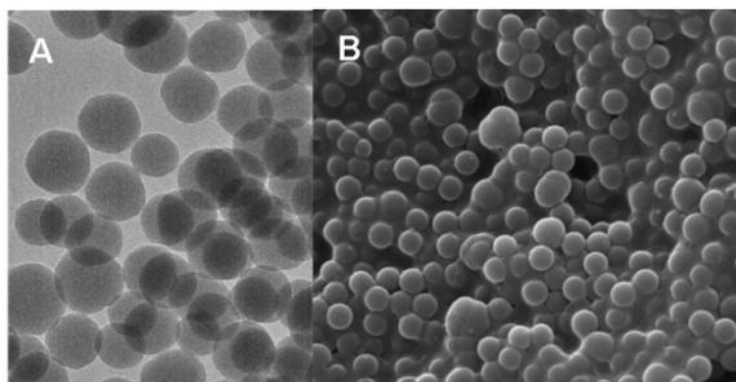


Gambar 13. Gambar SAXS b-MSN sampel dalam keadaan vakum dan suspensi pada waktu 10 menit dan SAXS pemanasan CTAB-removed sampel yang didapat dari Teeraporn Suteewong, dkk.

2.3. Co-condensation Method

Peneliti yang membahas tentang fabrikasi berbahan dasar silika dengan metode *co-condensation* ialah Camporotondi, dkk. pada tahun 2013 yang dalam papernya dijelaskan bahwa oksida nitrat melepas nanopartikel dengan metode *co-condensation* tetraalkoksisilan dan modifikasi aminoalkoksisilan dengan diazeniumdiolat NO donor menunjukkan bahwa efektif untuk mengikat bakteri dan mereduksi sitotoksis, dibandingkan dengan NO donor molekul kecil. Mekanisme yang mungkin dengan asosiasi antara membran bakteri dan nanopartikel tidak sepenuhnya dapat dipahami namun sangat berhubungan dengan elektrostatis dan atau interaksi

hidrofobik yang menghasilkan konsentrasi tinggi NO dan lebih efisien untuk sel bakteri. Adapun mekanisme lain yang dapat digunakan yaitu dengan menggunakan dua prekursor tetraalkoksisilan, tetrametoksisilan (TMOS) dan tetraetoksisilan (TEOS) untuk sintesis modifikasi-organik hibrida silika via *co-condensation* dengan amina-mengandung silan, dengan cara 5 atm NO dalam keadaan dasar. Dengan metode ini, NO-melepas silika nanopartikel menunjukkan bahwa peningkatan NO dan pelepasan sifat, dapat dilakukan dengan mengandung TMOS atau TEOS. Hasil yang diperoleh dengan instrumen TEM dan SEM pun ialah silika nanopartikel tanpa bakteri patogen yang dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. (A) Gambar TEM silika nanopartikel; (B) Gambar SEM silika nanopartikel yang didapat dari D. E. Camporotondi, dkk.

2.4. Pertukaran Ion

Peneliti yang membahas tentang fabrikasi berbahan dasar silika dengan metode *microwave* sistem ialah Yuan, dkk. pada tahun 2010 yang dalam papernya menggunakan bahan silika dari sodium silikat (Na_4Si_4) yang dilarutkan menggunakan air yang dilalui dengan resin kation dan diperoleh larutan yang aktif asam silika. Larutan tersebut terdiri dari 2% suspensi partikel SiO_2 dengan diameter ≤ 2 nm dan pH

1,5 s.d 2,5. Larutan yang aktif asam silika dimasukkan ke dalam larutan NaOH dengan pH 10 s.d. 12 saat proses refluks dan nilai pH saat reaksi lebih besar dari 9. Setelah dibiarkan selama 1 s.d. 2 jam, hasilnya sol A digunakan sebagai sol induk untuk sol B. Proses tersebut terus diulang hingga diperoleh silika yang monodispers pada sol yang baru, yang sesuai dengan Tabel 2.

Tabel 2. Kondisi Eksperimen yang Digunakan untuk Preparasi SiO_2 Nanopartikel yang didapat dari Huihui Yuan, dkk.

Sampel	Initial sol ^{a)}	Asam silika aktif		
		Laju adisi ^{b)}	Volume (mL)	pH
A-1	100 mL air	1.5	100	1.91
B-1-a	30 mL A-1	2.0	60	1.88
B-1-b	30 mL A-1	1.0	60	1.94
B-1-c	30 mL A-1	1.5	60	1.97
B-1-d	30 mL A-1	1.5	60	2.12
B-1-e	30 mL A-1	5.0	60	2.09
A-2	50 mL air	1.7	50	2.42
B-2	30 mL A-2	1.7	30	2.43
C-2-a	30 mL B-2	1.7	30	2.32
C-2-b	30 mL B-2	1.7	40	2.40
C-2-c	30 mL B-2	1.7	30	2.22

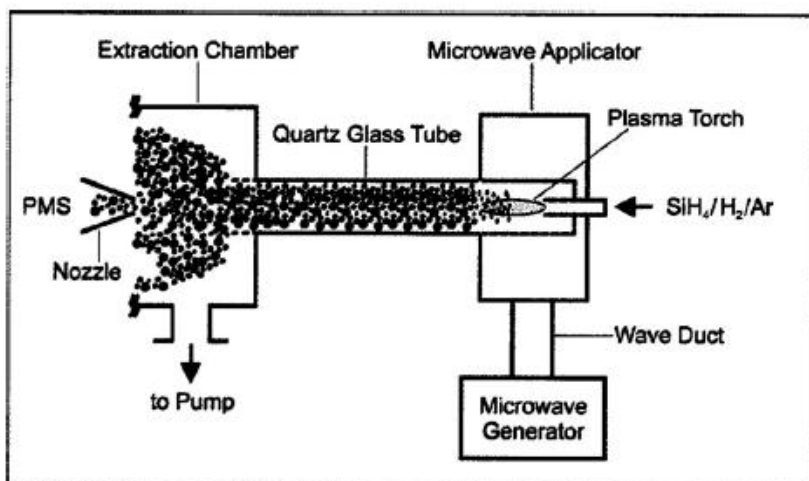
2.5. Induksi Listrik *Microwave*

Peneliti yang membahas tentang fabrikasi berbahan dasar silika dengan metode microwave sistem ialah Knipping, dkk. pada tahun 2004 yang dalam papernya menggunakan bahan dasar silane (SiH_4), H_2 , Ar dengan skema alat yang dapat dilihat pada Gambar 15. Hasil yang diperoleh dari instrumen partikel massa spektroskopi ialah diameter partikel meningkat dari fungsi distribusi normal ke eksperimen data yaitu dari 7 nm menjadi 10 nm

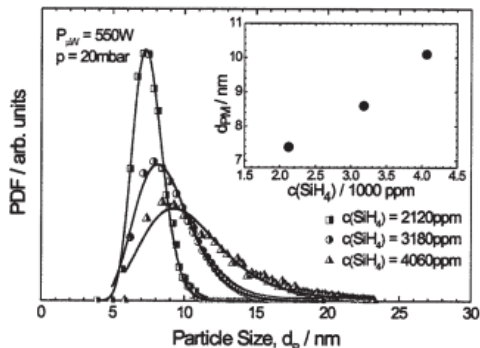
dengan peningkatan konsentrasi prekursor dari 2120 ke 4060 ppm yang dapat dilihat pada Gambar 16.

Hasil yang diperoleh dari pengukuran XRD ialah ukuran partikel yaitu 5 nm, konstanta kisi nanopartikel Si yaitu 0.5429 nm, diameter kristalin yaitu 6 nm, dan Si merupakan single kristalin yang dapat dilihat pada Gambar 17.

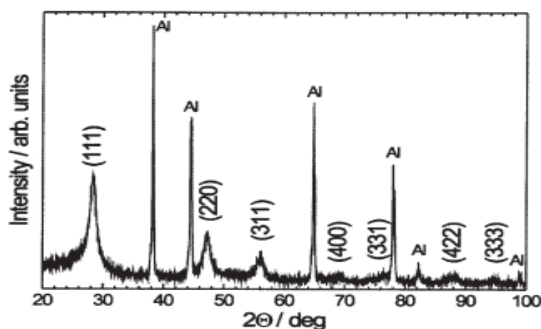
Hasil pengukuran dengan HRTEM ialah untuk $d_{111} = 0.302$ nm, $d_{22} = 0.188$ nm, and $d_{311} = 0.161$ nm, $d_p = 5$ sampai 7 nm yang dapat dilihat pada Gambar 18.



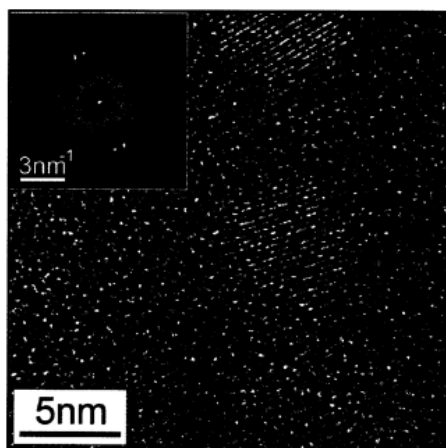
Gambar 15. Skema alat eksperimen pembuatan silika nanopartikel yang didapat dari Jörg Knipping, dkk.



Gambar 16. Pengaruh konsentrasi silane pada distribusi ukuran partikel yang didapat dari Jörg Knipping, dkk.



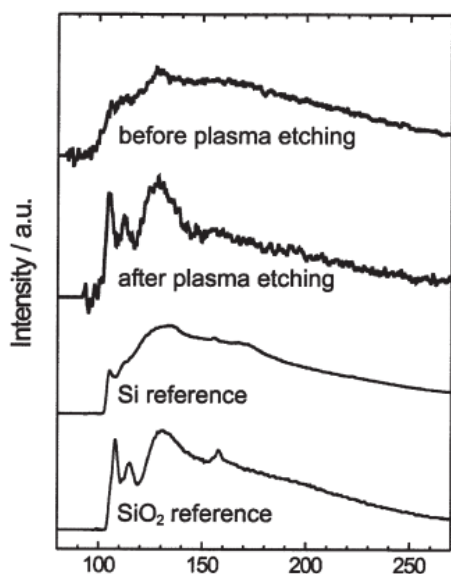
Gambar 17. Pengukuran XRD untuk silika nanopartikel dengan BET yang didapat dari Jörg Knipping, dkk.



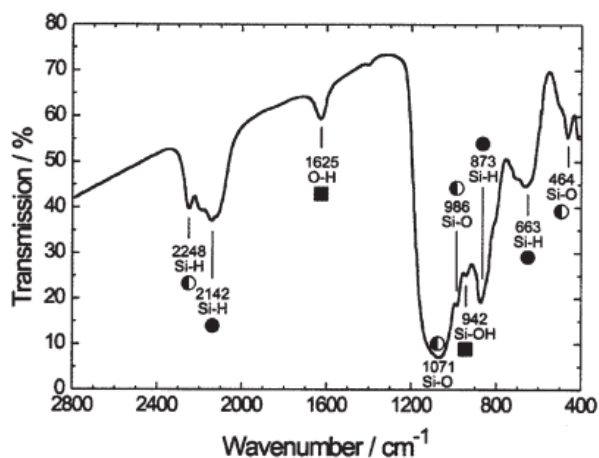
Gambar 18. Mikrograf HRTEM dari *gas-phase* Si nanopartikel dengan BET yang didepositkan pada film karbon yang didapat dari Jörg Knipping, dkk.

Pengukuran dengan *Electron Energy Loss Spectroscopy* (EELS) ialah energi yang hilang cocok untuk Si dan SiO₂ yang dibandingkan dengan referensi dan dapat dilihat pada Gambar 19. Hasil analisis menggunakan instrumen FTIR ialah diketahui bahwa

sampel mengandung gugus Si-OH dan Si-H yang dapat dilihat pada Gambar 20. Kekurangan dari penelitian ini ialah menggunakan alat mikrowaf sistem yang rumit, namun hasil ukuran partikelnya terkontrol yaitu rentang $6 \text{ nm} \leq d_p \leq 11 \text{ nm}$.



Gambar 19. Elektron energi loss spektra dari Si nanopartikel yang didepositkan pada karbon amorf yang didapat dari Jörg Knipping, dkk.

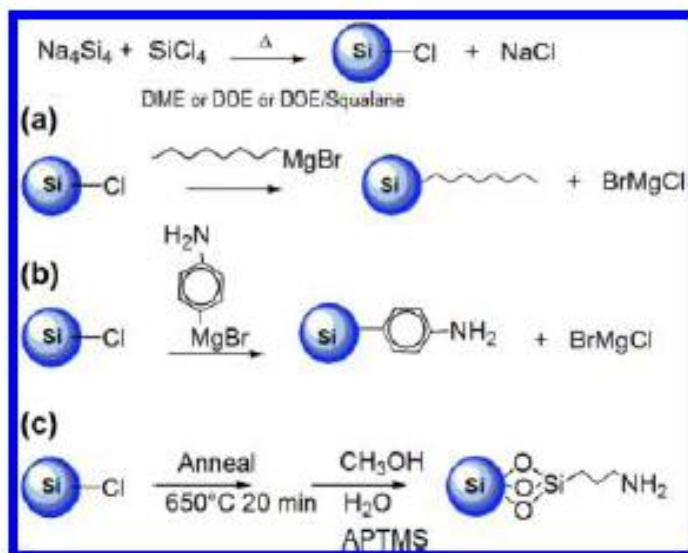


Gambar 20. Spektrum FTIR dari Si nanopartikel dengan BET yang berdiameter $d_p(\text{BET}) = 5 \text{ nm}$ yang didapat dari Jörg Knipping, dkk.

2.6 Tungsten Karbida Vial

Atkins, dkk. pada tahun 2013 membahas tentang amorf dan kristalin nanopartikel silika yang digunakan sebagai hiperpolarisasi magnetik resonansi *imaging* (MRI) yang mengkombinasikan Si NPs dengan reagen Grignard hasilnya dalam partikel dimana terpisah dengan ligan alkil dan aromatik. Metode tungsten karbida vial dilakukan dengan cara menggunakan Spex 8000 M ball mill dengan Spex tungsten karbida vial dan dua tungsten karbida balls (diameter $\sim 1 \text{ cm}$)

digunakan untuk mencampurkan NaH and Si. Skema sintesis untuk produksi Si NPS dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Skema sintesis yang digunakan untuk produksi Si NPS yang didapat dari Tonya M. Atkins, dkk.

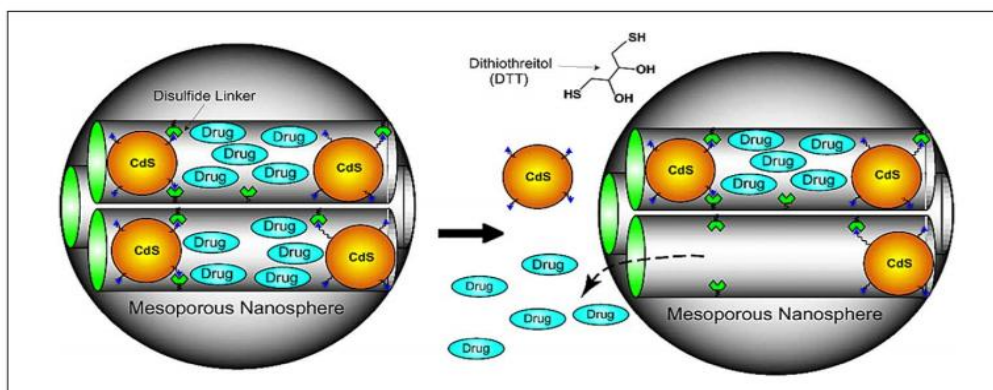
3. APLIKASI DALAM BIOMEDIS SEBAGAI BAHAN PEMBAWA OBAT (DRUG DELIVERY)

Banyak paper yang mempelajari perbedaan pembentukan *drug delivery*, dan sistem yang populer terdapat dalam Tabel 3. Sebagai peningkatan ukuran partikel, efisiensi dilakukan dengan pengurangan sel yang penjelasannya dapat dilihat pada Tabel 4. Kwon, dkk. pada tahun 2013 dalam papernya melakukan

kontrol terhadap *drug delivery* dengan menggunakan silika nanopartikel. Radin, dkk. dalam Sooyeon Kwon, dkk., menjelaskan tentang pelepasan kontrol bioaktif agen seperti anyibiotik, protein, dan faktor tumbuh. Untuk mencegah terlalu cepat dalam melepaskan, sistem *capping* dipakai dan menggunakan kadmium sulfida (CdS) terdapat pada Gambar 22 yang dijelaskan lebih detail lain waktu.

Tabel 3. Perbedaan tipe sistem *drug delivery* yang didapat dari Sooyeon Kwon, dkk.

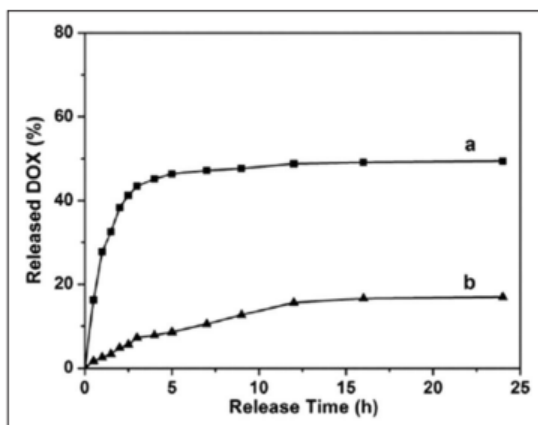
Diameter	Area permukaan	Volume pori	Ukuran pori
50-300 nm	>900 m ² /g	>0,9 cm ³ /g	2-6 nm
20-500 nm			2-6 nm
180 nm			
50-100 nm	>1000 m ² /g	~1 cm ³ /g	
	>700 m ² /g	>1 cm ³ /g	2-10 nm
55-440 nm	>800 m ² /g		2-10 nm
	>1000 m ² /g	~1 cm ³ /g	



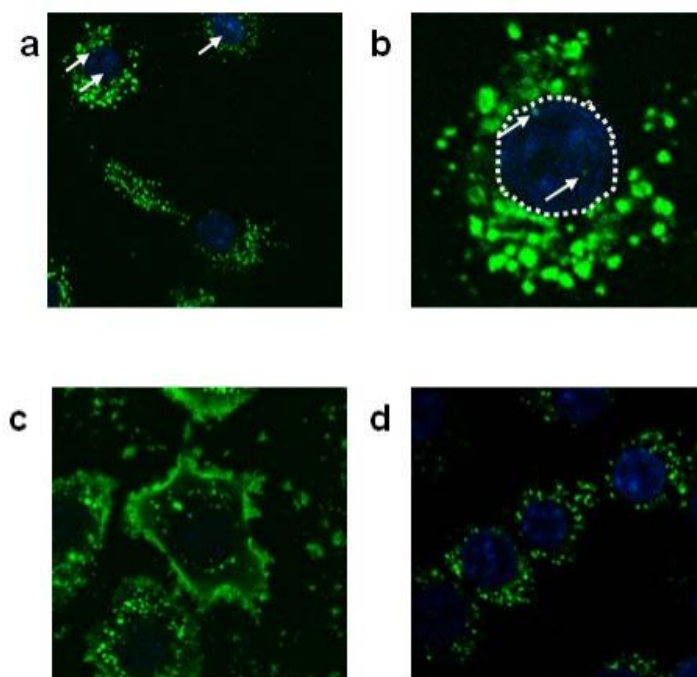
Gambar 22. MSN menunjukkan *capping* struktur yang digunakan untuk pelepasan terkontrol yang didapat dari Sooyeon Kwon, dkk.

Hasil dari uji fungsionalisasi permukaan mesopori silika nanopartikel yaitu dengan grafik hubungan release time (h) dengan released DOX (%) = media glutathione diperoleh 49.4% yang dapat dilihat pada Gambar 23. Hiromi Nabeshi, dkk. mempelajari efek permukaan dari silika nanopartikel pada sitotoksitas dan distribusi sel dalam *murine macrophages*. Dari

hasil TEM ditemukan lokalisasi dalam sitoplasma sebagai *punctate fluorescent dots* dengan tanpa memperhatikan modifikasi permukaan. Dilaporkan bahwa masuknya nanosilika ke nukleus gangguan induksi nukleus dan gentoksisitas via agregasi intranukleasi protein atau inhibitor RNA transkripsi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 24.




Gambar 23. Grafik yang menunjukkan pelepasan DOX dari DOX n MSN-PAA dalam (a) 2 mM media glutathione (b) tanpa media glutathione yang didapat dari Sooyeon Kwon, dkk.



Gambar 24. Lokalisasi tanpa modifikasi dan modifikasi nanosilika dalam sel RAW 264,7 (a, b) nSP70-N, (c) nSP70-C (d) (hijau) yang didapat dari Sooyeon Kwon, dkk.

Tabel 4. Sifat tekstural dari MSNs yang didapat dari Sooyeon Kwon, dkk.

Drug delivery system	Structure	Sifat kimia
Liposomes		Consists of hydrophobic tail and hydrophilic head group Forms closed vesicles with an aqueous core Internal aqueous domain between the lipid bilayers Encapsulation of drugs occurs either in the aqueous space or intercalated into the bilayer
Dendimers		Hyper branched and globular macromolecules Well defined core, backbone and multivalent periphery By hydrophobic and electrostatic interactions, incorporate biomolecules Convergent – endo-receptor, Divergent – exo-receptor
Carbon nano tubes		Rolling up a single layer of grapheme sheet – single walled Rolling up many layers to form concentric cylinders – multi-walled
Gold nanoparticles		Gold nanoparticle serves as core Photosensitive
Iron oxide nanoparticles		Superparamagnetic particles Need trigger to release biomolecules, for example, laser irradiation
Titanium dioxide Nanoparticles		Self-ordered Nano-tubular structure Photodynamic therapy
Silica nanoparticles		Mesoporous structure Honeycomb-like structure Active surface
Liposomes		Consists of hydrophobic tail and hydrophilic head group Forms closed vesicles with an aqueous core Internal aqueous domain between the lipid bilayers Encapsulation of drugs occurs either in the aqueous space or intercalated into the bilayer
Dendimers		Hyper branched and globular macromolecules Well defined core, backbone and multivalent periphery By hydrophobic and electrostatic interactions, incorporate biomolecules Convergent – endo-receptor Divergent – exo-receptor
Carbon nano tubes		Rolling up a single layer of grapheme sheet – single walled Rolling up many layers to form concentric cylinders – multi-walled
Gold nanoparticles		Gold nanoparticle serves as core Photosensitive
Iron oxide nanoparticles		Superparamagnetic particles Need trigger to release biomolecules, for example, laser irradiation
Titanium dioxide Nanoparticles		Self-ordered Nano-tubular structure Photodynamic therapy

Silica nanoparticles		Mesoporous structure Honeycomb-like structure Active surface
----------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------

4. KESIMPULAN

Silika nanopartikel dapat disintesis dengan berbagai macam metode seperti *liquid-phase*, *co-condensation*, *sol-gel*, pertukaran ion, metode dengan alat mikrowaf, tungsten *carbide vial*. Pembahasan aplikasi dalam paper ini pun lebih menyeluruh untuk biomedis.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Atkins, T. M.; Cassidy, M. C.; Lee, M.; Ganguly, S.; Marcus, C. M.; Kauzlarich, S. M., Synthesis of LongT1 Silicon Nanoparticles for Hyperpolarized ²⁹Si Magnetic Resonance Imaging: artikel, ATKINS, 2013, 7(2), 1609-1617.
- Camprottondi, D. E.; Foglia, M. L.; Alvarez, G. S.; Mebert, A. M.; Diaz, L. E.; Coradin, T.; Desmione, M. F., Antimicrobial properties of silica modified nanoparticles: artikel, Formatex, 2013, 1-8.
- Canton, G.; Ricco, R.; Marinello, F.; Carmignato, S.; Enrichi, F., Modified Stober synthesis of highly luminescent dye-doped silica nanoparticles: artikel, SPRINGER, 2011, 1-8.
- Cheng, T.; Tang, B.; Xu, A.; Chang, G.; Hu, Z.; He, W.; Xing, Z.; Xu, J.; Wang, M.; Wang, S., Promising plasmid DNA vector based on APTES- modified silica nanoparticles: artikel, Dovepress, 2012, 7, 1061-1067.
- Estevez, M. C.; O'Donoghue, M. B.; Chen, X.; Tan, W., Highly Fluorescent Dye-Doped Silica Nanoparticles Increase Flow Cytometry Sensitivity for Cancer Cell Monitoring: artikel, SPRINGER, 2009, 2, 448-461.
- Galliker, P.; Hommes, G.; Schlosser, D.; Corvini, P. F. X.; Shahgaldian, P., Laccase-modified silica nanoparticles efficiently catalyze the transformation of phenolic compounds: artikel, ELSEVIER, 2010, 349, 1-8.
- Ge, M.; Rong, J.; Fang, X.; Zhang, A.; Lu, Y.; Zhou, C., Scalable preparation of porous silicon nanoparticles and their application for lithium-ion battery anodes: artikel, SPRINGER, 2013, 6(3), 174-181.
- Guo, H.; Qian, H.; Sun, S.; Sun, D.; Yin, H.; Cai, X.; Liu, Z.; Wu, J.; Jiang, T.; Liu, Z., Hollow mesoporous silica nanoparticles for intracellular delivery of fluorescent dye: artikel, Chemistry Central Journal, 2011, 5(1), 1-10.
- Hagura, N.; Nandiyanto, A. B. D.; Iskandar, F.; Okuyama, K., A Role of Template Surface Charge in the Preparation of Porous and Hollow Particles Using Spray-drying: artikel, The Chemical Society of Japan, 2009, 38(11), 1-2.
- He, Wentao; Wu, D.; Li, J.; Zhang, K.; Xiang, Y.; Long, L.; Qin, S.; Yu, J.; Zhang, Q., Surface Modification of Colloidal Silica Nanoparticles: Controlling the size and Grafting Process: artikel, Bull. Korean Chem. Soc, 2013, 34(9), 1-6.
- Huang, X.; Teng, X.; Chen, D.; Tang, F.; He, J., The effect of the shape of mesoporous silica nanoparticles on cellular uptake and cell function : artikel, ELSEVIER, 2010, 438-448.
- Knipping, Jorg; Wiggers, H.; Rellinghaus, B.; Roth, Paul; Konjhodic, Denan; Meier, C., Synthesis of High Purity Silicon Nanoparticles in a Low Pressure Microwave Reactor: arikel, Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 2004, 4(8), 1-6.
- Kwon, Sooyeon; Singh, R. K.; Perez, R. A.; Neel, E. A. A.; Kim, H. W.; Chrzanowski, W., Silica-based mesoporous nanoparticles for controlled drug delivery: artikel, SAGE, 2013, 4, 1-18.
- Le, V. H.; Thuc, C. N. H.; Thuc, H. H., Synthesis of silica nanoparticles from Vietnamese rice husk by sol-gel method: artikel, Springer, 2013, 8(58), 1-10.
- Li, C.; Benicewicz, B. C., Synthesis of Well-Defined Polymer Brushes Grafted onto Silica Nanoparticles via Surface Reversible Addition-Fragmentation Chain Transfer Polymerization: artikel, American Chemical Society, 2005, 38, 5929-5936.
- Lin, Y. S.; Haynes, C. L., Synthesis and Characterization of Biocompatible and Size-Tunable Multifunctional Porous Silica Nanoparticles: artikel, American Chemical Society, 2009, 21, 3979-3986.
- Liu, Y.; Tourbin, M.; Lachaize, S.; Guiraud, P., Silica nanoparticles separation from water: Aggregation by cetyltrimethylammonium bromide (CTAB): artikel, Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO), 2013, 1-9.
- Lu, Fang; Wu, S.H.; Hung, Y.; Mou, C. Y., Size Effect on Cell Uptake in Well-Suspended, Uniform Mesoporous Silica Nanoparticles: artikel, Wiley Interscience, 2009, X, 1-6.
- Lu, J.; Liang, M.; Zink, J. I.; Tamanoi, F., Mesoporous Silica Nanoparticles as a Delivery System for Hydrophobic Anticancer Drugs: artikel, WILEY, 2007, 8, 1341-1346.
- Nabeshi, H.; Yoshikawa, T.; Arimori, A.; Yoshida, T.; Tochigi, S.; Hirai, T.; Akase, T.; Nagano, K.; Abe, Y.; Kamada, H.; Tsunoda, S. I.; Itoh, N.; Yoshioka, Y.; Tsutsumi, Y., Effect of surface properties of silica nanoparticles on their cytotoxicity and cellular distribution in murine macrophages: artikel, Springer, 2011, 6(93), 1-6.
- Nandiyanto, A. B. D.; Akane, Y.; Ogi, T.; Okuyama, K., Mesopore-Free Hollow Silica Particles with Controllable Diameter and Shell Thickness via Additive-Free Synthesis: artikel, LANGMUIR,

- 2012, 28, 8616-8624.
- Nandiyanto, A. B. D.; Hagura, N.; Iskandar, F.; Okuyama, K., Design of a highly ordered and uniform porous structure with multisized pores in film and particle forms using a template-driven self-assembly technique: artikel, ELSEVIER, 2010, 282-289.
- Nandiyanto, A. B. D.; Iskandar, F.; Okuyama, K., Nanosized Polymer Particle-facilitated Preparation of Mesoporous Silica Particles Using a Spray Method: artikel, The Chemical Society of Japan, 2008, 37(10), 1-2.
- Nandiyanto, A. B. D.; Kim, S. G.; Iskandar, F.; Okuyama, K., Synthesis of spherical mesoporous silica nanoparticles with nanometer-size controllable pores and outer diameters: artikel, ELSEVIER, 2009, 447-453.
- Nandiyanto, A. B. D.; Ogi, T.; Iskandar, F.; Okuyama, K., Highly ordered porous monolayer generation by dual-speed spin-coating with colloidal templates: artikel, ELSEVIER, 2011, 409-415.
- Nandiyanto, A. B. D.; Suhendi, A.; Arutanti, O.; Ogi, T.; Okuyama, K., Influences of Surface Charge, Size, and Concentration of Colloidal Nanoparticles on Fabrication of Self-Organized Porous Silica in Film and Particle Forms: artikel, LANGMUIR, 2013, 29, 6262-6270.
- Nandiyanto, A. B. D.; Suhendi, A.; Ogi, T.; Umemoto, R.; Okuyama, K., Size- and charge-controllable polystyrene spheres for templates in the preparation of porous silica particles with tunable internal hole configurations: artikel, ELSEVIER, 2014, 421-430.
- Singh, L. P.; Agarwal, S. K.; Bhattacharyya, S. K.; Sharma, U.; Ahalawat, S., Preparation of Silica Nanoparticles and Its Beneficial Role in Cementitious Materials: artikel, INTECH, 2011, 1(1), 44-51.
- Singho, N. D.; Johan, M. R., Complex Impedance Spectroscopy Study of Silica Nanoparticles Via Sol-Gel Method: artikel, International Journal of ELECTROCHEMICAL Science, 2012, 5604-5615.
- Suhendi, A.; Nandiyanto, A. B. D.; Ogi, T.; Okuyama, K., Agglomeration-free core-shell polystyrene/silica particles preparation using an electrospray method and additive-free cationic polystyrene core: artikel, ELSEVIER, 2013, 161-164.
- Suteewong, T.; Sai, H.; Lee, J.; Bradbury, M.; Hyeon, T.; Gruner, S.M.; Wiesner, U., Ordered mesoporous silica nanoparticles with and without embedded iron oxide nanoparticles: structure evolution during synthesis: artikel, Journal of Materials Chemistry, 2010, 1-8.
- Yuan, Huihui; Gao, Feng; Zhang, Z.; Miao, L.; Yu, R.; Zhao, H.; Lan, M., Study on Controllable Preparation of Silica Nanoparticles with Multi-sizes and Their Size-dependent Cytotoxicity in Pheochromocytoma Cells and Human Embryonic Kidney Cells: artikel, Journal of Health Science, 2010, 56, 1-9.
- Yusuf, Surtatie; Manan, Muhammad; Jaafar, M. Z., Aqueous Foams Stabilized by Hydrophilic Silica Nanoparticles via In-Situ Physisorption of Nonionic TX100 Surfactant: artikel, Iranica Journal of Energy & Environment, 2013, 4(1), 1-9.
- Zulhijah, R.; Nandiyanto, A. B. D.; Ogi, T.; Iwaki, T.; Nakamura, K.; Okuyama, K., Gas phase preparation of spherical core-shell α -Fe₁₆N₂/SiO₂ magnetic nanoparticles: artikel, The Royal Society of Chemistry, 2014, 6, 6487-6491.