

Kajian Karakterisasi Nanosilika dari Tetraethylorthosilicate (TEOS) dengan Penambahan Polivinil Alkohol (PVA) Menggunakan Scanning Electron Microscopy dan Particle Size Analyzer

Dwi Rasy Mujiyanti^{1,2)*}, Meirina Dwi Surianthy²⁾, Ahmad Budi Junaidi¹⁾

1) Program Studi Kimia FMIPA Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, 70714, Indonesia

2) Laboratorium Anorganik, Laboratorium FMIPA Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, 70714, Indonesia

Email korespondensi : drmujiyanti@ulm.ac.id

DOI: <https://doi.org/.10.20527/flux.v16i2.5613>

Submitted: 10 Desember 2018; Accepted: 25 Juni 2019

ABSTRACT–Nanosilica (NS) was synthesized using the sol-gel method, with tetraethylorthosilicate (TEOS) as a precursor, ammonia (NH₃) as a base catalyst, water as hydrolysis and ethanol as solvent. Polyvinyl alcohol is added to the sol solution, acting as a capping agent. The purpose of this study was to determine the average particle size, morphology and nanosilica particle size distribution of TEOS by adding variations in the concentration of PVA and without the addition of variations in the concentration of PVA. The particle size and particle morphology were analyzed using Scanning Electron Microscopy (SEM). The distribution of NS particles was analyzed using Particle Size Analyzer (PSA). The average size of control NS particles (55.55 μm), NS + PVA 5% (39.22 μm), NS + PVA 10% (41.13 μm), and NS + PVA 15% (40.26 μm). The morphology obtained is shaped like amorphous. The narrow particle size distribution is NS + PVA 5%, compared to other samples.

KEYWORDS : nanosilica; PVA; sol-gel method; TEOS

PENDAHULUAN

Nanoteknologi saat ini begitu pesat berkembang di semua bidang ilmu pengetahuan dan teknologi seperti elektronik, penerbangan, pertahanan, kedokteran, dan kesehatan. Hal tersebut berkaitan dengan model, sintesis, karakterisasi, serta aplikasi material dan peralatan dalam skala nanometer. Nanosilika (NS) mewakili salah satu dari nanomaterial yang memiliki beberapa kekhasan diantaranya: (1) mudah dalam preparasi melalui reaksi hidrolisis-kondensasi dari prekursor seperti tetraethylorthosilicate (TEOS) dengan menggunakan katalis asam atau basa, (2) memungkinkan dimodifikasi permukaan dengan variasi senyawa organosilikon (Ardiansyah, 2015), (3) silika (SiO₂) memiliki kestabilan yang bagus, inert secara kimia, bersifat biokompatibel yang mampu bekerja

selaras dengan sistem kerja tubuh, dan membentuk sperik tunggal (Yuan et al., 2010).

Metode sol-gel telah banyak digunakan untuk pembuatan nanopartikel karena memiliki beberapa keunggulan seperti sintesis dapat dilakukan pada suhu rendah, menghasilkan kemurnian tinggi dan juga kinetika reaksi proses dapat dikontrol dengan memvariasikan komposisi dari campuran reaksi (Singh et al., 2011). Pembuatan silika gel melalui proses sol-gel melibatkan proses hidrolisis dan kondensasi dari turunan alkoksil silikon seperti tetraetil ortosilikat (TEOS) dan tetrametil ortosilikat (TMOS) (Nuryono & Narsito, 2005).

Beberapa peneliti melaporkan bahwa telah berhasil mensintesis NS menggunakan metoda sol-gel, dimana konsentrasi dari prekursor (TEOS) dan katalis (amonia, NH₃)

berperan penting terhadap pembentukan material dalam skala nano. Budiharti (2015) mensintesis nanosilika dengan bahan TEOS sebagai prekursor, NH_3 sebagai katalis dan akuades sebagai pelarut, menggunakan metode sol-gel. Hasil penelitian menunjukkan ukuran partikel pada silika gel dengan konsentrasi TEOS 2,34 M (216,9–291,9 nm), TEOS 1,86 M (110,3–145,3 nm) dan TEOS 1,10 M (34,4–67,1 nm). Ibrahim, Zikry, & Sharaf (2010) mensintesis NS menggunakan TEOS dengan katalis NH_3 , ukuran partikel silika pada konsentrasi TEOS 0,2 M (50 nm) dan TEOS 0,4 M (65 nm). Ukuran partikel silika dengan konsentrasi NH_3 0,11 M (55 nm) dan NH_3 0,3 M (130 nm). Ardiansyah (2015) melaporkan bahwa rasio molar NH_3/TEOS 0,03; 0,20; dan 0,40 menghasilkan serbuk dengan ukuran 13,36; 15,01; dan 50,00 nm. Semakin besar konsentrasi prekursor dan konsentrasi katalis, maka akan menghasilkan ukuran partikel yang semakin besar, disebabkan semakin cepatnya reaksi hidrolisis dan kondensasi yang berlangsung.

Sintesis yang dilakukan oleh Budiharti (2015) menghasilkan permukaan sampel yang tidak merata dan terdiri dari gumpalan-gumpalan (cluster), yang mengindikasikan adanya ukuran butir yang cukup beragam dengan distribusi yang tidak merata pada permukaan sampel silika. Hal tersebut disebabkan adanya perbedaan konsentrasi TEOS yang memengaruhi kecepatan proses hidrolisis dan kondensasi. Sehingga waktu aging yang ditempuh memiliki perbedaan pada masing-masing konsentrasi TEOS. Hal ini menyebabkan ukuran butir silika beragam dan terdapat ukuran gumpalan-gumpalan yang lebih besar dari 100 nm.

Penelitian Ardiansyah (2015) pada NS dengan molar rasio NH_3/TEOS 0,20 dilakukan penambahan PVA dengan perbandingan untuk 100 mL larutan campuran silika:PVA adalah 20:80, dihasilkan NS dengan ukuran partikel sebesar 18,63 nm. Secara umum, penambahan PVA digunakan untuk meningkatkan daya ikat silika (Pirzada et al., 2012), PVA merupakan agen stabilisator yang efektif dan dapat mencegah aglomerasi nanopartikel silika karena PVA yang

cenderung bermuatan negatif teradsorpsi oleh nano partikel silika, sehingga menimbulkan gaya tolak-menolak diantara partikel silika (Handaya, Laksmo, & Haryanto, 2011).

Berdasarkan latar belakang di atas sintesis NS dari TEOS dengan katalis NH_3 (dengan berbagai variasi) masih dihasilkan ukuran NS yang belum seragam, maka dari itu penelitian ini ditambahkan suatu zat yang dapat membentuk dan mengontrol ukuran partikel dalam proses sol-gel yaitu PVA dengan berbagai variasi untuk mengetahui perbandingan larutan campuran silika:PVA yang menghasilkan ukuran NS yang seragam dan mengkarakterisasi dengan peralatan scanning electron microscope (SEM), dan particle size analyzer (PSA) agar diketahui pengaruh variasi konsentrasi PVA terhadap ukuran rata-rata partikel, morfologi dan distribusi partikel.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Dasar Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru, sedangkan analisis sampel dilakukan di Laboratorium FMIPA Institut Teknologi Bandung (SEM) dan Laboratorium Fisika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (PSA).

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi gelas piala, erlenmeyer, piper volume, pipet mohr, pipet tetes, magnetic stirrer, termometer, statif, gelas ukur, kaca arloji, neraca analitik (OHAUS Galaxy 400), oven (Carbolite), hot plate (Cimarec), desikator, furnace, Scanning Elektron Microscope (SEM) (JCM-6000), dan PSA tipe Zetasizer Ver. 7.01 (Malvern Instrument Ltd., Grovewood, Worcestershire, UK).

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Tetraethylorthosilicate (TEOS) (Merck), amonia (NH_3) (Merck), etanol (Merck), polivinil alkohol (PVA) (aldrich), dan akuades.

Sintesis Partikel Silika dengan Metode Sol-gel

Sintesis partikel silika dengan metode

sol-gel menggunakan larutan TEOS sebanyak 29 mL, air 10 mL dan etanol sebanyak 61 mL dicampur dalam erlenmeyer. Campuran tersebut diaduk menggunakan *stirrer* dengan pemanasan dijaga konstan pada temperatur 50 °C selama 5 jam. Penambahan amonia 0,20 M (36 mL) dilakukan secara berkala tetes demi tetes sampai habis dalam waktu 5 jam. Cairan diuapkan pada oven dengan temperatur 70 °C selama 48 jam. Kristal yang terbentuk didinginkan dalam desikator sebelum dikalsinasi pada furnace. Kristal digerus terlebih dahulu sampai halus, kemudian dikalsinasi dalam furnace pada temperatur 600 °C selama 2 jam sehingga dihasilkan serbuk yang halus. Serbuk yang telah terbentuk disimpan di dalam desikator (Ardiansyah, 2015) sebelum dikarakterisasi dengan SEM dan PSA.

Sebanyak 10 gram PVA ditambahkan ke dalam 100 mL akuades, kemudian dipanaskan pada suhu 80 °C sambil diaduk sampai homogen ±15 menit. Larutan PVA 10% tersebut didinginkan terlebih dahulu sebelum digunakan (Sagita, 2014). Prosedur yang sama dilakukan untuk membuat larutan PVA 5% (5 gram PVA dalam 100 mL akuades) dan 15% (15 gram PVA dalam 100 mL akuades).

Sintesis NS dengan Penambahan PVA

Sintesis NS dilakukan dengan penambahan PVA pada saat larutan telah membentuk sol dengan perbandingan antara PVA dengan sol silika adalah 80:20, campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Larutan PVA yang digunakan mempunyai variasi konsentrasi yaitu 5%, 10%, dan 15% b/v. Campuran larutan kemudian diuapkan dalam oven dengan temperatur 70 °C selama 48 jam. Kristal yang terbentuk didinginkan dalam desikator sebelum dikalsinasi pada furnace. Kristal dihaluskan terlebih dahulu, kemudian dikalsinasi pada temperatur 600 °C selama 2 jam sehingga dihasilkan serbuk yang halus. Serbuk yang telah terbentuk disimpan di dalam desikator (Ardiansyah, 2015) sebelum dikarakterisasi SEM dan PSA.

Karakterisasi

Scanning Electron Microscope (SEM)

Karakterisasi SEM dilakukan

menggunakan tipe SEM JCM-6000. Sampel yang digunakan berupa serbuk. Sedikit sampel diambil untuk dikarakterisasi, sebelumnya sampel di coating dengan emas-paladium. Selanjutnya sampel siap dikarakterisasi dengan perbesaran 20.000x dan 40.000x.

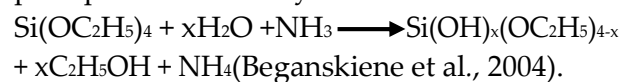
Particle Size Analyzer (PSA)

Karakterisasi menggunakan PSA tipe Zetasizer Ver. 7.01 (Malvern Instrument Ltd., Grovewood, Worcestershire, UK) yang menggunakan teknik Dynamic Light Scattering (DLS) digunakan untuk menganalisis ukuran partikel dan distribusi NS dalam larutan (Wahyudi, 2015). Sampel NS yang telah dilarutkan dalam akuades ditempatkan ke dalam kuvet untuk selanjutnya dikarakterisasi (Meliana, 2015).

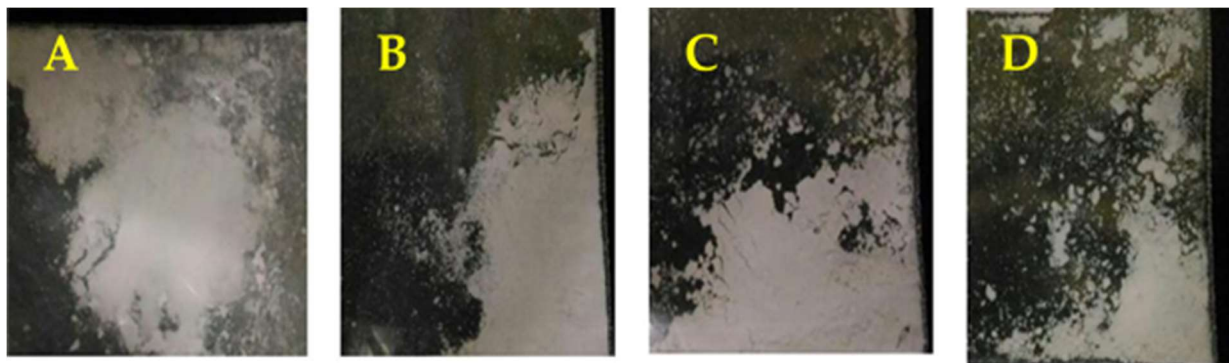
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Sintesis NS dengan Metode Sol-Gel

Metode yang digunakan dalam mensintesis NS adalah metode sol-gel. Metode sol-gel ada empat tahapan, yaitu hidrolisis, kondensasi, pematangan, dan pengeringan. Tahapan pertama yaitu hidrolisis, dimana pada proses hidrolisis logam prekursor (alkoksida) dilarutkan dalam alkohol dan terhidrolisis dengan penambahan air pada kondisi asam, basa atau netral menghasilkan sol koloid (Ibrahim, Zikry, & Sharaf, 2010). Larutan TEOS digunakan sebagai prekursor dalam mensintesis NS. Air berfungsi sebagai penghidrolisis, etanol berfungsi sebagai pelarut, dan amonia berfungsi sebagai katalis basa. Adapun, reaksi yang terjadi pada proses hidrolisis yaitu:



Pada saat reaksi hidrolisis berlangsung, gugus etoksi (-OC₂H₅) pada TEOS akan digantikan oleh gugus-gugus hidroksil (-OH). Kecepatan hidrolisis tergantung pada konsentrasi TEOS, H₂O dan NH₃. Peningkatan konsentrasi NH₃ di dalam sistem, maka molekul H₂O akan mengalami disosiasi, sehingga ion OH⁻ mudah menyerang atom Si (Beganskiene et al., 2004). Ion OH⁻ (dari H₂O) akan menggantikan gugus etoksi pada TEOS, sedangkan ion H⁺ akan membentuk ikatan kovalen koordinasi dengan NH₃, sehingga



Gambar 3 Serbuk hasil setelah difurnace: (A) NS kontrol, (B) NS+PVA 5%, (C) NS+PVA 10%, (D) NS+PVA 15%

Gambar 2 merupakan interaksi yang terjadi antara PVA dengan silika, PVA akan berikatan dengan silika. Nanosilika akan terbungkus (*capping*) agar tidak saling menggumpal. Gugus OH pada silika membentuk ikatan dengan gugus OH PVA. Setelah proses kalsinasi ikatan antara PVA dan silika akan lepas, PVA akan hilang terkalsinasi, kemudian serbuk yang tersisa hanya serbuk silika tanpa PVA.

Tabel 1 Hasil data SEM

Nama Sampel	Luas Area Rata-Rata (μm)	Diameter Rata-Rata (μm)
NS Kontrol	3218,38	55,55
NS+PVA 5%	1721,76	39,22
NS+PVA 10%	1819,88	41,13
NS+PVA 15%	1770,66	40,26

Berdasarkan Gambar (3A) serbuk yang dihasilkan berwarna putih. Gambar (3B) sampel dengan penambahan PVA 5% menghasilkan serbuk berwarna abu-abu, tetapi intensitas warna abu-abunya masih rendah, Gambar (3C) dengan penambahan PVA 10% warna serbuk yang dihasilkan semakin abu-abu, sedangkan Gambar (3D) dengan penambahan PVA 15% warna abu-abu semakin pekat. Menurut Sukmawati et al. (2015), peningkatan konsentrasi PVA dapat meningkatkan jumlah PVA yang menempel di permukaan partikel.

Analisis Ukuran Partikel dan Morfologi Partikel

Ukuran partikel dan morfologi partikel dianalisis menggunakan *Scanning Electron*

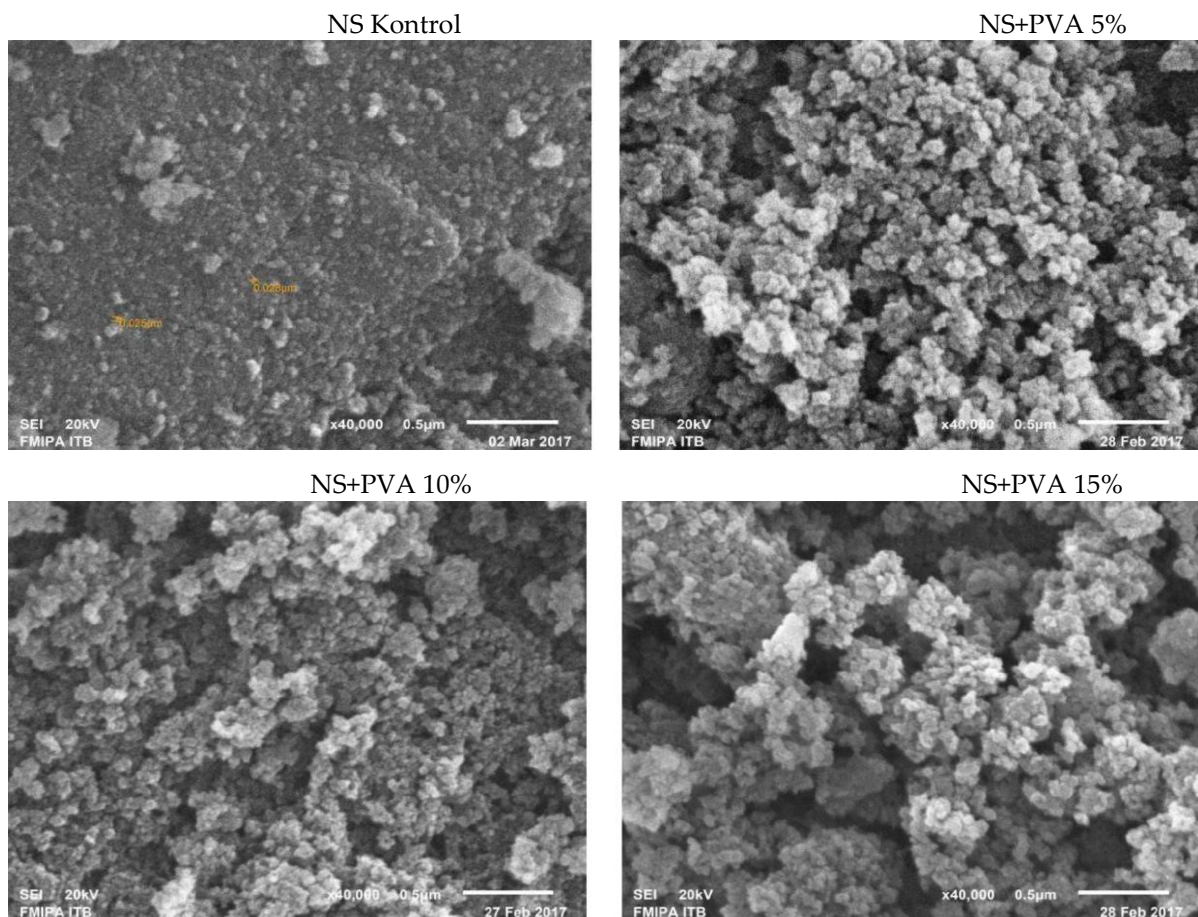
Microscopy (SEM). Hasil foto karakterisasi SEM berupa gambar selanjutnya diolah menggunakan *software ImageJ* sehingga dapat diketahui luas area partikel.

Gambar 4 terlihat morfologi partikel yang diperoleh tidak beraturan (amorf) dan masih terjadi aglomerasi (penggumpalan) artinya antar partikel satu dengan lainnya belum benar-benar terpisah. Oleh karena itu, permukaan partikel tampak saling berikatan dan tidak beraturan.

Analisis Distribusi Ukuran

Distribusi ukuran didapatkan dari data hasil karakterisasi menggunakan PSA. Sampel NS yang dikarakterisasi berupa serbuk. Sampel serbuk sebelum dilakukan karakterisasi PSA didispersikan dengan air (viskositas 0,8872 cP (centiPoise) pada temperatur 25 °C).

Data Tabel 2 memperlihatkan hasil ukuran, intensitas, ukuran rata-rata dan standar deviasi dari sampel NS dan NS dengan penambahan variasi PVA. Hasil ukuran rata-rata partikel dari SEM lebih kecil dibandingkan hasil ukuran rata-rata partikel dari PSA. Hasil ukuran rata-rata partikel dari SEM yaitu NS kontrol (55,55 μm), NS+PVA 5% (39,22 μm), NS+PVA 10% (41,13 μm), dan NS+PVA 15% (40,26 μm). Hasil ukuran rata-rata partikel PSA lebih besar dari SEM, ini disebabkan waktu dari ultrasonikasi preparasi sampel (mendispersikan sampel serbuk dalam air) hanya sebentar (1 jam), karena menurut penelitian Nikmatin, Purwanto, & Maddu (2012) lamanya waktu ultrasonikasi berpengaruh terhadap ukuran partikel.



Gambar 4 Hasil karakterisasi SEM sampel NS dengan variasi PVA dengan perbesaran 40.000x

Tabel 2. Data hasil karakterisasi PSA

No	Sampel	Ukuran (nm)	Intensitas (%)	Ukuran rata-rata (nm)	Standar deviasi (nm)
1.	NS Kontrol	190,14	40,9	207,90	14,78
		220,20	59,1		
2.	NS+PVA 5%	78,82	42,6	85,97	6,16
		91,28	57,4		
3.	NS+PVA 10%	190,14	58,6	291,90	14,81
		220,20	41,4		
		295,31	19,8		
4.	NS+PVA 15%	341,99	54,4	346,70	34,10
		396,06	25,8		

Semakin meningkatnya waktu ultrasonikasi ukuran partikel semakin kecil. Selain itu, pengukuran dengan PSA menggunakan medium dispersi air. Saat pengukuran peluang partikel-partikel kecil menyatu sangat besar. Sehingga ukuran partikel yang didapatkan lebih besar dari yang diharapkan karena adanya aglomerasi.

Menurut Jarvenin (2013), aglomerasi menjelaskan kecenderungan partikel kecil di

dalam larutan suspensi untuk bergabung satu sama lain menjadi agregat yang lebih besar. Hukum Ostwald mengenai kecenderungan pembentukan partikel besar (sekunder) dari partikel kecil (primer) setelah terjadi nukleasi dan pertumbuhan partikel primer. Proses aglomerasi akan berhenti ketika kestabilan partikel sekunder sudah dicapai. Melalui proses aglomerasi ini ukuran partikel yang dihasilkan akan semakin membesar (partikel

sekunder). Partikel sekunder inilah yang akan terbaca ukurannya oleh PSA.

Standar deviasi menunjukkan ketelitian dari metode yang diperiksa. Menurut Afos, Suyani, & Deswati (2014) nilai standar deviasi yang rendah menunjukkan ketelitian yang tinggi. Standar deviasi juga berhubungan dengan distribusi ukuran, semakin kecil nilai standar deviasi maka semakin sempit distribusi ukuran partikel tersebut.

Berdasarkan Tabel 2, sampel NS+PVA 5% memiliki standar deviasi yang kecil dibandingkan dengan sampel yang lain. Sehingga dapat disimpulkan sampel NS+PVA 5% memiliki ketelitian yang tinggi dan distribusi ukuran lebih kecil dibandingkan sampel yang lainnya.

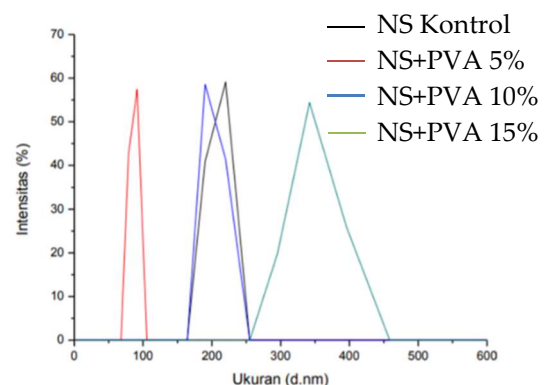
Tabel 3 Data hasil indeks polidispersitas (PdI)

No.	Sampel	PdI
1.	NS Kontrol	1,000
2.	NS+PVA 5%	0,920
3.	NS+PVA 10%	1,000
4.	NS+PVA 15%	1,000

Data Tabel 3 menunjukkan indeks polidispersitas (PdI) keempat sampel. Indeks polidispersitas menunjukkan tingkat kepercayaan terhadap ukuran partikel yang terdispersi pada koloid nanopartikel perak. Nilai indeks polidispersitas semakin kecil, maka tingkat kepercayaan distribusi ukuran partikel pada koloid nanopartikel semakin baik (Saputra et al., 2010). Berdasarkan tabel 5 nilai PdI terkecil adalah NS+PVA 5% (0,920), itu artinya NS+PVA 5% memiliki distribusi ukuran partikel yang sempit dibandingkan sampel yang lain dengan nilai PdI NS Kontrol (1,000), NS+PVA 10% (1,000), NS+PVA 15% (1,000). Hal ini berkesesuaian dengan nilai standar deviasi dari NS+PVA 5% yang menunjukkan bahwa sampel NS+PVA 5% memiliki distribusi ukuran yang sempit.

Kurva distribusi atau peak distribusi ukuran partikel berkaitan dengan PdI, semakin lebar kurva mengindikasikan nilai PdI semakin besar. NS+PVA 5% memiliki nilai PdI 0,920 lebih kecil (walaupun tidak begitu

signifikan) dibandingkan ketiga sampel lainnya yang memiliki nilai PdI sama-sama 1,000. Berdasarkan gambar 12, NS+PVA 15% (peak berwarna hijau) memiliki peak lebih lebar dibandingkan sampel yang lain, itu artinya sampel NS+PVA 15% memiliki distribusi ukuran yang lebar. Sampel NS+PVA 15% juga terletak pada ukuran 250 nm – 450 nm, ukuran yang lebih besar dibandingkan sampel yang lainnya. Sedangkan sampel NS+PVA 5% (peak berwarna merah) memiliki peak yang lebih sempit, itu artinya sampel NS+PVA 5% memiliki distribusi ukuran yang sempit dan ukuran berkisar pada 50 nm – 100 nm. Nilai PdI dan nilai standar deviasi berbanding lurus dengan kurva distribusi partikel. Semakin kecil nilai PdI dan nilai standar deviasi maka kurva dari distribusi partikel semakin sempit.



Gambar 5. Hasil karakterisasi PSA sampel NS Kontrol dan NS dengan penambahan variasi PVA

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan PVA sebagai *capping agent* berpengaruh terhadap ukuran dan distribusi partikel.
2. Ukuran rata-rata partikel NS Kontrol (55,55 nm), NS+PVA 5% (39,22 nm), NS+PVA 10% (41,13 nm), dan NS+PVA 15% (40,26 nm). Morfologi NS kontrol dan dengan penambahan variasi PVA seperti *amorf*.
3. Distribusi partikel NS+PVA 5% lebih sempit dibandingkan sampel yang lain.

4. Sampel nS+PVA 5% memiliki ukuran rata-rata lebih kecil dan distribusi ukuran yang sempit dari sampel yang lain, sehingga sampel nS+PVA 5% terbaik dari sampel yang lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Dana Penelitian DIPA PBNP 2017 FMIPA Universitas Lambung Mangkurat dan Laboratorium Anorganik, Laboratorium Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) ULM Banjarbaru atas fasilitas selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Afos, F. T., Suyani, H., & Deswati. (2014). Optimasi Penentuan Fe(III), Co(II) DAN Cr(III) Secara Simultan Dengan Voltametri Striping Adsorptif (AdSV) Menggunakan Kalkon Sebagai Pengompleks. *Jurnal Kimia Unand* 3(4):1-9.
- Ardiansyah, A. (2015). Sintesis Nanosilika Dengan Metode Sol-Gel dan Uji Hidrofobitasnya Pada Cat Akrilik. *Skripsi Jurusan Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang*.
- Beganskiene, A., Sirutkaitis, V., Kurtinaitiene, M., Juskenas, R., & Kareiva, A. (2004). FT-IR, TEM and NMR Investigations of Ströber Silica Nanoparticles. *Material Science (Medziagotyra)*, 10(4), 287-290.
- Bryaskova, R., Pencheva, D., Kale, G. M., Lad, U., & Kantardjiev, T. (2010). Synthesis, Characterisation and Antibacterial Activity of PVA/TEOS/Ag-Np Hybrid Thin Films. *Journal of Colloid and Interface Science*, 349, 77-85.
- Budiharti, G. (2015). Sintesis Nanopartikel Silika Menggunakan Metode Sol-Gel. Program Studi Fisika, FMIPA, Unesa. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 4(3), 22-25.
- Handaya A., Laksmono, J. A., & Haryanto, A. (2011). Preparasi Koloid Nanosilver Menggunakan Stabilizer Polivinil Alkohol dan Aplikasinya Sebagai Antibakteri pada Bakteri *S. aureus* dan *E. coli*. *Jurnal Kimia Indonesia*, 12(3), 202-208.
- Ibrahim, I. A. M., Zikry, A. A. F., & Sharaf, M. A. (2010). Preparation of Spherical silica Nanoparticles: Ströber Silica. *Journal of American Science*, 6(11), 985-989.
- Jarvenin G. (2013). *Precipitation and crystallization processes*. Los Alamos National Laboratory.
- Meliyana, L. (2015). Preparasi Katalis CaO/SiO₂ dari CaCO₃ dan Sekam Padi dengan Metode Sol Gel untuk Pengolahan Minyak Nabati Menjadi Biodiesel. *Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung*.
- Nikmatin, S., Purwanto, S., & Maddu, A. (2012). Analisis Struktur Selulosa Kulit Rotan Sebagai Filler Bionanokomposit Dengan Difraksi Sinar-X. *Jurnal Sains Materi Indonesia Indonesian Journal of Materials Science*, 13(2), 97-102.
- Nuryono & Narsito. (2005). Pengaruh Konsentrasi Asam Terhadap Karakter Silica Gel Hasil Sintesis Dari Natrium Silikat. *Indo. J. Chem*, 5(1), 23-30.
- Pirzada, T., Arvidson, S. A., Saqing, C. D. Shah, S. S., & Khan, S. A. (2012). Hybrid Silica-PVA Nanofibers via Sol-Gel Electrospinning. *Langmuir*, 28(13), 5834-5844.
- Sagita, G. E. (2014). Pengaruh Penambahan Silika Gel Dal Poli(Vinil Alkohol) Terhadap Kemampuan Beads Kitosan Terikat-Silang Glutaraldehida Dalam Mengabsorpsi Asam Humat. *Skripsi. Jurusan Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru*.
- Singh, L. P., Agarwal, S. K. Bhattacharyya, S. K., Sharma, U., & Ahalawat, S. (2011). Preparation of Silica Nanoparticles and Its Beneficial Role in Cementitious Materials. *Nanomater Nanotechno*, 1(1), 44-51.
- Sukmawati, A., Yuliani, R., Wahyuni, A. S., & Lisdayani. (2015). Formulasi Dan

Evaluasi Mikropartikel Dexamethasone Lepas Lambat Dengan Matriks Ethyl Cellulose (EC). Fakultas Farmasi, Universitas Muhammadiyah Surakarta. University Research Colloquium.

Wahyudi, A. (2015). Kajian Sintesis Nanopartikel Perak Pada Komposit Kitosan Dan Polietilena Glikol : Efek Jenis Agen Pereduksi Organik. *Skripsi*. Jurusan Kimia Fakultas Matematika Dan

Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lambung Mangkurat: Banjarbaru.

Yuan, H., Gao, F., Zhang, Z., Miao, L., Yu, R., Zhao, H., & Lan, M. (2010). Study of Controllable Preparation of Silica Nanoparticles with Multi-sized and Their Size-dependent Cytotoxicity in Pheochromocytoma Cells and Human Embryonic Kidney Cells. *Journal of Health Science*, 56(6), 632-640.