SSN: 2614-6754 (print)
ISSN: 2614-3097(online)

Halaman 29697-29706
Volume 8 Nomor 2 Tahun 2024

Penggunaan Gelatin Kulit Ikan Mas (*Crypinus carpio*) sebagai Surfaktan dalam Sintesis Nanopartikel Silika dari Natrium Silikat

Afrina Atri Murni[1], Syamsi Aini[2]

[12]Program Studi Kimia, Universitas Negeri Padang
e-mail: afrinaartimurni@gmail.com

Abstrak

Nanopartikel (NP) silika merupakan material padat yang banyak dimanfaatkan berbagai aplikasi seperti *drug delivery*, katalis, sensor, adsorpsi, dan kromatografi. Dalam penelitian ini, gelatin diekstraksi dari kulit ikan mas (*Crypinus carpio*) menggunakan metode asam basa. NP silika disintesis dari sumber alami natrium silikat dengan gelatin kulit ikan mas (GM) sebagai surfaktan menggunakan metode sol gel. Penggunaan surfaktan gelatin kulit ikan mas dilakukan untuk melihat morfologi dan ukuran partikel NP silika yang dihasilkan. Gelatin dikarakterisasi menggunakan FTIR dan NP silika dikarakterisasi menggunakan instrumen XRD, FTIR dan SEM. Hasil FTIR gelatin kulit ikan mas menunjukkan adanya 4 daerah serapan khas untuk struktur gelatin, yaitu amida A, amida I, amida II dan amida III. Pola difraktogram menunjukkan bahwa NP silika merupakan jenis kristal kristobalit. FTIR silika menunjukkan bahwa gelatin telah lepas sepenuhnya dari silika. Hasil SEM silika menunjukkan sampel berbentuk tabung bercabang dan ukuran partikel 84 nm.

Kata kunci: *Nanopartikel Silika, Gelatin, Sol-Gel*

Abstract

Silica nanoparticles (NPs) are solid materials that are widely used in various sciences such as drug delivery, catalysts, sensors, adsorption, and chromatography. In this study, gelatin was extracted from carp (Crypinus carpio) skin using the acid-base method. Silica NPs were synthesized from the natural source of sodium silicate with goldfish skin gelatin (GM) as surfactant using sol gel method. The use of carp skin gelatin surfactant was done to see its effect on the morphology and particle size produced. Gelatin was characterized using FTIR and mesoporous silica was characterized using XRD, FTIR and SEM instruments. FTIR results of carp skin gelatin showed the presence of 4 typical absorption regions for gelatin structure, namely amide A, amide I, amide II and amide III. The diffractogram pattern showed that the silica NPs were crystalline cristobalite type. The FTIR of silica showed that the gelatin

had completely separated from the silica. SEM results of silica showed that the sample was in the shape of a branched tube and the particle size was 84 nm.

Keywords : Silica Nanoparticles*, Gelatin, Sol-Gel*

PENDAHULUAN

Nanopartikel (NP) silika merupakan material padat dengan pori-pori berukuran 1-100nm. Nanopartikel silika memiliki struktur yang sangat teratur, luas permukaan yang tinggi, stabilitas termal yang tinggi dan ukurannya bisa dikontrol. Dari sifat struktural dan kimianya tersebut, nanopartikel silika dimanfaatkan dalam berbagai ilmu seperti *drug delivery*, katalis, sensor, adsorpsi, kromatografi, dan lain-lain [1]. Sintesis nanopartikel silika umumnya menggunakan empat bahan dasar utama yaitu sumber silika, surfaktan, pelarut dan aditif. NP silika dapat dibuat dari alkoksida seperti tetraetil ortosilikat (TEOS), trimetil ortosilikat (TMOS) atau garam logam anorganik seperti natrium silikat. TEOS atau TMOS umumnya digunakan untuk sintesis NP silika. Namun karena harganya yang mahal dan bersifat beracun karena menghasilkan produk samping berupa alkohol, maka diperlukan sumber alami yang tersedia, non hayati atau hayati, dan tidak beracun untuk sintesis NP silika seperti natrium silikat. Natrium silikat sebagai sumber yang lebih ekonomis dan tidak beracun dapat menjadi sumber silika yang sangat baik untuk pembuatan NP silika [2].

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. Aini & Efendi (2009) sebelumnya telah melakukan penelitian dengan mencampurkan silika dengan NaOH dan Na_2CO_3 dengan perbandingan massa 4:4:1 pada suhu 300º C. Silika (SiO_2) memiliki peran penting dalam pembentukan natrium silikat. Silika adalah mineral yang terbentuk dari silikon dan oksigen, dan ketika direaksikan dengan natrium pada suhu tinggi, menghasilkan natrium silikat dengan kualitas yang baik. Silika dapat diperoleh dari berbagai sumber, salah satunya adalah pasir silika [3].

Indonesia merupakan negara dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia, yang mencapai lebih dari 81.290 km, memiliki sumber daya pasir yang melimpah. Pasir silika atau pasir kuarsa adalah endapan hasil pelapukan batuan yang kaya akan mineral kuarsa (SiO_2). Komposisi pasir kuarsa mencakup beberapa unsur seperti SiO_2, Al_2O_3, CaO, Fe_2O_3, TiO_2, CaO, MgO, dan K_2O. Pasir kuarsa ini memiliki warna yang bervariasi, mulai dari putih bening hingga warna lain tergantung pada senyawa pengotor yang terdapat dalam endapan tersebut [4]. Sumatera barat dikenal sebagai provinsi yang memiliki cadangan silika yang cukup tinggi yakni sebesar 82,5% dari cadangan silika di Indonesia dan belum dimanfaatkan secara optimal. Pasir silika ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan Na_2SiO_3 untuk sintesis NP silika [5].

Nanopartikel silika dapat disintesis dengan berbagai metode seperti metode sol gel, metode hidrotermal, metode kopresipitasi dan lain sebagainya [7]. Metode yang

umum digunakan adalah metode sol-gel. Proses sol-gel dipilih untuk sintesis NP silika karena dilakukan pada suhu yang rendah, prosesnya yang mudah dan produk yang dihasilkan memiliki kemurnian tinggi dan homogenitas yang baik [7][8].

Selain sumber silika, sintesis nanopartikel silika juga memerlukan surfaktan yang berfungsi sebagai pengarah struktur pori. Surfaktan adalah molekul yang memiliki gugus polar (hidrofilik) di bagian kepala dan gugus non polar (hidrofobik) di bagian ekor Surfaktan diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu surfaktan kationik, surfaktan anionik dan surfaktan nonionik [9]. Sintesis NP silika biasanya menggunakan surfaktan komersial seperti CTAB dan P104. Namun, karena harganya yang mahal dan bersifat toksik, maka diperlukan surfaktan dari sumber alami untuk sintesis nanopartikel silika. Dalam hal ini, gelatin dapat dijadikan sebagai alternatif dalam pembuatan NP silika.

Gelatin adalah hasil hidrolisa kolagen yang berasal dari kulit dan tulang hewan [11]. Kulit dan tulang hewan yang biasanya dijadikan sebagai sumber gelatin adalah babi dan sapi. Gelatin yang berasal dari babi atau sapi mungkin tidak dapat diterima oleh beberapa kelompok agama seperti muslim, yahudi, dan hindu karena adanya pembatasan tertentu [12]. Gelatin dari kulit babi dianggap sebagai bahan yang haram oleh pemeluk agama islam, sementara pemeluk agama hindu cenderung menghindari gelatin yang berasal dari sapi. Dalam hal ini, gelatin yang dihasilkan dari kulit ikan dapat menjadi alternatif yang sesuai dengan prinsip halal dan dapat diterima oleh berbagai kelompok agama, termasuk muslim, yahudi, dan hindu. Beberapa jenis kulit ikan yang dapat diekstrak menjadi gelatin adalah ikan cod, ikan nila, dan ikan mas [13].

Pada penelitian ini, untuk sintesis NP silika digunakan gelatin dari kulit ikan mas untuk melihat pengaruhnya terhadap morfologi dan ukuran partikel yang dihasilkan. Gelatin dianalisa persen hasil, kesamaan warna fisik dengan gelatin standar dan analisa gugus fungsi gelatin menggunakan instrument FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*). Sementara NP silika dianalisa menggunakan instrumen XRD, FTIR dan SEM. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan evaluasi dan solusi tentang Na_2SiO_3 dari pasir silika dan pemanfaatan gelatin kulit ikan mas sebagai surfaktan alami.

METODE

Alat

Peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu *magnetic stirrer*, corong *buncher*, *spin bar*, pipet volume, gelas ukur, erlenmeyer, batang pengaduk, gelas kimia, pH meter, labu ukur, spatula, neraca analitik, *furnace*, oven, desikator, cawan *cruscible*, pisau, lumpang alu, kertas saring, termometer, SEM, FTIR, XRD, dan BET.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir silika, NaOH, kulit ikan mas, akuades, trietanolamin (TEA), HCl, HNO_3, CH_3COOH dan Na_2CO_3.

Prosedur Kerja

1. Ekstraksi Gelatin Kulit Ikan Mas

Ekstrasi gelatin kulit ikan mas menggunakan metode yang telah dilakukan oleh Sirait (2024) dengan beberapa modifikasi. kulit ikan mas segar di *pre-treatment* terlebih

dahulu untuk menghilangkan protein non kolagen. Kulit ikan mas direndam dalam 0,1 M NaOH dengan perbandingan rasio kulit dan NaOH 1:10 w/v. Campuran diaduk selama 2 jam pada suhu kamar. Larutan NaOH diganti setiap 1 jam, setelah itu dicuci dengan akuades sampai pH netral. Kemudian dilanjutkan dengan perendaman dalam larutan asam asetat 0,05 M selama 1 jam dengan pengadukan lembut sampai kulit membengkak. Kulit yang membengkak dinetralkan dengan akuades kemudian direndam dalam air suhu 60 ˚C pada waterbatch 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 [14].

2. Sintesis Nanopartikel Silika

Nanopartikel Silika disintesis menggunakan natrium silikat dan bubuk gelatin dalam air dengan konsentrasi 1,25% dan TEA. Sebanyak 19,6 gr natrium silikat dilarutkan dalam 100 ml air, lalu ditambahkan secara bertahap ke larutan gelatin yang telah dicampurkan dengan TEA dengan variasi 1,25%, hingga terbentuk sol ≡SiOH, sol ditambahkan dengan HCl 2 M untuk menyempurnakan pembentukan asam silikat dipermukaan misel gelatin. Refluks larutan Selama 2 jam pada suhu 90˚C untuk membentuk gel dipermukaan misel, gelatin gel yang terbentuk didiamkan selama 24 jam agar terjadi pengendapan sempurna. Endapan silika yang terbentuk kemudian dikalsinasi pada suhu 300 ˚C 1 jam, setelah itu naikkan suhu menjadi 650 ˚C selama 5 jam hingga terbentuk silika berpori [4].

3. Karakterisasi Gelatin

Gelatin dikarakterisasi menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) untuk mengidentifikasi gugus fungsi Gelatin kulit ikan mas dan gelatin standar. Sampel diambil sebanyak 2 mg kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR.

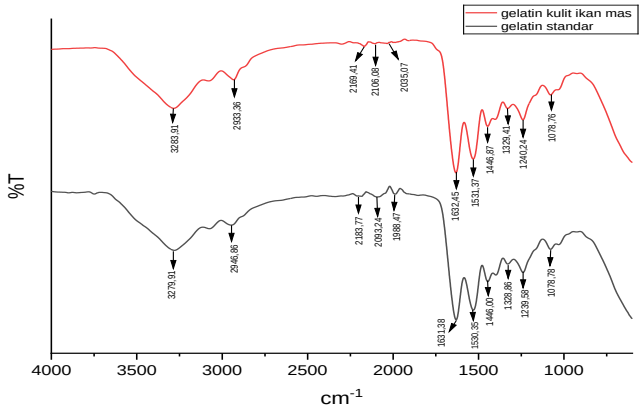
4. Karakterisasi Silika Berpori

Karakterisasi NP silika menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). XRD digunakan untuk menentukan kristalinitas dari NP silika, FTIR untuk mengetahui gugus fungsi surfaktan telah hilang pada NP silika, dan SEM untuk mengetahui morfologi dan ukuran partikel silika.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Gelatin Kulit Ikan Mas

Karakterisasi gelatin digunakan untuk memastikan bahwa hasil penelitian yang didapatkan adalah gelatin. Gugus-gugus fungsi khas gelatin seperti hidroksil (OH), karbonil (C=O) dan amina (NH_2) dapat diidentifikasikan menggunakan FTIR dengan rentang panjang gelombang 4000-500 cm^{-1}. Hasil sepektrum FTIR gelatin kulit ikan mas dan gelatin standar dapat dilihat padsa gambar 1.



Gambar 1. Hasil FTIR gelatin kulit ikan mas dan gelatin standar

Hasil analisa FTIR yang telah dilakukan menunjukkan adanya puncak serapan amida A, amida I, amida II dan amida III yang mengidentifikasikan gugus pada gelatin. Daerah serapan khas pada amida A pada gelombang 3600-2300 cm^{-1}, amida I pada gelombang 1661-1636 cm^{-1}, amida II pada gelombang 1560-1335 cm^{-1} dan amida III pada gelombang 1300-1200 cm^{-1}. Pada penelitian ini gelatin yang dihasilkan memilki daerah serapan amida A muncul pada bilangan gelombang 3283,90 cm^{-1} dan 2930,60 cm^{-1}. Sedangkan gelatin standar memiliki daerah serapan amida A muncul pada bilangan gelombang 3279,91 cm^{-1} dan 2946,86 cm^{-1}. Daerah serapan 3279,91 cm^{-1} dan 3279,91 cm^{-1} ini disebabkan oleh adanya ikatan regangan N-H dari gugus amida yang berasosiasi dengan ikatan hidrogen. Daerah serapan ini disebabkan adanya gugus NH dari suatu peptida terlibat dalam ikatan hydrogen. Daerah serapan pada bilangan gelombang 2930,60 cm^{-1}, dan 2946,86 cm^{-1} mengidentifikasikan NH dalam amida akan cenderung berikatan dengan regangan CH_2 apabila gugus karboksilat dalam keadaan stabil.

Gugus khas gelatin berikutnya adalah amida I. Pada penelitian ini gelatin yang dihasilkan memiliki daerah serapan amida I pada bilangan gelombang 1632,45 cm^{-1}, sedangkan gelatin standar memiliki daerah serapan pada bilangan gelombang 1631,38 cm^{-1}. adanya peregangan gugus karbonil ikatan C=O sepanjang polipeptida dengan kontribusi ikatan NH dan renggangan CN dan menjadi faktor penting dalam perannya untuk mengetahui struktur sekunder dari protein. Daerah serapan amida I ini menunjukkan adanya regangan C=O dan gugus OH yang berpasangan dengan gugus karboksil. Amida I terdiri dari empat komponen struktur sekunder protein yaitu α-*helix*, β-*sheet*, β-*turn* dan *random coil* (residu imida) yang saling bertumpang tindih.

Gugus khas gelatin selanjutnya adalah amida II. Pada penelitian ini gelatin yang dihasilkan memiliki daerah serapan amida II pada bilangan gelombang 1531,37 cm^{-1} dan 1446,87 cm^{-1}, sementara gelatin standar memiliki daerah serapan pada bilangan gelombang 1530,35 cm^{-1} dan 1446,00 cm^{-1}. Daerah serapan ini mengidentifikasikan deformasi NH dan vibrasi bending CH_2 dari gugus prolin.

Gugus khas terakhir dari gelatin adalah amida III. Pada penelitian ini gelatin yang dihasilkan memiliki daerah serapan amida III pada bilangan gelombang 1240,24

cm^{-1}, sedangkan gelatin standar memiliki daerah serapan pada bilangan gelombang 1239,58 cm^{-1}. Hal ini menunjukkan bahwa gelatin penelitian maupun gelatin standar masih ada sebagian kecil dari struktur kolagen yang belum terdenaturasi menjadi gelatin dan lolos dalam proses penyaringan ekstrak gelatin. Bila puncak serapan tidak memperlihatkan serapan pada daerah tersebut maka sudah tidak ada lagi struktur kolagen atau sudah terdenaturasi semuanya menjadi gelatin.

2. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Silika

1. Sintesis Nanopartikel Silika

Sintesis NP dilakukan dengan mereaksikan natrium silikat dengan larutan gelatin 1,25% menggunakan metode Sol-gel. Tahapan pertama, gelatin dilarutkan dalam air, gelatin akan membentuk misel yang dapat berpolimeriasi sehingga terbentuk ikatan hidrogen antara gugus amina pada gelatin. Trietanolamin (TEA) ditambahkan kedalam larutan gelatin untuk mencegah terjadinya aglomerasi. Campuran larutan diaduk menggunakan stirrer dengan kecepatan konstan agar larutan homogen dengan sempurna. Selanjutnya natrium silikat (Na_2SiO_3) ditambahkan kemudian diaduk kembali. HCl 2M ditambahkan secara perlahan sampai terbentuk sol. Penambahan asam dimaksudkan untuk mengatur pH dalam pembentukan sol dan untuk menyempurnakan pembentukan sol pada ≡SiOH. Reaksi kimia yang terjadi dalam proses sintesis NP silika menggunakan surfaktan gelatin dan penambahan asam:

$$Na_2SiO_3 + 2HCl \rightarrow Si(OH)_4 + 2NaCl \quad (1)$$

$$Si(OH)_4 \rightarrow SiO_2 + 2H_2O \text{ (Silvia, 2020)} \quad (2)$$

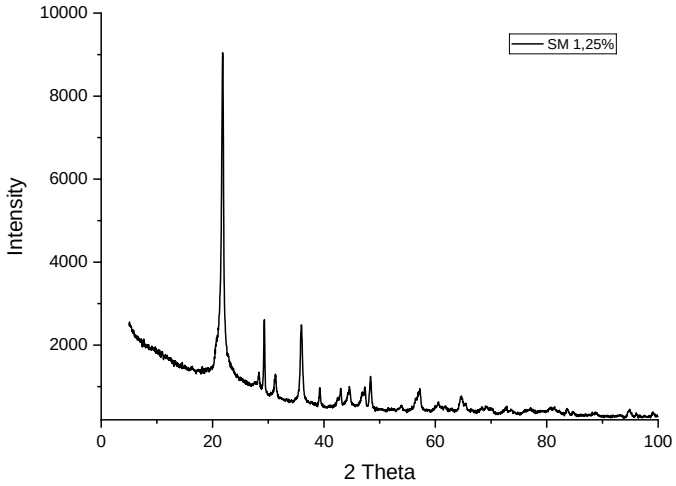
Sintesis nanopartikel silika dilanjutkan dengan proses refluks yang bertujuan untuk pembentukan gel. Pembentukan gel terjadi ketika misel-misel gelatin yang telah berpolimerisasi berikatan dengan silikat. Interaksi silikat-gelatin antara atom nitrogen dalam gugus amina gelatin dan ion silikat dalam kondisi asam menginduksi pembentukan jaringan gel untuk pertumbuhan partikel silika. Larutan didiamkan selama 24 jam untuk mendapatkan endapan yang sempurna. Endapan tersebut dikalsinasi pada suhu 300℃ selama 1 jam dilanjutkan pada suhu 650℃ selama 5 jam untuk menghilangkan surfaktan pada silika. NP silika dengan surfaktan gelatin kulit ikan mas dengan variasi 1,25% ditunjukkan oleh gambar 2.

Gambar 2. NP silika dengan gelatin kulit ikan mas 1,25%

2. Karakterisasi Nanopartikel Silika

a. XRD

Analisa XRD dilakukan untuk mengetahui pola difraktogram dan fasa kristal NP silika. Hasil analisa XRD memberikan informasi yang terdapat pada puncak 2θ = 21-36˚. Analisa XRD nanopartikel silika yang dihasilkan menunjukkan adanya pola difraksi yang terbentuk pada puncak tajam 2θ = 21-36˚. Pola difraktogram nanopartikel ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 3. Pola difraktogram NP silika

Berdasarkan hasil uji XRD NP silika yang dihasilkan merupakan silika jenis kristobalit, hal ini sesuai dengan data silika kristobalit standar dengan sistem kristal tetragonal yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan data silika kristobalit dan nanopartikel silika

Silika Standar Kristobalit	SM 1,25%
21,929°	21,8527°
28,448°	28,3529°

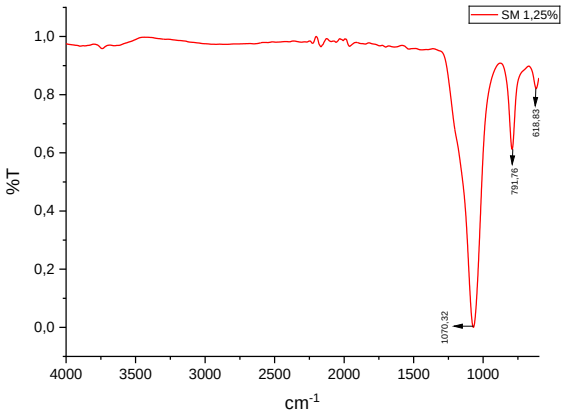
Berdasarkan data diatas, NP silika termasuk silika jenis kristobalit karena posisi puncak 2θ yaitu pada 21,8527° dan 28,3529° memiliki keberadaan yang sama dengan data silika standar kristobalit yang memiliki posisi puncak 2θ pada 21,929° dan 28.448°.

Puncak yang dihasilkan difraktogram menunjukkan kristalinitas suatu material. Puncak yang terlihat jelas dan tajam karena memiliki intensitas yang tinggi. Semakin tinggi intensitasnya maka kristalinitas suatu material akan semakin tinggi [17].

b. FTIR

Analisis FTIR digunakan untuk memastikan bahwa surfaktan gelatin telah lepas dan mengidentifikasikan gugus fungsi dari NP silika yang dihasilkan. Hasil spektrum FTIR menampilkan informasi puncak daerah serapan pada rentang 4000-600 cm^{-1}.

Hasil FTIR NP silika dengan surfaktan gelatin kulit ikan mas dapat dilihat pada gambar 4.

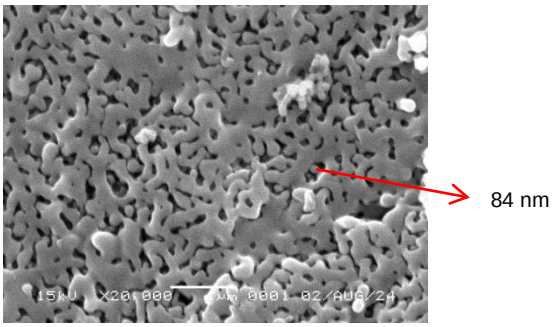


Gambar 4. Hasil FTIR NP silika dengan gelatin kulit ikan mas

Berdasarkan gambar dapat dilihat bahwa surfaktan gelatin telah lepas dari NP silika. Hal ini ditandai dengan tidak ada lagi gugus fungsi khas gelatin pada spektrum yang dihasilkan. Gugus fungsi khas pada gelatin yaitu amida A, amida I, amida II dan amida III. Daerah serapan khas amida A pada bilangan 3600-2300 cm^{-1}, amida I pada gelombang 1661-1636 cm^{-1}, amida II pada gelombang 1560-1335 cm^{-1} dan amida III pada gelombang 1300-1200 cm^{-1} [16]. Hasil analisis FTIR pada gambar terlihat bahwa pada bilangan gelombang 0000 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur asimetris gugus Si-O dari Si-O-Si dan pada bilangan gelombang 0000 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur simetris gugus Si-O dari Si-O-Si. Sedangkan pada bilangan gelombang 0000 cm^{-1} menunjukkan vibrasi tekuk dari gugus Si-O-Si.

c. SEM

Analisa SEM digunakan untuk mengetahui morfologi dari NP silika yang dihasilkan. SEM dilakukan pada perbesaran 20.000 X dan skala bar 1µm atau 1000 nm. Morfologi NP silika yang dihasilkan memiliki struktur seperti batang bercabang. Hasil analisa SEM NP silika dengan surfaktan gelatin kulit ikan mas ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 5. NP silika dengan gelatin kulit ikan mas

Beberapa faktor 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 gelatin kulit ikan mas merupakan surfaktan kationik 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 seperti batang selama proses sintesis [15].

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan: Hasil FTIR pada gelatin kulit ikan mas menunjukkan adanya 4 daerah serapan khas untuk struktur gelatin, yaitu amida A, amida I, amida II dan amida III. Pola difraktogram menunjukkan bahwa NP silika merupakan jenis kristal kristobalit. Spektrum FTIR silika menunjukkan bahwa gelatin telah lepas sepenuhnya dari silika. Hasil SEM silika menunjukkan sampel berbentuk tabung bercabang dan ukuran partikel 84 nm.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Alzain, M., Aini, S., & Santika, R. (2019). Potential of Na2SiO3 was Synthesized from Tuff Stones as Precursor Synthesis Mesoporous Silica Potensi Na2SiO 3 yang Disintesis dari Batu Tuff sebagai Bahan Dasar Sintesis Silika Mesopori. *Chemistry Journal*, *8*(1). https://doi.org/10.1351/PAC-REC-10

[2] Porrang, S., Rahemi, N., Davaran, S., Mahdavi, M., & Hassanzadeh, B. (2021). Synthesis of temperature/pH dual-responsive mesoporous silica nanoparticles by surface modification and radical polymerization for anti-cancer drug delivery. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *623*. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.126719

[3] Adziimaa, A. F. (2013). Sintesis Natrium Silikat dari Lumpur Lapindo sebagai Inhibitor Korosi. Jurnal Teknik ITS, 2(2), F384-F389.

[4] Trivana, L., Sugiarti, S., & Rohaeti, E. (2015). Sintesis dan karakterisasi natrium silikat (Na2SiO3) dari sekam padi. Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan, 7(2), 66-75.

[5] Aini, S., & 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.

[6] Falk, G., Shinhe, G. P., Teixeira, L. B., Moraes, E. G., & de Oliveira, A. P. N. (2019). Synthesis of silica nanoparticles from sugarcane bagasse ash and nano-silicon via magnesiothermic reactions. Ceramics International, 45(17), 21618–21624. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.07.157

[7] Ni'mah, Y. L., Muhaiminah, Z. H., & Suprapto, S. (2023). Synthesis of Silica

Nanoparticles from Sugarcane Bagasse by Sol-Gel Method. Nano Particle, 4(1). https://doi.org/10.35702/nano.10010

[8] Bokov, D., Turki Jalil, A., Chupradit, S., Suksatan, W., Javed Ansari, M., Shewael, I. H., Valiev, G. H., & Kianfar, E. (2021). Nanomaterial by Sol-Gel Method: Synthesis and Application. In Advances in Materials Science and Engineering (Vol. 2021). Hindawi Limited. https://doi.org/10.1155/2021/5102014

[9] Zhao, D., & Wan, Y. (2007). The synthesis of mesoporous molecular sieves. Stud Surf Sci Catal, 168, 241-300.

[10] Retuert, J., Martinez, Y., Quijada, R., & Yazdani-Pedram, M. (2004). Highly porous silica networks derived from gelatin/siloxane hybrids prepared starting from sodium metasilicate. Journal of Non-Crystalline Solids, 347(1–3), 273–278. https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2004.09.017

[11] Ratnasari, I. (2016). Physico-chemical characterization and skin gelatin rheology of four freshwater fish as alternative gelatin source (Vol. 9, Issue 6). http://www.bioflux.com.ro/aacl

[12] Tkaczewska, J., Morawska, M., Kulawik, P., & Zając, M. (2018). Characterization of carp (Cyprinus carpio) skin gelatin extracted using different pretreatments method. Food Hydrocolloids, 81, 169–179. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.048

[13] Jamilah, B., & Harvinder, K. G. (n.d.). Properties of gelatins from skins of fish-black tilapia (Oreochromis mossambicus) and red tilapia (Oreochromis nilotica). www.elsevier.com/locate/foodchem

[14] 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.

[15] Yun, L., Zhao, J., Kang, X., Du, Y., Yuan, X., & Hou, X. (2017). Preparation and properties of monolithic and hydrophobic gelatin–silica composite aerogels for oil absorption. Journal of Sol-Gel Science and Technology, 83(1), 197–206. doi:10.1007/s10971-017-4378-z

[16] Puspawati N. M., S. I. (2012). Isolasi Gelatin Dari Kulit Kaki Ayam Broiler Dan Karakterisasi Gugus Fungsinya Dengan Spektrofotometri Ftir. Jurnal Kimia 6, 79-87.

[17] Hartono, Sandy Budi, And Lannie Hadisoewignyo. 2017. Pembuatan Dan Pemanfaatan Silika Mesopori.