



Enkapsulasi Vitamin C Dalam Silika dengan Prekursor TEOS/MTES/PVA melalui Proses Sol-Gel

Intan Wahyu Febriani¹, Sriyanti^{1*}, dan Sriatun¹

¹Laboratorium Fisik, Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto S.H, Tembalang, Semarang 50275

*Corresponding author: sriyanti@live.undip.ac.id

Abstract

Enkapsulasi vitamin C telah dilakukan dengan membuat matriks silika gel dengan prekursor *Tetraethylorthosilicate- Methyltriethoxysilane* (TEOS-MTES), menggunakan katalis basa NaOH dan penambahan bahan polimer *Polivinil Alkohol* (PVA). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan matriks yang terbaik untuk bahan enkapsulasi. Larutan dibuat dengan metode *sol-gel*, kemudian ditambahkan vitamin C untuk model pengenkapsulasian dan dilakukan variasi matriks TEOS:MTES:PVA berturut-turut (2:1:1, 2:1:3, dan 2:1:6) untuk meningkatkan kestabilan enkapsulasi. Karakterisasi sampel yang digunakan adalah FTIR untuk mengetahui gugus fungsi dari vitamin C dalam silika, analisis efisiensi enkapsulasi, loading capacity dan pelepasan terkendali menggunakan UV-Vis. Kemudian untuk mengetahui morfologi permukaan dengan SEM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya bilangan gelombang 1751 cm^{-1} yang merupakan gugus fungsi dari vitamin C yang terenkapsulasi, matriks terbaik untuk enkapsulasi dengan parameter tingginya persentase efisiensi enkapsulasi pada perbandingan 2:1:1 yaitu 65,5%, loading capacity setinggi 0,56% dan pelepasan terkendali paling lambat. Pada karakterisasi SEM tidak terlihat jelas vitamin C terenkapsulasi).

Kata Kunci: Enkapsulasi, Vitamin C, Silika, Sol-Gel

1. Pendahuluan

Vitamin C merupakan antioksidan terkenal sebagai nutrisi penting yang terlibat dalam berbagai bidang dermatologis, farmasi, dan fungsi biologis, hingga membantu pengolahan makanan. Vitamin ini memiliki kelebihan dapat mengurangi kerusakan akibat radikal bebas pada kulit, menunda penuaan dan mengurangi pembentukan melanin [1-3]. Vitamin C juga memiliki kekurangan di antaranya mudah teroksidasi dalam kondisi ruang, suhu dan paparan cahaya [4], sehingga untuk mengatasi kelemahannya maka enkapsulasi merupakan salah satu metode untuk melindungi vitamin C dari kerusakan [5].

Menurut Revuelta, Fernández Van Raap [5], vitamin C berhasil dienkapsulasi dalam tetraethylorthosilicate (TEOS) dan methyltrimethoxysilane (MTMS) yang berguna sebagai pembawa dalam makanan dan kemasan obat. Pada uji waktu rilis menggunakan HPLC, vitamin C yang terlepas sebanyak 60% dengan waktu 3-4 jam. Rashidi, Vasheghani-Farahani [6] mengenkapsulasikan vitamin C dalam TEOS dan N-cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) yang berguna sebagai pembawa dalam makanan dan kemasan obat dengan uji pelepasan terkendali menggunakan larutan *Simulated Gastric Fluid* (SGF)

pH 1,2 menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil yang di peroleh untuk pelepasan vitamin C dengan variasi medium cair menunjukkan bahwa pelepasan simulasi ke cairan lambung (pH 1,2) lebih lambat dibandingkan ke cairan tubuh (pH 7,4).

Berdasarkan penjelasan latar belakang tersebut, maka pada penelitian ini akan dikaji mengenai enkapsulasi vitamin C menggunakan prekursor TEOS/MTES/PVA dengan variasi PVA sebagai kestabilan emulsi sehingga diharapkan semakin besar konsentrasinya maka semakin meningkatkan efisiensi enkapsulasi dan mampu memperlambat waktu pelepasannya. Dari penelitian ini diharapkan dapat menentukan komposisi terbaik dari hasil sintesis silika gel dengan prekursor TEOS/MTES/PVA untuk enkapsulasi vitamin C.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan meliputi sintesis silika gel dan enkapsulasi vitamin C dalam silika dengan prekursor TEOS/MTES/PVA melalui proses sol-gel di Laboratorium Anorganik.

Doi:

2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu peralatan gelas, pipet tetes, penjepit, cawan porselen, spatula, oven, pHmeter, furnace vulcan 3-130, Spektrofotometri Ultraviolet (UV-Vis) T60U, pH meter, FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) SHIMADZU MB3000, Scanning Electron Microscopy (SEM) JSM-6510LA.

Bahan digunakan adalah Serbuk Vitamin C, Natrium Hidroksida (NaOH) p.a, Methyltriethoxysilane SIGMA 98%, Tertaethylorthosilicate SIGMA 98%, Polivinil Alkohol (PVA) 3000, Asam Klorida (HCl) 37%, Natrium Klorida (NaCl) p.a).

2.2. Prosedur Penelitian

2.2.1 Sintesis Silika Gel dengan Prekursor TEOS/MTES/PVA

Sintesis dilakukan dengan modifikasi pencampuran menggunakan perbandingan TEOS:MTES:PVA (2:1:1), (2:1:3) dan (2:1:6), 5 mL etanol dan 1,5 mL NaOH 0,1M. Selanjutnya diaduk dengan pengaduk magnet selama 2 jam pada suhu 60°C. Kemudian pendiaman pada temperatur kamar hingga terbentuk gel padat transparan. Lalu dikeringkan menggunakan oven selama 3 jam pada suhu 80°C. Hasil yang diperoleh dihaluskan dan dikarakterisasi menggunakan FTIR.

2.2.2 Pengenkapsulasian vitamin C dalam Silika

Enkapsulasi dilakukan dengan modifikasi menggunakan TEOS:MTES:PVA (2:1:1, 2:1:3, dan 2:1:6), 5 mL etanol dan 1,5 mL NaOH 0,1 M. Penambahan 3 mL vitamin C dengan konsentrasi 100 ppm. Selanjutnya diaduk dengan pengaduk magnet selama 2 jam pada temperatur ruang. Dilakukan pendiaman pada temperatur kamar hingga terbentuk gel padat transparan. Hasil yang diperoleh dihaluskan dan dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk identifikasi gugus fungsi. Sisanya, digunakan untuk efisiensi enkapsulasi analisis menggunakan spektrometer UV-Vis.

2.2.3 Pembuatan Larutan Simulated Gastric Fluid (SGF) pH 1,2

Sebanyak 1 gram NaCl di timbang dan dilarutkan ke dalam aquades hingga volume larutan mencapai 400 mL Penambahan HCl p.a dilakukan secara tetes demi tetes dalam larutan NaCl hingga diperoleh larutan dengan pH 1,2.

2.2.4 Uji Efisiensi Enkapsulasi dan Loading Capacity

Efisiensi enkapsulasi (%EE) dan *Loading Capacity* (%LC) vitamin C terenkapsulasi dengan silika gel di tentukan sesuai dengan metodologi yang di laporkan oleh (Yan dkk.,2014). Sebanyak 5 mg hasil enkapsulasi vitamin C di larutkan dalam 10 mL larutan aquades dan di stirrer selama 1 jam. Hasil filtrat yang di peroleh di analisis

menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 266 nm.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Sintesis Silika gel dengan Prekursor TEOS/MTES/PVA

Sintesis silika gel dilakukan dengan metode sol-gel dan menggunakan prekursor TEOS/MTES/PVA. Pada sintesis di gunakan prekursor awal silikon alkoksida tetraetilortosilikat untuk mengubah gugus Si-OR menjadi Si-OH melalui proses hidrolisis dengan penambahan MTES. Proses tersebut bertujuan memodifikasi silika gel menjadi hibrida metil silika. Adanya gugus metil(-CH₃) akan menambah sifat hidrofobisitas dari polutan-polutan organik yang tidak terlalu polar. Keberhasilan sintesis sangat bergantung pada kesempurnaan reaksi hidrolisis dan reaksi kondensasi, tetapi kedua reaksi tersebut membutuhkan waktu yang lama, sehingga perlu di tambahkan katalis basa NaOH.

Kemudian untuk meningkatkan luas permukaan dan stabilitas reaksi yang berikatan dengan silanol dengan menambahkan template (PVA) selama proses sintesis sebagai *pore perfoming agent* atau pembentuk pori dengan proses sol gel. Hasil yang di peroleh dari sintesis tersebut adalah berupa serbuk putih.

3.2. Proses Enkapsulasi Vitamin C dalam silika gel

Pembentukan enkapsulasi vitamin C dalam silika gel dilakukan dengan proses sol-gel. Modifikasi dilakukan dengan tiga variasi komposisi yang digunakan yaitu TEOS:MTES:PVA (2:1:1), (2:1:3) dan (2:1:6). Silika gel dan hibrida metil silika dilakukan melalui proses sol-gel, yaitu meliputi transisi sistem dari fasa larutan sol menjadi fasa padat gel yang berlangsung pada temperature kamar. Prekursor awal silikon alkoksida tetraetilortosilikat, sehingga diperlukan konversi dari gugus Si-OR menjadi Si-OH melalui proses hidrolisis.

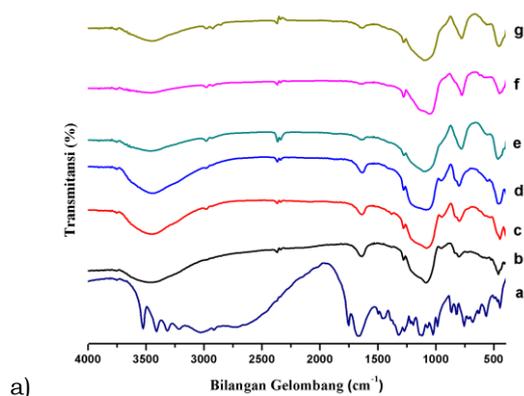
Keberhasilan sintesis sangat bergantung pada kesempurnaan reaksi hidrolisis dan reaksi kondensasi, tetapi kedua reaksi tersebut membutuhkan waktu yang lama, sehingga perlu ditambah katalis NaOH. Untuk memodifikasi silika gel menjadi hibrida metil silika dilakukan penambahan senyawa organik aktif organosilan yaitu metiltrietoksilsilan. Adanya gugus metil (-CH₃) akan menambah sifat hidrofobisitas.

Protonasi atom O dari MTES oleh katalis akan menyebabkan kerapatan elektron disekitar atom Si senyawa MTES berkurang, sehingga akan mudah diserang oleh pasangan elektron bebas dari gugus silanol (-OH) hasil hidrolisis. Kemudian pada poses kondensasi, terbentuk ikatan siloksan (Si-O-Si). Penambahan PVA berfungsi sebagai stabilitas reaksi yang berikatan dengan silanol. Enkapsulasi vitamin C dalam silika kemungkinan OH berikatan dengan OH pada silanol.

3.3. Karakterisasi menggunakan FTIR

Analisis FTIR merupakan salah satu analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi suatu senyawa. FTIR merupakan analisis yang paling baik untuk mengidentifikasi jenis ikatan kimia. Panjang gelombang tertentu merupakan karakteristik dari ikatan kimia molekuler yang dilihat pada energi yang diserap spektra inframerah. Bilangan gelombang yang digunakan untuk senyawa organik maupun senyawa polimer yaitu 400-4000 cm^{-1} [7].

Analisis terhadap silika gel hasil sintesis dilakukan menggunakan spektrofotometr IR untuk memprediksi gugus-gugus yang ada dalam silika gel dan membandingkan komposisi dari silika gel dengan yang terenkapsulasi. Pita-pita serapan yang diukur pada daerah bilangan gelombang antara 400-4000 cm^{-1} yaitu pada bilangan gelombang yang mengandung gugus penyusun silika gel. Perbandingan komposisi TEOS:MTES:PVA dibuat dengan 3 variasi masing-masing (2:1:1, 2:1:3 dan 2:1:6) dengan suhu dan kecepatan yang sama. Penambahan NaOH berfungsi sebagai katalis. Hasil spektra FTIR antara silika gel (b) memiliki kemiripan pola jika dibandingkan dengan silika gel (c) dan (d). Dapat ditunjukkan pada **Gambar 1** di bawah ini.



Gambar 1. Hasil karakterisasi menggunakan FTIR (a) Vit C murni, (b) SG1, (c) SG3, (d) SG6, (e) ESG1, (f) ESG3, dan (g) ESG6

Gambar spektra di atas terlihat bahwa silika gel hasil sintesis SG1, SG3, dan SG6 mempunyai kemiripan pola. Spektra yang muncul pada bilangan gelombang 3400 cm^{-1} hingga sekitar 3900 cm^{-1} merupakan vibrasi gugus hidroksil (-OH) dari Si-OH. Vibrasi gugus -OH dari Si-OH juga muncul pada bilangan gelombang sekitar 1635 cm^{-1} . Spektra pada bilangan gelombang sekitar 802 cm^{-1} merupakan vibrasi gugus Si-O dari Si-OH dan sekitar 1080 cm^{-1} merupakan vibrasi Si-O dari Si-O-Si. Kemudian pada variasi PVA membentuk pita yang semula bentuk pitanya runcing menjadi semakin membulat. Hal ini kemungkinan disebabkan meningkatnya jumlah gugus silanol karena berubah menjadi gugus siloksan.

Hal tersebut didukung oleh meningkatnya intensitas pita serapan pada bilangan gelombang 900- an cm^{-1} . Untuk meningkatkan kegunaan silika gel biasanya dilakukan modifikasi terhadap permukaannya. Salah satu metode yang biasa

digunakan yaitu mengimobilisasikan gugus organik aktif yang dikehendaki. Dalam penelitian ini dilakukan imobilisasi gugus -CH₃ dengan muncul serapan pada bilangan gelombang 1280 cm^{-1} pada hibrida metil silika menunjukkan terbentuknya ikatan Si-C sekaligus menunjukkan gugus metil telah terikat dalam struktur silika.

Spektra serapan vitamin C akan muncul pada bilangan gelombang 1764 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur dari gugus fungsi C=O dan gugus fungsi C=C pada bilangan gelombang 1675 cm^{-1} . Pita serapan pada daerah 1277 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur C-O-C dan C-O-C yang sangat kuat pada daerah 1142 cm^{-1} , 1121 cm^{-1} , 1113 cm^{-1} , dan 1077 cm^{-1} . Pada daerah bilangan gelombang 1046 cm^{-1} merupakan gugus OH *bending*. Pada daerah bilangan gelombang 3216-3626 cm^{-1} merupakan gugus OH *stretching* di mana terjadi perenggangan OH karena adanya uap air [8].

Berdasarkan **Gambar 1** (a) disajikan hasil dari spektra vitamin C yang dapat menunjukkan bahwa terdapat beberapa puncak dari gugus fungsi vitamin C. Pita serapan pada bilangan gelombang 987 cm^{-1} menunjukkan ikatan CH dan OH *bending*. Pita serapan pada bilangan gelombang 1666 cm^{-1} menunjukkan ikatan C=C. Pita serapan tajam lainnya pada bilangan gelombang 1751 cm^{-1} yaitu ikatan C=O. Adanya ikatan C-O-C pada daerah bilangan gelombang kisaran 1026 cm^{-1} sampai 1273 cm^{-1} . Bilangan gelombang kisaran antara 2646 cm^{-1} sampai 3525 cm^{-1} menyatakan vibrasi OH dan ikatan yang lain yang dimungkinkan.

Berdasarkan literatur silika gel [9] dan vitamin C [8], spektra hasil enkapsulasi vitamin C dalam silika dengan perbandingan komposisi TEOS:MTES:PVA (2:1:1, 2:1:3 dan 2:1:6) memiliki perbedaan yang menunjukkan karakteristik adanya vitamin C dalam silika. Perbedaan yang ditunjukkan pada bilangan gelombang 1751 cm^{-1} merupakan C=O yang terdapat pada enkapsulasi (e), (f) dan (g). Spektra (e), (f) dan (g) juga menunjukkan adanya ikatan C=C pada bilangan gelombang 1635 cm^{-1} . Bilangan gelombang 1080 cm^{-1} merupakan ikatan Si-O-Si sedangkan pada bilangan gelombang 1280 cm^{-1} adalah ikatan Si-C. Wilayah bilangan gelombang sekitar 3300 cm^{-1} adalah vibrasi OH. Spektra hasil enkapsulasi dapat disimpulkan bahwa vitamin C yang dienkapsulasi dalam silika dapat ditunjukkan dengan perbandingan (e).2:1:1, (f).2:1:3 dan (g).2:1:6 karena munculnya spektra 1751 cm^{-1} yang merupakan ikatan C=O dari senyawa vitamin C.

3.4. Efisiensi Enkapsulasi dan Loading Capacity Vitamin C

Efisiensi enkapsulasi ditentukan untuk mengetahui jumlah vitamin C yang terenkapsulasi. Efisiensi enkapsulasi menunjukkan jumlah vitamin C yang dapat terenkapsulasi oleh silika gel. Semakin tinggi efisiensi enkapsulasi berarti vitamin C yang terenkapsulasi oleh silika gel semakin banyak.

Doi:

Tabel 1. Hasil efisiensi enkapsulasi (%)

Komposisi	Absorbansi	Konsentrasi Vitamin C (ppm)	Nilai EE (%)	Nilai LC (%)
ESG1	0,385	0,0277978	65,5	0,56
ESG3	0,316	0,0228158	53,8	0,46
ESG6	0,235	0,0169975	47,6	0,34

Dari **Tabel 1** terlihat bahwa nilai EE dan LC menurun dengan bertambahnya konsentrasi PVA. Hal ini sesuai dengan penelitian Yang, Lee [10] yang melakukan enkapsulasi vitamin C dalam silika dengan kesimpulan kecenderungan EE dan LC yang sama. Hal itu terlihat juga dari proses pembuatan silika gel tanpa vitamin C fasa airnya tidak keruh, sedangkan pembuatan silika gel yang berisi vitamin C fasa airnya perlahan-lahan keruh, yang menandakan vitamin C yang tidak terenkapsulasi. Jika pelarut menguap dengan cepat maka dapat menyebabkan permukaan silika gel berongga sehingga menyebabkan enkapsulasi vitamin C kurang sempurna. Komponen penyusun silika gel adalah TEOS dan MTES dilarutkan ke dalam etanol, dan penambahan PVA kemudian ditambahkan larutan vitamin C. Proses pelarutan dan pengadukan tersebut diharapkan vitamin C dapat terdistribusi dan terenkapsulasi, namun mungkin ada sebagian vitamin C yang tidak terenkapsulasi dan berada pada permukaan silika gel.

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh efisiensi enkapsulasi pada komposisi TEOS:MTES:PVA (2:1:1, 2:1:3, dan 2:1:6) sebesar 65,5%, 53,8% dan 47,6%. Kemudian diperoleh juga nilai LC berturut-turut 0,56%, 0,46% dan 0,34% dengan perbandingan komposisi TEOS:MTES:PVA dibuat dengan 3 variasi masing-masing (2:1:1, 2:1:3, dan 2:1:6) menunjukkan bahwa semakin banyak komposisi PVA maka nilai EE dan LC vitamin C akan semakin turun. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan konsentrasi PVA yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penurunan EE. Hal yang sama juga dikemukakan oleh Vyslouzil, Doležel [11] yaitu peningkatan konsentrasi PVA dapat menurunkan EE yang berhubungan dengan semakin meningkatnya viskositas.

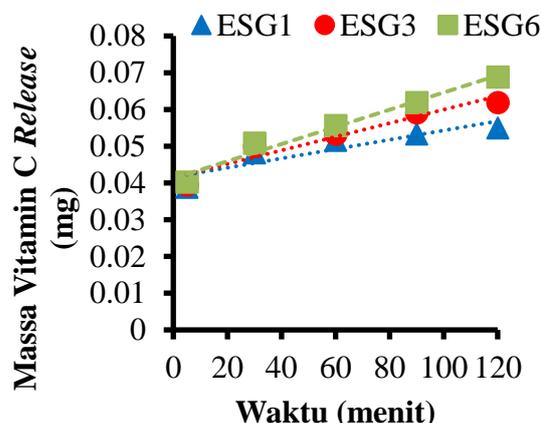
3.5. Uji Pelepasan Terkendali (Controlled Release)

Salah satu tujuan dari enkapsulasi vitamin C adalah menahan laju pelepasan vitamin C di lambung sehingga vitamin C dapat bekerja secara optimal. Pelepasan zat aktif dengan matriks polimer (mikropartikel) dapat terjadi secara difusi, degradasi polimer dan kombinasi dari difusi dan degradasi [12]. Difusi terjadi ketika vitamin C mengalir melalui pori-pori yang terdapat pada matriks polimer atau melalui ruang antara rantai-rantai polimer. Degradasi polimer (PVA) untuk bahan matriks berupa polimer *biodegradable*, yang ditandai dengan rusaknya mikrokapsul. Gabungan dari difusi dan degradasi dapat terjadi setelah vitamin C yang sudah dienkapsulasi oleh

mikrokapsul masuk ke dalam tubuh, kemudian akan berinteraksi dengan cairan tubuh sehingga cairan akan masuk dalam matriks polimer. Hal itu menyebabkan terjadinya penggembungan (*swelling*) dan menyebabkan vitamin C dapat berdifusi dari dinding polimer ke lingkungan luar. Mikrokapsul mulai terdegradasi sehingga vitamin C yang dilepaskan akan semakin banyak.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi pelepasan vitamin C diantaranya struktur mikrokapsul dan ukuran mikrokapsul. Apabila struktur semakin teratur maka pelepasan vitamin C semakin lama [13]. Demikian ukuran mikrokapsul, apabila ukuran semakin besar maka pelepasan vitamin C akan semakin lama [13].

Pada penelitian ini dilakukan uji pelepasan vitamin C dalam simulasi cairan lambung menggunakan medium cair pH 1,2. Mikrokapsul yang diuji pelepasannya dengan perbandingan TEOS:MTES:PVA (2:1:1), (2:1:3) dan (2:1:6), dimasukkan ke dalam medium cairan lambung. Simulasi pelepasan vitamin C dalam medium cairan lambung ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Hasil uji pelepasan terkendali vitamin C terenkapsulasi

Matriks dengan komposisi silika gel (2:1:1), (2:1:3) dan (2:1:6) digunakan untuk membandingkan pengaruh komposisi TEOS:MTES:PVA terhadap pola pelepasan vitamin C. Ketiga tersebut dibentuk pada konsentrasi vitamin C yang sama, tetapi menggunakan komposisi silika gel TEOS:MTES:PVA yang berbeda. **Gambar 2** menunjukkan pola pelepasan vitamin C pada matriks dengan komposisi (2:1:1), (2:1:3) dan (2:1:6). Pola tersebut menunjukkan bahwa vitamin C lepas secara bertahap pada matriks (2:1:1), (2:1:3) dan (2:1:6). Dalam waktu 120 menit, matriks dengan komposisi (2:1:1) yang menunjukkan pelepasan vitamin C yang lebih lambat dibandingkan mikropartikel dengan komposisi (2:1:3) dan (2:1:6). Dimungkinkan perbedaan ukuran mikropartikel (2:1:1) dibandingkan dengan (2:1:3) dan (2:1:6). Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah matriks PVA maka kemampuan menahan laju pelepasan vitamin C semakin cepat. Ukuran matriks yang semakin besar membuat vitamin C membutuhkan waktu

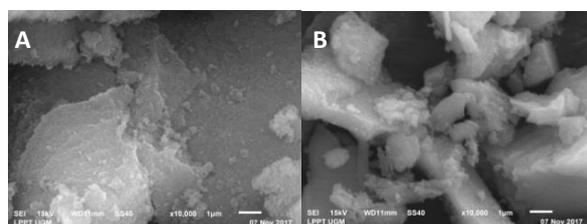
Doi:

lebih cepat untuk berdifusi ke dalam medium disolusi.

Hasil uji pelepasan vitamin C dalam medium simulasi pada lambung juga mengidentifikasi jika paduan TEOS:MTES:PVA dengan perbandingan (2:1:1) dapat menahan laju pelepasan vitamin C yang lebih baik. Hal tersebut juga dimungkinkan terjadi karena dinding matriks lebih tebal dengan volume matriks yang ditambahkan lebih banyak.

3.6. Morfologi Permukaan Produk Silika Menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM)

Karakterisasi hasil enkapsulasi vitamin C dalam silika menggunakan SEM untuk melihat morfologi permukaannya [14]. Hasil dapat ditunjukkan pada **Gambar 3** sebagai berikut:



Gambar 3. Hasil karakterisasi SEM (a) SG3, (b) ESG3

Dari **Gambar 3** (a) menunjukkan hasil karakterisasi SEM dari Silika Gel dengan variasi TEOS/MTES/PVA (2:1:3) yang dapat dilihat bahwa pada ukuran 1µm pada perbesaran 10000x. Pada gambar (b) menunjukkan SEM dari enkapsulasi vitamin C dalam silika dengan komposisi variasi TEOS/MTES/PVA yang sama dengan Silika gel. Hasil diatas dapat disimpulkan bahwa kemungkinan vitamin C tidak terlihat karena tertutup oleh silika.

4. Kesimpulan

Enkapsulasi vitamin C dalam matriks silika gel telah berhasil dilakukan melalui metode sol-gel. Persentase efisiensi enkapsulasi dan *loading capacity* vitamin C dalam komposisi silika gel TEOS:MTES:PVA (2:1:1, 2:1:3 dan 2:1:6) setinggi (65,5%, 53,8%, 47,6%) dan *loading capacity* setinggi (0,56%, 0,46% dan 0,34%). Laju pelepasan vitamin C dalam silika gel hasil penelitian diperoleh pelepasan pada komposisi TEOS:MTES:PVA (2:1:1) lebih lambat dibandingkan laju pelepasan vitamin C dalam silika gel (2:1:3) dan (2:1:6).

Daftar Pustaka

- Tejero, E., et al., *Collagen synthesis during pregnancy, vitamin C availability, and risk of premature rupture of fetal membranes*. International Journal of Gynecology & Obstetrics, 2003. **81**(1): p. 29-34.
- Wintergerst, E.S., S. Maggini, and D.H. Hornig, *Immune-enhancing role of vitamin C and zinc and effect on clinical conditions*. Annals of Nutrition and Metabolism, 2006. **50**(2): p. 85-94.
- Lin, J.-Y., et al., *UV photoprotection by combination topical antioxidants vitamin C and vitamin E*. Journal of the American Academy of Dermatology, 2003. **48**(6): p. 866-874.
- Zhang, L., et al., *Electroporation-mediated topical delivery of vitamin C for cosmetic applications*. Bioelectrochemistry and Bioenergetics, 1999. **48**(2): p. 453-461.
- Revuelta, M.V., et al., *Ascorbic acid encapsulation in hydrophobic silica xerogel*. Food Technology and Biotechnology, 2011. **49**(3): p. 347-351.
- Rashidi, L., et al., *Mesoporous silica nanoparticles as a nanocarrier for delivery of vitamin C*. Iranian Journal of Biotechnology, 2013. **11**(4): p. 209-213.
- Shalini, S. and P. Sampathkumar, *Phytochemical screening and antimicrobial activity of plant extracts for disease management*. International Journal of Current Science, 2012. **1**(1): p. 209-218.
- Panicker, C.Y., H.T. Varghese, and D. Philip, *FT-IR, FT-Raman and SERS spectra of vitamin C*. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2006. **65**(3-4): p. 802-804.
- Latthe, S.S., et al., *Superhydrophobic silica films by sol-gel co-precursor method*. Applied Surface Science, 2009. **256**(1): p. 217-222.
- Yang, J.-H., et al., *Efficient transdermal penetration and improved stability of L-ascorbic acid encapsulated in an inorganic nanocapsule*. Bulletin of The Korean Chemical Society, 2003. **24**(4): p. 499-503.
- Vysloužil, J., et al., *The influence of different formulations and process parameters during the preparation of drug-loaded PLGA microspheres evaluated by multivariate data analysis*. Acta Pharmaceutica, 2014. **64**(4): p. 403-417.
- Kim, B.K., et al., *Characteristics of felodipine-located poly (ε-caprolactone) microspheres*. Journal of Microencapsulation, 2005. **22**(2): p. 193-203.
- Bolourtchian, N., K. Karimi, and R. Aboofazeli, *Preparation and characterization of ibuprofen microspheres*. Journal of Microencapsulation, 2005. **22**(5): p. 529-538.
- Mol, N.J.d. and M.J.E. Fischer, *Surface plasmon resonance: a general introduction*, in *Surface Plasmon Resonance*. 2010, Humana Press. p. 1-14.
- Link, S. and M.A. El-Sayed, *Optical properties and ultrafast dynamics of metallic nanocrystals*. Annual Review of Physical Chemistry, 2003. **54**(1): p. 331-366.
- Smitha, S.L., et al., *Studies on surface plasmon resonance and photoluminescence of silver nanoparticles*. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2008. **71**(1): p. 186-190.
- Wibawa, P.J., et al., *Green synthesized silver nanoparticles immobilized on activated carbon nanoparticles: Antibacterial activity*

Doi:

- enhancement study and its application on textiles fabrics*. *Molecules*, 2021. **26**(13): p. 3790.
18. Agnihotri, S., S. Mukherji, and S. Mukherji, *Size-controlled silver nanoparticles synthesized over the range 5–100 nm using the same protocol and their antibacterial efficacy*. *RSC Advances*, 2014. **4**(8): p. 3974-3983.
 19. Bindhu, M.R. and M. Umadevi, *Surface plasmon resonance optical sensor and antibacterial activities of biosynthesized silver nanoparticles*. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2014. **121**: p. 596-604.
 20. Muthoosamy, K. and S. Manickam, *State of the art and recent advances in the ultrasound-assisted synthesis, exfoliation and functionalization of graphene derivatives*. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2017. **39**: p. 478-493.
 21. Abbaszadegan, A., et al., *The effect of charge at the surface of silver nanoparticles on antimicrobial activity against gram-positive and gram-negative bacteria: a preliminary study*. *Journal of Nanomaterials*, 2015. **2015**.