



Pemanfaatan *Silica Scalling* Energi Panas Bumi Menjadi Nanosilika Bernilai Jual Tinggi

Gebby Febrilia Irwanda, Serlina, Yoga Ramadi Gusti, Syukri Arief*

*Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand, Limau Manis, Padang, 25163
e-mail korespondensi: syukriarief@gmail.com

Abstract. *Nanosilica has often used in many sectors, such as medical, biology, pharmacy, agriculture, ceramics, paints, films, electronics, etc. Silica scalling from geothermal solid waste is one of natural silica precursor that contain a lot of amorphous silica (~99% SiO₂). The purpose of this study is to synthesize nanoparticle silica from geothermal solid waste following the sol-gel method. This was conducted by reacting silica waste with NaOH 1.5 N and subsequently the addition of diethanolamine (DEA) which is a nonionic surfactant to control the size of particles. Then 2N HCl solution was added to form a gel at pH 10 with an ageing time of 18 hours. The synthesized silica was then calcined at temperatures of 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C and 900°C for 2 hours to see the change from the amorphous phase to crystalline. After that, it was characterized by Fourier Transform Infra Red (FTIR) which showed that silanol and siloxane groups were prominent and the results of X-Ray Diffractometer (XRD) analysis which showed a phase change of cristobalite at 800°C and 900°C.*

Keyword: *nanosilica; sol-gel method; calcination; temperature variation*

Abstrak. Nanosilika telah banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang seperti pada dunia medis, biologi, farmasi, pertanian, keramik, cat, film, elektronik, dll. Silika scalling dari limbah padat geothermal merupakan salah satu prekursor silika alami yang banyak mengandung silika amorf (~99% SiO₂). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mensintesis nanopartikel silika dari limbah padat geothermal dengan metode sol-gel. Hal ini dilakukan dengan mereaksikan limbah silika dengan NaOH 1,5 N kemudian ditambahkan diethanolamine (DEA) yang merupakan surfaktan nonionik untuk mengontrol ukuran partikel. Selanjutnya ditambahkan larutan HCl 2N hingga terbentuk gel pada pH 10 dengan waktu aging 18 jam. Silika hasil sintesis kemudian dikalsinasikan pada suhu 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C dan 900°C selama 2 jam untuk melihat perubahan dari fasa amorf menjadi kristal. Setelah itu dikarakterisasi dengan Fourier Transform Infra Red (FTIR) yang menunjukkan adanya gugus silanol dan siloxane yang menonjol dan hasil analisis X-Ray Diffractometer (XRD) yang menunjukkan terjadi perubahan fasa cristobalite pada temperature 800°C dan 900°C.

Kata kunci: nanosilika; metoda sol-gel; kalsinasi; variasi temperatur

PENDAHULUAN

Saat ini seiring dengan meningkatnya populasi, kebutuhan akan energi pun juga semakin meningkat. Salah satu sumber energi yang digunakan oleh manusia yaitu berasal dari bahan bakar fosil yang ketersediaannya seiring berjalannya waktu juga semakin menipis. Maka dari itu dilakukan terobosan baru dengan menggunakan energi alternatif seperti pemanfaatan energi panas bumi atau *geothermal* [1].

Salah satu permasalahan yang sering terjadi di lapangan panas bumi dan dapat mengganggu proses pembangkitan listrik yaitu presipitasi silika atau *silica scalling*. *Silica scalling* yaitu pengendapan silika pada pipa produksi di lapangan panas bumi yang menyebabkan berkurangnya diameter pipa sehingga dapat mengurangi laju alir dan membuat pipa dapat tersumbat [2]. Presipitasi silika (*Silica scalling*) ini selalu terjadi setidaknya sekitar 3000 ton setiap tahunnya [3]. Pada proses ini juga menghasilkan limbah *geothermal* sekitar 50.000 ton limbah setiap tahun dengan komposisi silika yang cukup tinggi yaitu sekitar 90 hingga 98% silika amorf [4]. Kandungan silika yang cukup tinggi pada limbah *geothermal* ini memiliki potensi untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan nanosilika yang bernilai jual tinggi dan memberikan manfaat besar dalam industri energi [5].

Nanosilika merupakan silika yang dibuat dalam skala nano (1-100 nm) yang memiliki beberapa sifat seperti luas permukaan yang besar, ketahanan panas yang baik, sifat mekanis yang tinggi serta kekuatan dan kelembaman yang dapat digunakan sebagai prekursor katalis, adsorben dan filter komposit [5]. Nanosilika juga banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang seperti pada dunia medis, biologi, farmasi, pertanian, keramik, ban, cat, film, elektronik dan juga telah terbukti penting dalam berbagai aplikasi dalam bidang bioteknologi dan biomedis seperti biosensor, pembawa obat, pelindung sel dan alat terapi pada pelepasan obat atau enzim [6]–[8].

Sintesis nanopartikel dapat dilakukan dengan berbagai macam metode. Salah satunya yaitu dengan metode sol-gel karena memiliki tingkat stabilitas termal baik, stabilitas mekanik tinggi, tidak menghasilkan senyawa sisa, homogen, dan dapat dilakukan pada suhu rendah [6]. Melalui penambahan *capping agent* pada proses sintesis tersebut, nanopartikel yang dihasilkan berukuran relatif kecil serta memiliki konduktivitas, stabilitas kimia, dan aktivitas katalitik yang lebih baik [9]. Penggunaan DEA (*Dietahanolamine*) sebagai *capping agent* atau *stabilizer* telah banyak digunakan untuk pembentukan nanopartikel seperti TiO_2 , Mn_2O_3 , ZnO , dan logam Ag [10]–[13]. Namun, DEA (*Dietahanolamine*) sebagai *capping agent* belum pernah digunakan untuk pembentukan nanosilika. DEA (*Dietahanolamine*) mempunyai keunggulan yaitu tidak beracun (*non toxic*), tidak iritasi, ramah terhadap lingkungan serta memiliki ikatan amida yang secara kimia sangat stabil pada media yang bersifat alkali [14].

Berdasarkan permasalahan diatas, maka dilakukan sebuah penelitian tentang proses pemanfaatan limbah padat *geothermal* akibat *silica scalling* yang

memiliki potensi sebagai pembentukan nanosilika dengan menggunakan metode sol-gel dan DEA sebagai *capping agent* yang nantinya dapat digunakan sebagai filler dan di bidang lainnya.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan antara lain, peralatan gelas, batang pengaduk, neraca analitik, spatula, *hot plate stirrer*, *magnetic bar*, pompa vakum, aluminium foil, bola hisap, pipet tetes, pipet takar, corong *buchner* dan oven. Alat instrumentasi yang digunakan adalah spektrofotometer FTIR (JEOL JSM 6950), Spektrometer XRF (PANalytical Epsilon3) dan spektrometer XRD (Shimadzu XRD-7000S X-Ray Diffractometer).

Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan adalah limbah padat *geothermal* (*Silica Scalling*) sebagai prekursor silika, aquades, *Dietahanolamine*, DEA (Merck), HCl pa (Merck, 37%), NaOH pa (Merck), kertas saring Whatman No.42, dan kertas pH universal.

Prosedur Penelitian

Pencucian *Silica Scalling*

Sebanyak 50 gram limbah padat *geothermal* (*silica scalling*) dicuci dengan HCl 0,1 M. Perbandingan volume serbuk silika dan HCl sebesar 1:4. Pencucian dilakukan dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam. Kemudian hasil pencucian tersebut disaring dan padatan dicuci kembali dengan akuades hingga pH 7. Selanjutnya padatan dikeringkan di dalam oven selama 10 jam pada 105°C. Kemudian digerus hingga halus dan didapatkan serbuk silika berwarna putih.

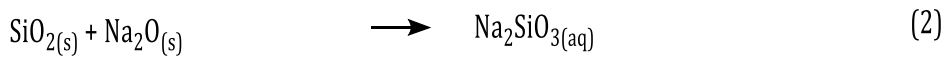
Sintesis Nanosilika

5 gram serbuk silika hasil pencucian dilarutkan dengan NaOH 1,5 N sebanyak 800 mL ke dalam gelas piala. Campuran tersebut kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan pemanasan dijaga konstan pada suhu 90°C dalam waktu 60 menit. Campuran hasil reaksi didiamkan sampai suhu kamar. Campuran kemudian disaring dengan pompa vakum dan didapatkan natrium silikat (Na_2SiO_3) yang merupakan fasa sol. Selanjutnya, filtrat ditambahkan dengan larutan DEA 0,65% (w/v) sambil diaduk di atas *magnetic stirrer* selama 1 jam. Kemudian ke dalam larutan diteteskan HCl 2 N sampai terbentuk gel pada pH 10. Gel didiamkan (*aging*) selama 18 jam. Gel yang telah didiamkan kemudian dikeringkan selama 2 hari dalam oven pada 105 °C. Gel yang telah kering selanjutnya dicuci sebanyak 5 kali dengan 150 mL akuades setiap pencucian. Selanjutnya dilakukan pengeringan dalam oven dengan suhu 105°C selama 10 jam. Kemudian padatan digerus hingga halus dan didapatkan serbuk silika nanopartikel berwarna putih. Silika nanopartikel kemudian dikalsinasi pada suhu 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C, 900°C selama 2 jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

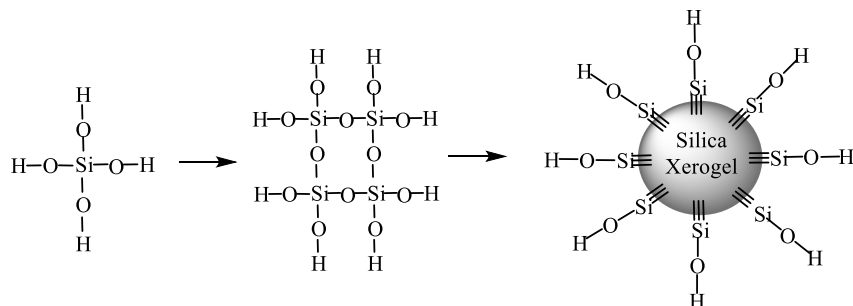
Sintesis Nanopartikel Silika

Nanopartikel Silika dihasilkan dengan metoda sol-gel. Metoda sol-gel merupakan suatu proses pembentukan senyawa anorganik melalui reaksi kimia dalam larutan suhu rendah, dimana dalam proses terjadi perubahan fasa dari suspense koloid (sol) membentuk fasa cair (gel) [6]. Sintesis nanopartikel silika dilakukan dengan pereaksian powder silika dengan 1,5 N NaOH disertai pemanasan pada suhu 90°C yang berfungsi untuk membentuk natrium silikat yang sesuai dengan persamaan 1 dan 2. Pemanasan dilakukan bertujuan untuk mempercepat laju reaksi, semakin tinggi suhu pemanasan maka semakin meningkat jumlah silika yang larut [2].



Penambahan diethanolamine (DEA) berfungsi sebagai *capping agent* yang dapat mengontrol pertumbuhan dan ukuran dari nanopartikel logam sehingga memberikan ukuran nanopartikel yang lebih kecil serta menghindari pertumbuhan dan penggumpalan atau aglomerasi berlanjut [15]–[18].

Penambahan asam klorida (HCl) dilakukan guna untuk membentuk asam silikat [Si(OH)₄] yang mana pada dasarnya merupakan monomer dari silika gel yang dapat dilihat sesuai dengan persamaan 3. Proses penambahan asam klorida (HCl) sedikit demi sedikit hingga mencapai pH 10, menyebabkan antar asam silikat [Si(OH)₄] mengalami reaksi kondensasi yang menyebabkan terjadinya pelepasan molekul kecil seperti H₂O dan reaksi polimerisasi menyebabkan terbentuknya silika sferis koloid dengan gugus hidroksil pada permukaannya serta membentuk ikatan siloksan (Si-O-Si) seperti yang terlihat pada Gambar 1 [19].



Gambar 1. Mekanisme Reaksi Kondensasi Polimerisasi asam silikat [Si(OH)₄]

Polimerisasi ini akan terus berlanjut hingga larutan mengental membentuk gel yang masih bersifat lunak. Gel yang terbentuk tersebut kemudian didiamkan (*aging*) selama 18 jam. Pada proses pematangan gel, terjadi reaksi pembentukan gel yang lebih kaku, kuat dan juga menyusut/mengkerut di dalam larutan (Sinersis). Sinersis merupakan proses penyusutan gel yang terjadi karena

menguapnya cairan dari pori-pori. Gel yang telah melewati waktu pematangan kemudian didestruksi dan dicuci dengan aquades guna untuk menghilangkan garam-garam yang merupakan produk samping hasil reaksi polimerisasi asam silikat. Gel yang telah bersih kemudian dikeringkan (*drying*) menggunakan oven untuk menghilangkan kadar air. Kondisi pengeringan dilakukan pada suhu 105°C selama 10 jam. Padatan silika yang diperoleh kemudian digerus hingga halus untuk mendapatkan silika dengan ukuran partikel yang seragam [20]. Hasil akhir dari proses pengeringan ini adalah berupa serbuk silika nanopartikel yang berwarna putih.

Analisis Spektroskopi XRF Nanopartikel Silika

Analisis komposisi silika atau SiO₂ pada sampel limbah padat geotermal sebelum dan sesudah pencucian dengan HCl 0,1 M serta silika hasil sintesis (nanopartikel silika) dapat dilihat pada Tabel 1. Komposisi silika pada limbah padat geotermal sebelum pencucian didapatkan sebesar 77,7% dan komposisi silika pada limbah padat geotermal setelah pencucian didapatkan sebesar 99,3%. Padatan serbuk nanosilika juga dianalisis sebagai pembandingan komposisi silika. Komposisi nanopartikel silika dari Tabel 1 adalah sebesar 96,1%. Perlakuan pencucian dengan HCl dimaksudkan untuk mengurangi impuritas. Hal ini dibuktikan dengan meningkatnya kadar silika setelah pencucian. Namun didapatkan bahwa kadar silika setelah sintesis lebih rendah dibandingkan dengan setelah pencucian yang disebabkan karena selama proses pembuatan nanosilika dimungkinkan terjadinya penambahan bahan-bahan kimia dari bahan surfaktan yang tidak terbakar sempurna [2].

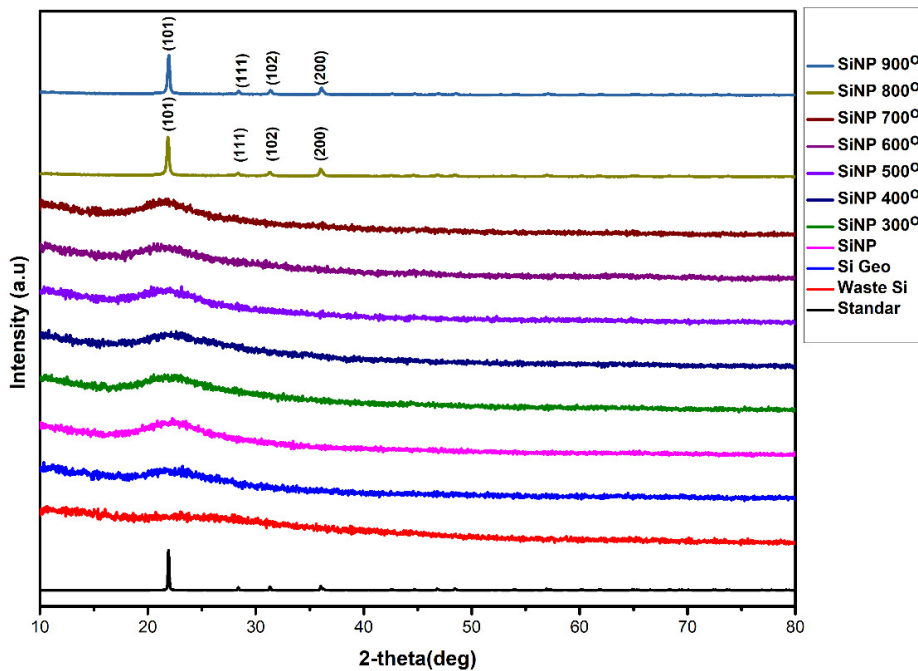
Tabel 1. Hasil Analisis Komposisi Silika

| Komponen | Limbah Silika | Silika Setelah Pencucian | Silika Nanopartikel |
|--------------------------------|---------------|--------------------------|---------------------|
| Cl | 7.47 | 0.0026 | 0.0037 |
| SiO ₂ | 77.7 | 99.3 | 96.1 |
| Al ₂ O ₃ | 0.473 | 0.269 | 0.644 |
| SO ₃ | 0.17 | 0.0333 | 0.0043 |
| Fe ₂ O ₃ | 1.1 | 0.308 | 0.278 |
| K ₂ O | 3.13 | 0.0588 | 0.0263 |
| CaO | 1.26 | 0.0549 | 0.0594 |
| CuO | 0.0104 | 0.0017 | 0.0012 |
| MnO | 0.0323 | ND | ND |
| ZnO | 0.0091 | 0.0021 | 0.0018 |
| PbO | ND | ND | 0.002 |
| MgO | 0.184 | ND | ND |
| Na ₂ O | 8.44 | ND | 2.93 |
| TiO ₂ | ND | 0.0038 | 0.0033 |
| P ₂ O ₅ | ND | ND | ND |

Analisis Spektroskopi XRD Nanopartikel Silika

Analisis spektroskopi XRD dilakukan untuk mempelajari kristalinitas dari nanopartikel silika (SiNP) yang telah disintesis. Pada analisis ini, sampel yang diuji adalah limbah silika (*Waste Si*), limbah silika hasil pencucian (*Si Geo*), SiNP, SiNP yang dikalsinasikan pada temperatur 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C dan 900°C. Perbandingan hasil uji tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 yang menunjukkan pola difraksi dari semua sampel silika yang diujikan, terlihat bahwa limbah silika (*Waste Si*), limbah silika hasil pencucian (*Si Geo*), SiNP serta SiNP yang dikalsinasikan pada temperatur 300°C, 400°C, 500°C, 600°C dan 700°C memiliki fasa amorf karena memiliki puncak yang melebar pada 2θ kisaran 21°-22°, hal ini mengindikasikan bahwa silika geothermal berfasa amorf. Menurut Kim et al. (2017) puncak yang melebar pada kisaran $2\theta = 20-25$ sesuai dengan JCPDS (47-0715) yang menegaskan daerah puncak yang melekat pada partikel silika dan memiliki bentuk amorf. SiNP yang dikalsinasikan pada temperatur 800°C dan 900°C memiliki fasa *crystalite* karena memiliki puncak-puncak yang tajam serta intensitas yang tinggi. Hal ini menandakan bahwa nanopartikel yang terbentuk berfasa kristal. Namun, SiNP yang dikalsinasikan pada temperatur 900°C memiliki fasa *crystalite* yang lebih tinggi dari SiNP yang dikalsinasikan pada temperatur 800°C karena memiliki intensitas yang tinggi. Tingkat intensitas menunjukkan tingkat kekristalannya, sehingga semakin tinggi intensitas maka tingkat kekristalannya semakin tinggi [21].

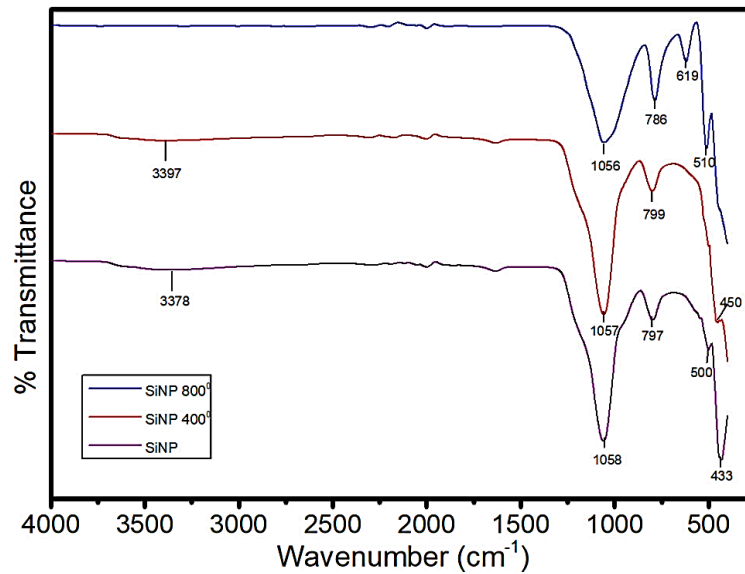
Terlihat pada Gambar 2 SiNP yang dikalsinasikan pada temperatur 800°C memiliki 4 puncak yang tajam pada daerah $2\theta = 21,86^\circ$; $28,34^\circ$; $31,31^\circ$ dan $36,06^\circ$ yang masing-masing terindeks pada bidang (101),(111),(102),(200). Sedangkan SiNP yang dikalsinasikan pada temperatur 900°C juga memiliki 4 puncak yang tajam pada daerah $2\theta = 21,93^\circ$; $28,40^\circ$; $31,37^\circ$ dan $36,12^\circ$ yang masing-masing terindeks pada bidang (101), (111), (102), (200). Puncak-puncak tersebut sesuai dengan puncak difraksi yang spesifik dari SiO₂ dengan sistem kristal tetragonal berdasarkan standar ICSD #77457. Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan *Scherrer*, diperoleh ukuran kristal SiNP sebesar 26 nm. Penelitian sebelumnya juga telah melakukan kalsinasi silika dari limbah silika geothermal, namun mendapatkan fasa *crystalite* pada temperatur 1200°C [22].



Gambar 2. Pola Difraksi limbah silika (*Waste Si*), limbah silika hasil pencucian (*Si Geo*), SiNP, SiNP yang dikalsinasikan pada temperatur 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C dan 900°C.

Analisis FTIR Nanopartikel Silika

Analisis FTIR digunakan untuk menentukan gugus fungsi yang terkandung di dalam sampel nanopartikel. Sampel nanopartikel yang diuji adalah nanopartikel silika tanpa kalsinasi dan nanopartikel silika dengan kalsinasi pada suhu 400°C dan 800°C. Spektrum hasil analisis FTIR dari sampel nanopartikel silika tanpa kalsinasi dan nanopartikel silika dengan kalsinasi pada suhu 400°C dan 800°C dapat dilihat pada Gambar 3. Terlihat adanya serapan pada bilangan gelombang 3397 cm^{-1} dan 3378 cm^{-1} yang merupakan serapan *stretching* -OH dari silanol (Si-OH) atau H₂O [23]. Serapan pada daerah 1058 cm^{-1} , 1057 cm^{-1} dan 1056 cm^{-1} dikaitkan dengan adanya vibrasi ulur (*stretching*) asimetris gugus Si-O dari siloksan (Si-O-Si), sedangkan serapan pada 799 cm^{-1} , 797 cm^{-1} , 786 cm^{-1} dan 619 cm^{-1} dikaitkan dengan adanya vibrasi ulur (*stretching*) simetris gugus Si-O dari siloksan (Si-O-Si) [24]. Serapan pada 510 cm^{-1} , 500 cm^{-1} , 450 cm^{-1} dan 433 cm^{-1} merujuk pada vibrasi tekuk gugus Si-O dari siloksan (Si-O-Si) [25]. Tidak ditemukannya puncak serapan karakteristik pada bilangan gelombang 2800 cm^{-1} hingga 3000 cm^{-1} menandakan bahwa senyawa organik yang terkandung sebelumnya dalam sampel nanopartikel silika telah terdekomposisi sempurna setelah proses ekstraksi dan kalsinasi [20].



Gambar 3. Spektrum FTIR nanopartikel silika tanpa kalsinasi dan nanopartikel silika dengan kalsinasi pada suhu 400°C dan 800°C.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah berhasil mensintesis nanopartikel silika dari limbah padat *geothermal* dengan metode sol-gel. Hasil analisis komposisi dengan spektroskopi XRF menunjukkan bahwa nanopartikel silika yang telah disintesis mengandung ~96% SiO₂. Hasil karakterisasi nanopartikel silika dengan Fourier Transform Infra Red (FTIR) menunjukkan adanya gugus OH pada silanol yang menonjol pada serapan bilangan gelombang 3397 cm⁻¹ dan 3378 cm⁻¹ serta adanya gugus siloksan pada serapan bilangan gelombang 799 cm⁻¹, 797 cm⁻¹, 786 cm⁻¹ dan 619 cm⁻¹. Hasil analisis dengan X-Ray Diffractometer (XRD) menunjukkan terjadi perubahan fasa cristobalite pada temperature 800°C dan 900°C, dimana SiNP yang dikalsinasikan pada temperatur 900°C memiliki fasa *cristobalite* yang lebih tinggi dari SiNP yang dikalsinasikan pada temperatur 800°C. Aplikasi dari nanopartikel silika yang telah disintesis diperlukan penelitian lebih lanjut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT. Geo Dipa Energi Unit Dieng Jawa Tengah atas dukungannya untuk mendapatkan limbah padat *geothermal* sebagai bahan penelitian. Terima kasih juga penulis tujukan untuk Laboratorium Kimia Material, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas atas dukungan sebagai fasilitasi pada penelitian ini.



DAFTAR RUJUKAN

- [1] P. Suharmanto, A. N. Fitria, and S. Ghaliyah, "Indonesian Geothermal Energy Potential as Source of Alternative Energy Power Plant," *KnE Energy*, vol. 1, no. 1, p. 119, 2015, doi: 10.18502/ken.v1i1.325.
- [2] K. D. Rakhmasari, I. Perdana, A. Prasetya, and B. Pidhatika, "Nanosilika dari Prekursor Silika Geotermal: Pengaruh Konsentrasi Surfaktan dan Dekomposisi Termal Pasca Sintesis," no. April, pp. 1–7, 2019.
- [3] Y. Kusumastuti, H. T. B. M. Petrus, F. Yohana, A. T. Buwono, and R. B. Zaqina, "Synthesis and Characterization of Biocomposites Based On Chitosan and Geothermal Silica," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1823, 2017, doi: 10.1063/1.4978200.
- [4] L. Y. Gomez-Zamorano, E. Vega-Cordero, and L. Struble, "Composite Geopolymers of Metakaolin and Geothermal Nanosilica Waste," *Constr. Build. Mater.*, vol. 115, pp. 269–276, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.002.
- [5] S. N. A. Jenie, A. Ghaisani, Y. P. Ningrum, A. Kristiani, F. Aulia, and H. T. M. B. Petrus, "Preparation of Silica Nanoparticles From Geothermal Sludge Via Sol-Gel Method," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2026, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1063/1.5064968.
- [6] B. R. Fernandez, "Sintesis Nanopartikel. Makalah Sintesis Nanopartikel," pp. 1–14, 2011.
- [7] M. Jafarzadeh, I. A. Rahman, and C. S. Sipaut, "Synthesis of Silica Nanoparticles by Modified Sol-Gel Process: The Effect Of Mixing Modes Of The Reactants And Drying Techniques," *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, vol. 50, no. 3, pp. 328–336, 2009, doi: 10.1007/s10971-009-1958-6.
- [8] Siswanto, M. Hamzah, M. A., and Fausiah, "Perekayasaan Nanosilika Berbahan Baku Silika Lokal Sebagai Filler Kompon Karet Rubber Air Bag Peluncur Kapal Dari Galangan," *Pros. InSINas*, pp. 56–59, 2012.
- [9] C. N. R. Rao, A. Müller, and A. K. Cheetham, *The Chemistry of Nanomaterials*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004.
- [10] S. K. W. Ningsih, "Pengaruh Aditif Pada Sintesis Nanopartikel Mn_2O_3 Melalui Proses Sol-Gel," *Jur. Kim. Fak. Mat. dan IPA Univ. Negeri Padang*, pp. 1–6, 2013, [Online]. Available: <http://eprints.uanl.mx/5481/1/1020149995.PDF>.
- [11] W. S. Al-Arjan, A. L. Hector, and W. Levason, "Speciation in Diethanolamine-Moderated TiO_2 Precursor Sols and Their Use in Film Formation," *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, vol. 79, no. 3, pp. 550–557, 2016, doi: 10.1007/s10971-016-4032-1.
- [12] K. Thongsuriwong, P. Amornpitoksuk, and S. Suwanboon, "The Effect of Aminoalcohols (MEA, DEA And TEA) On Morphological Control of Nanocrystalline Zno Powders and Its Optical Properties," *J. Phys. Chem. Solids*, vol. 71, no. 5, pp. 730–734, 2010, doi: 10.1016/j.jpcs.2010.01.008.
- [13] S. Arief, V. Gustia, D. V. Wellia, Zulhadjri, T. Ban, and Y. Ohya, "Hydrothermal Synthesized Ag Nanoparticles Using Bioreductor of Gambier Leaf Extract (Uncaria Gambier Roxb)," *J. Chem. Pharm. Res.*, vol. 7, no. 9, pp. 189–192, 2015.
- [14] T. Maugard, M. Remaud-Simeon, D. Petre, and P. Monsan, "Enzymatic Amidification for The Synthesis of Biodegradable Surfactants: Synthesis of N-Acylated Hydroxylated Amines," *J. Mol. Catal. - B Enzym.*, vol. 5, no. 1–4, pp. 13–17, 1998, doi: 10.1016/S1381-1177(98)00016-2.
- [15] V. Gustia, S. Arief, and D. V. Wellia, "Biosintesis Nanopartikel Perak dengan Memanfaatkan Gambir sebagai Bioreduktor," vol. 4, no. 2303, 2015.
- [16] J. T. Wu and S. L. C. Hsu, "Preparation of Triethylamine Stabilized Silver Nanoparticles for Low-Temperature Sintering," *J. Nanoparticle Res.*, vol. 13, no. 9, pp. 3877–3883, 2011, doi: 10.1007/s11051-011-0341-z.
- [17] A. K. Mittal, Y. Chisti, and U. C. Banerjee, "Synthesis of Metallic Nanoparticles Using Plant Extracts," *Biotechnol. Adv.*, vol. 31, no. 2, pp. 346–356, 2013, doi: 10.1016/j.biotechadv.2013.01.003.
- [18] P. Kuppusamy, M. M. Yusoff, G. P. Maniam, and N. Govindan, "Biosynthesis of Metallic



- Nanoparticles Using Plant Derivatives and Their New Avenues in Pharmacological Applications – An Updated Report,” *Saudi Pharm. J.*, vol. 24, no. 4, pp. 473–484, 2016, doi: 10.1016/j.jsps.2014.11.013.
- [19] S. Silviana, G. J. Sanyoto, A. Darmawan, and H. Sutanto, “Geothermal Silica Waste as Sustainable Amorphous Silica Source for The Synthesis of Silica Xerogels,” *Rasayan J. Chem.*, vol. 13, no. 3, pp. 1692–1700, 2020, doi: 10.31788/RJC.2020.1335701.
- [20] M. Huljana and S. Rodiah, “Sintesis Silika dari Abu Sekam Padi dengan Metode Sol-gel,” in *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan (Vol. 2, No. 1).*, 2019, pp. 800–807.
- [21] C. Latif, Triwikantoro, and Munasir, “Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi Pada Struktur Silika,” *J. Sains dan Seni POMITS*, vol. 3, no. 1, pp. 4–7, 2014, [Online]. Available: http://ejournal.its.ac.id/index.php/sains_seni/article/view/5563.
- [22] A. Wibawa, E. T. Sumardani, and A. T. Mursito, “PLTP Dieng Influence of Temperatures Variation On Calcination Amorphous Silica Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI IV-52,” pp. 51–56, 2015.
- [23] H. Widiyandari and J. Sartika, “Synthesis of Mesoporous Silica Xerogel From Geothermal Sludge Using Sulfuric Acid As Gelation,” vol. 34, no. 7, pp. 1–2, 2021.
- [24] A. Ananthi, D. Geetha, and P. S. Ramesh, “Preparation and Characterization of Silica Material from Rice Husk Ash – An Economically Viable Method,” *Chem. Mater. Res.*, vol. 8, no. 6, pp. 1–7, 2016, doi: 10.1016/0304-3800(91)90041-X.
- [25] E. W. Juni, A. Arnelli, and S. Sariatun, “Pemanfaatan Surfaktan Kationik Hasil Sublasi sebagai Molekul Pengarah pada Pembuatan Material Berpori dari Sekam Padi,” *J. Kim. Sains dan Apl.*, vol. 15, no. 1, pp. 24–28, 2012, doi: 10.14710/jksa.15.1.24-28.