

Pemanfaatan Gelatin Kulit Ikan Patin (*Pangasius sp*) sebagai Surfactan untuk Sintesis Nanopartikel Silika Berbahan Dasar Na_2SiO_3

Dina Yuliana Sapenti¹, Syamsi Aini²

¹²Kimia, Universitas Negeri Padang
e-mail: dinayulianasapenti24@gmail.com

Abstrak

Nanopartikel (NP) silika merupakan padatan silika dengan ukuran pori 1-100 nm. Sintesis nanopartikel silika terus dikembangkan dengan menggunakan bahan terbarukan seperti natrium silikat (Na_2SiO_3) dan gelatin. Saat ini para peneliti menggunakan natrium silikat sebagai prekursor dengan surfaktan alami gelatin kulit ikan patin (GP) dengan konsentrasi GP 1,5% sebagai agen pengarah struktur pori menggunakan metode sol-gel. GP diekstraksi dengan menggunakan metode asam basa. GP yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk melihat gugus fungsi khas gelatin. Hasil FTIR GP menunjukkan terdapat 4 daerah serapan yaitu amida A, amida I, amida II dan amida III. NP silika dikarakterisasi menggunakan XRD, FTIR, dan SEM. Difatogram XRD menunjukkan bahwa NP silika termasuk jenis kristal kristobalit. Spektrum FTIR menunjukkan bahwa GP telah lepas dari NP silika yang dihasilkan. Hasil SEM menunjukkan NP silika memiliki morfologi teratur, berbentuk batang dengan ukuran partikel 76 nm.

Kata kunci: *Nanopartikel Silika, Gelatin, XRD, FTIR, SEM*

Abstract

Silica nanoparticles (NPs) are silica solids with a pore size of 1-100 nm. The synthesis of silica nanoparticles continues to be developed using renewable materials such as sodium silicate (Na_2SiO_3) and gelatin. Currently, researchers are using sodium silicate as a precursor with the natural surfactant gelatin catfish skin (GP) with a GP concentration of 1.5% as a pore structure directing agent using the sol-gel method. GP was extracted using the acid-base method. The resulting GP was characterized using FTIR to see the typical functional groups of gelatin. FTIR GP results show that there are 4 absorption areas, namely amide A, amide I, amide II and amide III. Silica NPs were characterized using XRD, FTIR, and SEM. The XRD difatogram shows that the silica NPs are cristobalite crystal types. The FTIR spectrum shows that GP has been released from the resulting silica NPs. SEM results show that silica NPs have a regular morphology, rod-shaped with particle size 76 nm.

Keywords : *Silica Nanoparticles, Gelatin, XRD, FTIR, SEM*

PENDAHULUAN

Nanopartikel (NP) silika merupakan padatan silika yang memiliki ukuran <100 nm dengan susunan pori yang teratur memberikan struktur yang teratur^{[11][13]}. NP silika memiliki beberapa sifat diantaranya: luas permukaan besar, ketahanan panas yang baik, kekuatan mekanik yang tinggi dan inert sehingga digunakan sebagai prekursor katalis, adsorben dan filter komposit juga memiliki kestabilan yang bagus, bersifat biokompatibel yang mampu bekerja selaras dengan sistem kerja tubuh dan membentuk sperik tunggal^[4].

Sintesis NP silika umumnya menggunakan empat bahan dasar utama yaitu : sumber silika (precursor), surfaktan, pelarut, dan aditif^[5]. Sumber silika yang banyak digunakan adalah tetraetilortosilikat (TEOS), tetrametilortosilikat (TMOS), dan natrium silikat (Na_2SiO_3). TEOS dan TMOS merupakan sumber silika yang mahal dan beracun karena menghasilkan produk samping berupa alkohol jika digunakan sebagai sumber silika. Sedangkan Na_2SiO_3 merupakan sumber silika yang dapat disintesis dari hayati dan non hayati sehingga lebih ekonomis dan tidak beracun^[9].

Senyawa natrium silikat dapat dibuat melalui reaksi antara unsur silika dengan NaOH atau silika dengan Na_2CO_3 . Silika dengan NaOH direaksikan pada temperatur yang rendah, sementara reaksi antara silika dengan Na_2CO_3 dilakukan pada temperatur yang tinggi. Silika (SiO_2) memiliki peran penting dalam pembentukan natrium silikat. Aini, S. Dan Efendi, J., (2009) sebelumnya telah melakukan penelitian dengan mencampurkan silika dengan NaOH dan Na_2CO_3 dengan perbandingan massa 4:4:1 pada suhu 300°C . Natrium Silikat (Na_2SiO_3) dapat disintesis dari bahan alam salah satunya yaitu pasir silika. Sumatera Barat memiliki sumber daya alam yang sangat melimpah meliputi minyak bumi, gas alam dan mineral – mineral lainnya. Salah satu mineral yang melimpah yaitu silika (SiO_2)^[14]. Silika paling banyak ditemukan dalam bentuk pasir, sering disebut pasir silika atau pasir kuarsa^[7]. Sumatera Barat memiliki 82,5% cadangan pasir silika Indonesia^{[5][9]}. Namun pasir silika ini belum dimanfaatkan secara optimal. Pasir silika dapat dimanfaatkan dalam pembuatan Na_2SiO_3 yang dapat digunakan sebagai bahan dasar untuk sintesis NP silika^[5].

NP silika dapat disintesis dengan berbagai metode yaitu seperti metode sol-gel, metode kopresipitasi, metode hidrotermal, metode fusi dan lain sebagainya^[2]. Metode yang umum digunakan untuk sintesis NP silika yaitu metode sol-gel^[14]. Metode sol-gel digunakan karena dapat menghasilkan NP silika dengan kemurnian dan homogenitas tinggi, pada temperatur rendah serta ukuran partikelnya dapat dikontrol^{[14][9]}.

Untuk mensintesis NP silika membutuhkan surfaktan sebagai molekul pengarah dalam struktur pori. Surfaktan merupakan molekul yang memiliki gugus (hidrofilik) dan gugus (hidrofobik) pada molekul yang sama, sehingga kedua gugus tersebut dapat menyatukan dua senyawa yang tidak saling bercampur^[10]. Surfaktan diklasifikasikan menjadi 3 kelompok berdasarkan muatannya yaitu surfaktan kationik, anionik, dan nonionik^{[6][5]}. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa silika mesopori dapat dibuat dari larutan natrium silikat menggunakan surfaktan. Contohnya Das et al. NP silika disintesis dengan natrium silikat sebagai bahan baku, CTAB sebagai surfaktan^[20]. Saman et al (2020) mensintesis NP silika yang terbuat dari natrium silikat dengan

menggunakan CTAB (cethrilmethylamonium bromide). Nuri & Aini, (2021) mesintesis NP silika dengan menggunakan surfaktan komersial yang memiliki kekurangan yaitu harganya yang relatif mahal. Beberapa tahun belakangan ini sintesis NP silika menggunakan surfaktan alami juga telah dilakukan oleh para peneliti seperti Retuert et al (2004), Zhou, G et al (2012) dan Setyawan, H dan Balgis, R (2011). Penelitian-penelitian tersebut menggunakan natrium silikat dan gelatin komersial sebagai template dalam pembuatan NP silika sehingga menghasilkan diameter pori berturut-turut sebesar 10 nm, 14 nm, dan 8,4 nm. Retuert et al (2004) meyakini bahwa gugus asam amino seperti amida, dan karboksil pada gelatin mampu berikatan hidrogen dengan silika^[16].

Gelatin merupakan hasil hidrolisa kolagen yang berasal dari kulit ataupun tulang hewan. Gelatin termasuk golongan surfaktan karena dapat menurunkan tegangan antar muka. Selama ini bahan baku pembuatan gelatin berasal dari tulang dan kulit sapi atau babi. Namun, konsumen menghadapi beberapa hambatan untuk mengkonsumsi atau menggunakan gelatin dari tulang dan kulit sapi atau babi. Hal ini karena bagi umat Islam haram untuk mengkonsumsi produk yang berhubungan dengan babi, sementara umat Hindu menahan diri untuk tidak mengkonsumsi produk yang berhubungan dengan sapi. Hal ini menjadi peluang untuk mencari alternatif lain sebagai sumber gelatin yaitu dari tulang dan kulit ikan. Beberapa jenis ikan yang kulitnya dapat diekstrak menjadi gelatin yaitu ikan patin, ikan mas, ikan gabus, ikan lele, ikan nila, ikan tun, ikan cakalang, ikan kakap merah dan lain sebagainya^[12].

Penelitian mengenai penggunaan gelatin sebagai surfaktan dalam mensintesis NP silika telah dilakukan oleh Sirat N.A (2024) dengan menggunakan kulit dari ikan tuna sirip kuning yang menghasilkan NP silika berbentuk batang. Pada penelitian ini NP silika disintesis menggunakan Na_2SiO_3 dari pasir silika dengan surfaktan gelatin kulit ikan patin. Gelatin kulit ikan patin hasil ekstraksi dikarakterisasi dengan instrument FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) untuk melihat gugus fungsinya. Sementara NP silika dianalisa menggunakan instrumen XRD, FTIR dan SEM.

METODE

Alat dan Bahan

Peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu *magnetic stirrer*, corong, gelas kimia, *spin bar*, gelas ukur, *erlenmeyer*, batang pengaduk, pH meter, labu ukur, spatula, neraca analitik, *furnace*, oven, desikator, cawan *cruscible*, pisau, lumpang dan alu, kertas saring dan termometer, XRD, FTIR dan SEM. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain pasir silika, NaOH, kulit ikan patin, *aquades*, Trietanolamin (TEA), HCl, CH_3COOH , HNO_3 , dan Na_2CO_3 .

1. Preparasi Gelatin Kulit Ikan Patin

Sebelum gelatin diekstraksi kulit ikan patin segar di *pre-treatment* terlebih dahulu untuk menghilangkan protein non kolagen. Kulit ikan patin direndam dalam larutan NaOH 0,2 M dengan perbandingan rasio kulit dan NaOH 1:10 w/v. Campuran NaOH-kulit ikan patin diaduk selama 2 jam pada suhu kamar. Larutan NaOH diganti

setiap 1 jam, setelah itu dicuci dengan aquades hingga pH netral. Kemudian dilanjutkan dengan perendaman dalam larutan asam asetat 0,05 M selama 2 jam dengan pengadukan lembut sampai kulit membengkak. Kulit yang membengkak dinetralkan dengan *aquades* kemudian direndam dalam air suhu 60°C pada *waterbath* selama 3 jam. Selanjutnya filtrat disaring dan dikeringkan dengan oven pada suhu 55°C sampai kering. Hasil gelatin padat yang terbentuk digerus hingga halus, lalu diayak dan timbang^[19].

2. Sintesis Silika Mesopori

NP Silika disintesis menggunakan natrium silikat, bubuk gelatin dalam air dengan konsentrasi 1,5% dan TEA. Sebanyak 9,8 gr (0,16 mol) natrium silikat dilarutkan dalam 100 ml air, lalu ditambahkan secara bertahap ke larutan gelatin dengan konsentrasi 1,5%, hingga terbentuk sol $\equiv\text{SiOH}$. Sol ditambah dengan HCl 2M untuk menyempurnakan pembentukan asam silikat di permukaan misel gelatin. Kemudian larutan direfluks selama 2 jam pada suhu 90°C untuk membentuk gel di permukaan misel. Gel yang terbentuk didiamkan selama 24 jam agar terjadi pengendapan yang sempurna. Endapan silika yang terbentuk kemudian *difurnace* pada suhu 300°C selama 1 jam, setelah itu naikan suhu menjadi 650°C selama 5 jam hingga terbentuk NP silika^[19].

3. Karakterisasi Gelatin Kulit Ikan Patin

Karakterisasi gelatin kulit ikan patin yaitu dengan menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) untuk mengidentifikasi gugus fungsi GP dan gelatin standar. Sampel diambil sebanyak 2 mg kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR di Laboratorium Instrumen Kimia Universitas Negeri Padang.

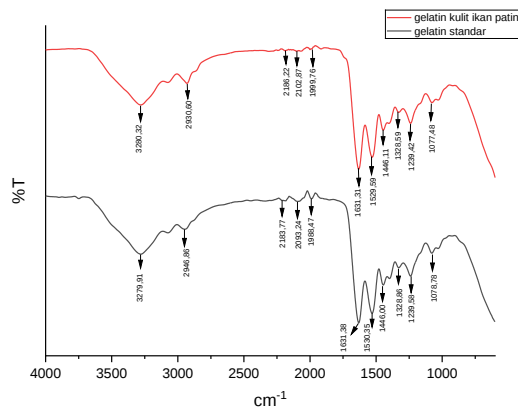
4. Karakterisasi Silika Mesopori

Karakterisasi NP silika menggunakan instrumen XRD di laboratorium fisika UNP, FTIR di laboratorium instrumen kimia UNP dan SEM di laboratorium Geologi ITB. XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan untuk menentukan kristalinitas dari NP silika, FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) untuk mengetahui surfaktan GP telah hilang dari NP silika, dan SEM (*Scanning Electron Microscope*) digunakan untuk mengetahui morfologi dari NP silika.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakterisasi Gelatin Kulit Ikan Patin

Karakterisasi gelatin menggunakan FTIR dilakukan untuk melihat gugus fungsi khas gelatin dan dibandingkan dengan FTIR gelatin standar. Gugus fungsi gelatin sama dengan kebanyakan protein lainnya yaitu mengandung gugus fungsi berupa hidroksil (OH), karbonil (C=O), dan amina (NH) yang muncul pada bilangan gelombang 4000-600 cm^{-1} . Hasil analisis FTIR gelatin standar dan GP hasil penelitian ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Hasil karakterisasi (FTIR) gelatin kulit ikan patin dan gelatin standar

Gelatin memiliki 4 daerah serapan yang khas yaitu amida A, amida I, amida II, dan amida III. Daerah serapan amida A pada bilangan gelombang $3600-2300\text{ cm}^{-1}$, amida I pada bilangan gelombang $1661-1636\text{ cm}^{-1}$, amida II pada bilangan gelombang $1560-1335\text{ cm}^{-1}$ dan amida III pada bilangan gelombang $1300-1200\text{ cm}^{-1}$ ^[15]. Pada penelitian ini gelatin yang dihasilkan memiliki daerah serapan amida A pada bilangan gelombang $3280,32\text{ cm}^{-1}$ dan $2930,60\text{ cm}^{-1}$. Sedangkan gelatin standar pada bilangan gelombang $3279,91\text{ cm}^{-1}$ dan $2946,86\text{ cm}^{-1}$. Daerah serapan $3280,32\text{ cm}^{-1}$ dan $3279,91\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan regangan N-H dari gugus amida yang berasosiasi dengan ikatan hidrogen dan adanya gugus OH dari hidroksiprolin. Daerah serapan pada bilangan gelombang $2930,60\text{ cm}^{-1}$, dan $2946,86\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus NH dalam amida yang cenderung berikatan dengan regangan CH_2 .

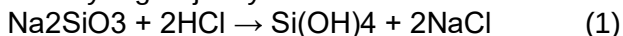
Gugus khas gelatin selanjutnya adalah amida I. gelatin hasil penelitian memiliki daerah serapan amida I pada bilangan gelombang $1631,31\text{ cm}^{-1}$, sedangkan gelatin standar pada bilangan gelombang $1631,38\text{ cm}^{-1}$. Daerah serapan amida I ini menunjukkan adanya regangan $\text{C}=\text{O}$ dan gugus OH yang berpasangan dengan gugus karboksil. Gugus khas gelatin berikutnya yaitu amida II. Gelatin hasil penelitian memiliki daerah serapan amida II pada bilangan gelombang $1529,59\text{ cm}^{-1}$ dan $1446,11\text{ cm}^{-1}$. Sementara gelatin standar pada bilangan gelombang $1530,35\text{ cm}^{-1}$ dan $1446,00\text{ cm}^{-1}$. Daerah serapan ini menunjukkan adanya deformasi NH dan vibrasi bending CH_2 dari gugus prolin. Gugus khas gelatin yang terakhir adalah amida III. Gelatin hasil penelitian memiliki daerah serapan amida III pada bilangan gelombang $1239,42\text{ cm}^{-1}$, sedangkan gelatin standar bilangan gelombang $1239,58\text{ cm}^{-1}$. Hal ini menunjukkan bahwa gelatin hasil penelitian maupun gelatin standar masih ada sebagian kecil

struktur kolagen yang belum terdenaturasi menjadi gelatin dan lolos dalam proses penyaringan ekstrak gelatin.

2. Karakterisasi Silika Mesopori

1. Sintesis Silika Mesopori

NP silika disintesis dengan natrium silikat (Na_2SiO_3) dan gelatin kulit ikan patin dengan konsentrasi 1,5%. Larutan Na_2SiO_3 ditambahkan pada campuran larutan gelatin dan trietanolamin (TEA) secara bertahap. Sol yang terbentuk ditambahkan HCl 2 M untuk menyempurnakan pembentukan sol $\equiv\text{SiOH}$ dipermukaan misel gelatin. Reaksi kimia yang terjadi yaitu :



Sintesis NP silika dilanjutkan dengan proses refluks yang bertujuan untuk membentuk gel pada misel gelatin. Gel yang terbentuk didiamkan selama 24 jam agar endapan yang terbentuk terpisah dari air. Endapan yang didapat kemudian di kalsinasi secara bertahap pada suhu 300°C selama 1 jam dan suhu 650°C selama 5 jam, agar surfaktan gelatin kulit ikan patin terlepas dari polimer NP silika. Hasil sintesis NP silika menggunakan surfaktan gelatin kulit ikan patin dengan konsentrasi 1,5% ditunjukkan pada gambar 2.

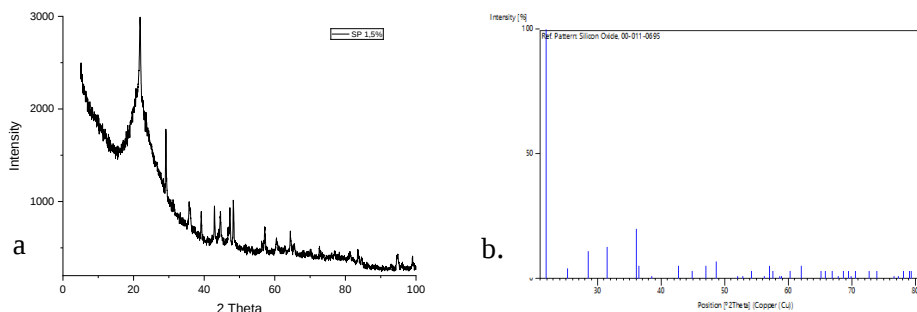


Gambar 2. Hasil sintesis NP silika menggunakan surfaktan GP konsentrasi 1,5%

2. Karakterisasi Silika Mesopori

a. XRD

XRD digunakan untuk memberikan informasi yang terdapat pada puncak $2\theta = 21-30^\circ$. Difatogram XRD menunjukkan adanya pola difraksi yang terbentuk pada puncak tajam $2\theta = 21-30^\circ$ pada NP silika. Identifikasi fasa NP silika diperoleh dengan menganalisa pola difraksi sinar-X dari fasa yang terbentuk ^[18]. Pola difragtogram sinar-X NP silika dapat dilihat pada Gambar 3.

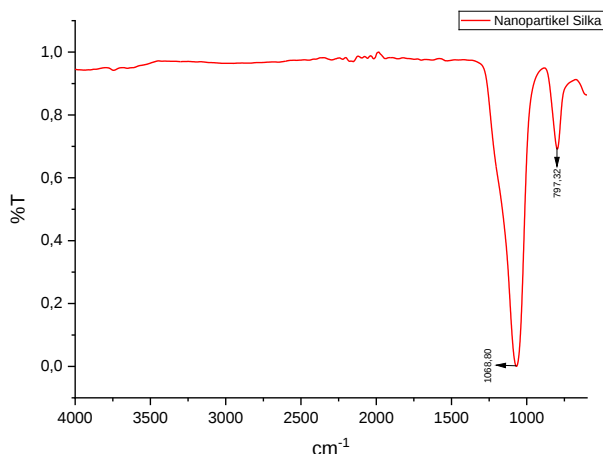


Gambar 3. Pola difraktogram (a) XRD NP silika surfaktan GP , (b) XRD silika standar kristobalit

Berdasarkan hasil uji XRD NP silika yang dihasilkan merupakan silika jenis kristobalit. karena posisi puncak dari NP silika di 2θ yaitu pada 21.8725° dan 29.1742° yang memiliki keberadaan yang mendekati kepada keberadaan dari silika standar kristobalit yaitu pada 21.929° dan 28.448° . Puncak yang tajam dan intensitas yang tinggi dari NP silika pada sudut $2\theta = 21-30^\circ$ menunjukkan bahwa NP silika yang dihasilkan berbentuk kristalin. Terbentuknya fasa kristalin karena susunan atom-atom pada NP silika tersusun secara teratur, seragam dan morfologinya yang lebih teratur dari silika amorf. Puncak yang terlihat jelas dan tajam disebabkan oleh intensitas yang tinggi. Karena semakin tinggi intensitas maka kristalinitas suatu material akan semakin tinggi juga.

b. FTIR

Analisis FTIR digunakan untuk melihat gugus fungsi gelatin sudah lepas dari NP silika yang dihasilkan. Hal ini ditandai dengan tidak ada lagi gugus fungsi khas gelatin (karbonil, hidroksi, dan amina) pada NP silika yang dihasilkan. Selain itu, analisis FTIR dilakukan untuk mengkonfirmasi gugus fungsi dari NP silika yang dihasilkan. Hasil analisis FTIR NP silika dapat dilihat pada gambar 4.

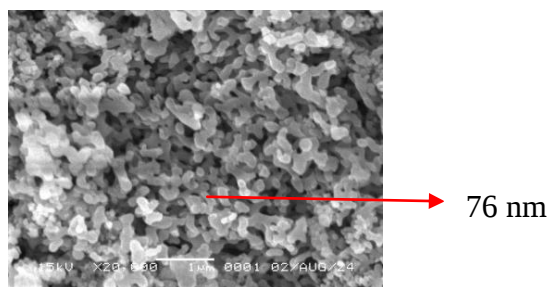


Gambar 4. Hasil Analisa FTIR NP Silika dengan surfaktan GP Konsentrasi 1,5%

Dari hasil analisis FTIR dapat dilihat bahwa surfaktan (gelatin kulit ikan patin) pada NP silika telah lepas. Hal ini ditandai dengan tidak munculnya gugus fungsi khas gelatin yaitu daerah serapan amida A yang muncul pada bilangan gelombang 3600-2300 cm^{-1} , amida I pada bilangan gelombang 1661-1636 cm^{-1} , amida II pada bilangan gelombang 1560-1335 cm^{-1} , dan amida III pada bilangan 1300-1200 cm^{-1} [15]. Analisis FTIR menampilkan informasi puncak daerah serapan gugus fungsi NP silika dari bilangan gelombang 600-4000 cm^{-1} . Puncak daerah serapan yang dihasilkan pada bilangan gelombang 1068,80 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur asimetris gugus Si-O dari Si-O-Si. Dan pada bilangan gelombang 797,32 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur simetris dari Si-O-Si.

c. SEM

Analisa SEM digunakan untuk mengetahui morfologi, bentuk dan ukuran partikel NP silika yang dihasilkan. Perbesaran yang digunakan adalah 20.000 X dan skala bar 1 μm atau 1000 nm. Morfologi dari NP silika menggunakan gelatin kulit ikan patin memiliki bentuk yang beraturan. Hasil analisa SEM NP silika ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Hasil SEM NP silika

Berdasarkan hasil analisa SEM NP silika memiliki struktur berbentuk batang dan memiliki morfologi yang teratur dan tidak terjadi aglomerisasi serta ukuran partikel sebesar 76 nm. beberapa faktor yang dapat menyebabkan pembentukan struktur tersebut, yaitu sifat molekul pembentuk, kinetika pembentukan, kondisi reaksi, interaksi antara komponen dan sifat permukaan. Sifat molekul pembentuk merupakan faktor paling mempengaruhi dalam pembentukan molekul, jika molekul pembentuk memiliki geometri atau orientasi tertentu dapat mendorong pertumbuhan struktur berbentuk batang. Surfaktan GP merupakan surfaktan kationik yang memiliki kepala hidrofilik (yang bersifat polar) berupa gugus amina (NH_2) yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan gugus hidroksil (OH) pada permukaan silika. Interaksi ini membantu dalam menstabilkan struktur dan mengarahkan pembentukan morfologi berbentuk batang selama proses sintesis [20].

SIMPULAN

Berdasarkan Penelitian yang telah dilakukan bahwa pemanfaatan gelatin kulit ikan patin (*pangasius sp*) sebagai surfaktan untuk sintesis nanopartikel silika berbahan dasar Na_2SiO_3 telah berhasil dilakukan. Hasil FTIR ekstraksi GP menunjukkan adanya

4 daerah serapan gugus fungsi khas gelatin yaitu Amida A, amida I, amisa II, dan amida III. Hasil difatogram XRD NP silika menunjukkan bahwa NP silika tergolong kristal kristobalit. Hasil FTIR NP silika menunjukkan bahwa GP telah lepas dari NP silika. Dan hasil SEM menunjukkan NP silika memiliki morfologi yang teratur, ukuran partikel sebesar 76 nm dan berbentuk batang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Mehmood, H. Ghafar, S. Yaqoob, U. F. Gohar, and B. Ahmad, "Mesoporous Silica Nanoparticles: A Review," *J. Dev. Drugs*, vol. 06, no. 02, 2017, doi: 10.4172/2329-6631.1000174.
- [2] Aini, S., Azra, F., Rahma, N., & Cahyadi, A. (2021, February). The Role of Na₂SiO₃ Loading in the Synthesis of Fe₃O₄-Fe₂O₃@ SiO₂ Composite. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1788, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.
- [3] Aini, S. dan Efendi J. (2009). Kajian Penggunaan Na₂CO₃ dan NaOH pada Pembuatan Sodium Silicate dari Pasir Silika Sungai Nyalo Untuk Bahan Dasar Sintesis Zeolit 4A. Penelitian Hibah Bersaing Perguruan Tinggi. Fakultas MIPA UNP. Sumatera Barat.
- [4] Alzain, M. I., Aini, S., & Santika, R. (2019). Potensi Na₂SiO₃ yang Disintesis dari Batu Tuff sebagai Bahan Dasar Sintesis Silika Mesopori. *Periodic*, 8(1), 6-8.
- [5] Ananda, A. (2020). Sintesis Silika Mesopori menggunakan Bahan Dasar Na₂SiO₃ yang Dihasilkan dari Pasir Silika dengan Metoda Sol-Gel (Doctoral Dissertation, Universitas Negeri Padang).
- [6] Asih, H. S., & Putra, A. (2022). Kelarutan Zat Warna Organik dalam Gelasi Mikroemulsi Water In Oil dari Sistem Air, Surfaktan Nonionik (Brij 35) dan Pentanol. *Periodic*, 11(1), 92-97.
- [7] Azhari, A., & Aziz, M. (2016). Sintesis Dan Karakterisasi Material Berpori Berbasis Mineral Silika Pulau Belitung. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batu Bara*, 12(3), 161-170.
- [8] Chang, H. J., Yang, Y. M., Lin, C. C., Luo, Y. C., Chang, H. C., Lin, H. P., ... & Lin, C. Y. (2008). Using Gelatin As Protecting Agent And Organic Template To Synthesize Noble Metal Nanoparticles And Metal Nanoparticles@ Mesoporous Silica For SERS And CO Oxidation Applications. *Sensors And Materials*, 20(8), 389-396.
- [9] Delvia, F dan Aini, S. (2020). Pengaruh Waktu Aging Terhadap Kristalinitas dan Ukuran Partikel Silika Mesopori. *Chemistry Journal of State University of Padang*.
- [10] Fauziah, R., Azhar, M., Sanjaya, H., & Amran, A. (2020). Kelarutan CdS dan CuS dalam Gelasi Mikroemulsi Water In Oil Sistem Air, Surfaktan SDBS dan Pentanol. *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP*, 9(2), 1-5.
- [11] M. Vallet-Regí, M. Colilla, I. Izquierdo-Barba, and M. Manzano, "Mesoporous Silica Nanoparticles For Drug Delivery: Current Insights," *Molecules*, vol. 23, no. 1, 2018, doi: 10.3390/molecules23010047.

- [12] Mufida, S. N., & Herdyastuti, N. (2022). Ekstraksi Gelatin Sisik Ikan Nila (*Oreochromis spp.*) dengan Variasi Konsentrasi Asam Sitrat dan Waktu Demineralisasi. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 6(3), 193–204. <https://doi.org/10.46252/jsai-fpik-unipa.2022.vol.6.no.3.237>
- [13] komal jadhav, "Mesoporous Silica Nanoparticles (MSN): A Nanonetwork and Hierarchical Structure in Drug Delivery," *J. Nanomedicine Res.*, vol. 2, no. 5, pp. 156–161, 2015, doi: 10.15406/jnmr.2015.02.00043.
- [14] Nuri, A. (2021). Pengaruh Massa Surfaktan P104 dalam Sintesis Silika Mesopori Menggunakan Prekursor Natrium Silikat (Na_2SiO_3) dari Pasir Silika dengan Metoda Sol-Gel (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Padang).
- [15] Puspawati, N. M., Simpen, I. N., & Miwada, S. N. (2012). Isolasi Gelatin Dari Kulit Kaki Ayam Broiler Dan Karakterisasi Gugus Fungsinya Dengan Spektrofotometri Ftir. *Jurnal Kimia*, 6(1), 79–87.
- [16] Retuert et al. (2004). Highly Porous Silica Networks Derived From Gelatin/Siloxane Hybrids Prepared Starting From Sodium Metasilicate. *Journal Of Noncrystalline Solids* 347 (2004) 273-278
- [17] Setyawan, H., & Balgis, R. (2011). Mesoporous Silicas Prepared From Sodium Silicate Using Gelatin Templating. *Heru Technology*, 7(17), 743–753. <https://doi.org/10.1002/api>
- [18] Silvia L, Z. M. (2020). Analisis Silika (SiO_2) Hasil Kopresipitasi Berbasis Bahan Alam Menggunakan Uji XRF dan XRD. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya* 12
- [19] Sirait, N.A., Aini, S., Zainul, R., & Mulia, M. (2024). Sintesis dan Karakterisasi Silika Berpori dari Natrium Silikat dan Surfaktan Gelatin Kulit Ikan Tuna Sirip Kuning *Thunnus Albacares*. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8(2), 18628-18637.
- [20] Yun-yu, Z., Xiao-xuan, L., & Zheng-xing, C. (2012). Rapid Synthesis Of Wellordered Mesoporous Silica From Sodium Silicate. *Powder Technology*, 226, 239–245. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2012.04.054>
- [21] Zhou, Y. Y., Li & chen, Z. xing. (2012). Rapid Synthesis Of Well- Ordered Mesoporous Silica From Sodium Silicate. *Powder Technology*, 226, 239-245, <https://doi.org/10.1016/J.Powtec.2012.04.054>.