

## KELARUTAN DAN *SWELLING POWER* MIKROKAPSUL $\beta$ -KAROTEN TERENKAPSULASI DALAM MATRIKS PATI-KITOSAN TERIKAT SILANG ION TRIPOLIFOSFAT

Agnes Dyah Novitasari Lestari<sup>1\*</sup>)

<sup>1</sup>Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Papua, Jl. Gunung Salju Amban, Manokwari 98214, Indonesia

<sup>\*</sup>)Email: a.dyahnovitasari@gmail.com

**ABSTRACT:** In this study, microencapsulation of  $\beta$ -carotene was carried out in a mixed matrix of starch and chitosan with the addition of tripolyphosphate ions as a crosslinker (denoted as starch-chitosan/TPP). Two types of starch were used here, namely native and hydrolyzed starch. Hydrolyzed starch was prepared by acid hydrolysis using 2 M HCl. Microcapsules were synthesized by adding dropwise dispersion of  $\beta$ -carotene in ethanol to the aqueous mixture of starch-chitosan/TPP matrix accompanied by magnetic stirring and heating at 90°C. The synthesized microcapsules were then tested for solubility and swelling power in aqueous media. The results showed that the solubility and swelling behavior of microcapsules were influenced by the characteristics of the constituent starch. The solubility of hydrolyzed starch-chitosan/TPP was greater than that of the native starch-chitosan/TPP. The native starch-chitosan/TPP microcapsules had a higher swelling power value than the hydrolyzed starch-chitosan/TPP.

**Keywords:**  $\beta$ -carotene, chitosan, microencapsulation, starch, *swelling power*

### PENDAHULUAN

Pemanfaatan dan rekayasa polimer alam dalam penelitian ilmiah maupun dunia industri terus meningkat seiring dengan pergerakan nasional dan internasional untuk mewujudkan sustainability lingkungan. Salah satu polimer alam yang ketersediaannya melimpah, mudah diperoleh, dan mudah dimodifikasi adalah pati. Rekayasa pati telah dilakukan dengan berbagai cara, yaitu melalui modifikasi fisika, kimia, maupun biologi (Adiyanti and Subroto, 2020). Modifikasi fisika dilakukan dengan menggabungkan pati secara fisik dengan polimer dan/atau zat lain, memberikan perlakuan fisik (pemanasan, penyinaran, perlakuan hidrotermal, penggilingan, dan sebagainya). Modifikasi secara kimia dilakukan dengan mereaksikan pati dengan bahan

kimia tertentu sehingga diperoleh sifat yang berbeda dengan pati asalnya, misalnya melalui reaksi hidrolisis, oksidasi, esterifikasi, eterifikasi, dan penautan silang/*crosslinking* (Kaur *et al.*, 2011). Modifikasi biologi dapat dilakukan dengan memberikan perlakuan biologis, misalnya dengan fermentasi, perlakuan dengan enzim, serta pemupukan dengan fosfat (Adiyanti and Subroto, 2020). Di antara berbagai modifikasi pati tersebut di atas, modifikasi pati yang sering dilakukan oleh karena mudah dan tidak memerlukan peralatan yang rumit adalah modifikasi secara kimia, yaitu melalui hidrolisis menggunakan asam.

Pati asli (tanpa modifikasi)/*native starch* dan pati terhidrolisis dapat dimanfaatkan sebagai matriks dalam mikroenkapsulasi senyawa aktif, seperti

$\beta$ -karoten.  $\beta$ -karoten merupakan zat warna alami orange yang banyak ditemukan dalam tumbuhan berwarna hijau dan orange, seperti bayam, wortel, labu kuning, dan lain-lain (Gul *et al.*, 2015). Senyawa ini memiliki manfaat sebagai antioksidan seluler hingga regulasi gen, sehingga berperan penting pada tingkat seluler dan molekuler (Saini *et al.*, 2015). Namun, pada implementasinya terdapat kendala untuk memperoleh manfaat penuh dari  $\beta$ -karoten karena sifat fisikokimia  $\beta$ -karoten yang memiliki kelarutan rendah dalam air dan tidak stabil terhadap oksigen, panas, dan cahaya (Rutz *et al.*, 2016). Oleh karena itu, dilakukan enkapsulasi  $\beta$ -karoten untuk meningkatkan kestabilan dan penyerapannya dalam tubuh.

Penggunaan pati sebagai matriks tunggal untuk mengenkapsulasi  $\beta$ -karoten telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Penelitian penggunaan pati tapioka terhidrolisis asam (*Dextrose Equivalent* (DE) = 2), pati tapioka asli, dan maltodekstrin sebagai matriks untuk enkapsulasi  $\beta$ -karoten menggunakan metode *spray-drying* telah dilakukan. Produk enkapsulasi  $\beta$ -karoten menggunakan matriks pati tapioka terhidrolisis asam memiliki distribusi ukuran partikel yang lebih lebar ke arah diameter yang lebih kecil, dibandingkan dengan pati asli dan maltodekstrinnya. Kandungan air dan aktivitas air mikrokapsul dipengaruhi oleh jenis bahan matriks. Terdapat perbedaan jumlah kandungan  $\beta$ -karoten ( $\beta$ -karoten dalam kapsul) dan  $\beta$ -karoten pada permukaan mikrokapsul di antara matriks yang digunakan dalam penelitian tersebut. Total kandungan  $\beta$ -karoten tertinggi terdapat pada pati tapioka terhidrolisis asam, sementara itu yang paling rendah pada maltodekstrin. Jumlah  $\beta$ -karoten permukaan yang paling rendah terdapat pada pati tapioka terhidrolisis asam dan yang tertinggi terdapat pada pati tapioka

asli. Pati tapioka terhidrolisis asam lebih efektif daripada pati aslinya dalam mengenkapsulasi  $\beta$ -karoten (Loksuwan, 2007).

Penelitian menggunakan pati biji pinhão (*Araucaria angustifolia*) asli dan terhidrolisis sebagai bahan pelapis untuk mikroenkapsulasi  $\beta$ -karoten melalui pengeringan beku (*freeze-drying*) juga telah dilakukan. Stabilitas  $\beta$ -karoten terenkapsulasi dievaluasi dalam tiga keadaan yang berbeda, yaitu dengan adanya sinar ultraviolet pada suhu  $25 \pm 2$  °C, dalam keadaan gelap pada  $25 \pm 2$  °C, dan dalam keadaan gelap pada suhu  $10,0 \pm 0,2$  °C. Mikrokapsul yang dipreparasi dengan pati asli menunjukkan stabilitas terendah selama penyimpanan; sebaliknya, mikrokapsul yang dipreparasi menggunakan pati terhidrolisis (DE=12) menunjukkan stabilitas tertinggi (Spada, *et al.*, 2012b).

Kelarutan dan *swelling power* merupakan dua karakteristik penting dalam polimer alam. Kedua sifat tersebut berpengaruh terhadap kestabilan dan mekanisme pelepasan zat aktif dari dalam mikrokapsul berbasis polimer alam. Polimer alam memiliki sifat kelarutan dan *swelling power* yang berbeda-beda menurut jenis spesies, kondisi lingkungan, dan faktor internal lain (Kusumayanti *et al.*, 2015). Penelitian ini mengkaji pengaruh perbedaan jenis pati yang digunakan dalam sistem enkapsulasi  $\beta$ -karoten dalam matriks pati-kitosan/TPP terhadap sifat kelarutan dan *swelling power* mikrokapsul  $\beta$ -karoten terenkapsulasi dalam matriks pati-kitosan/TPP.

## METODE PENELITIAN

### Bahan penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain pati jagung

(corn starch) yang berisi  $\pm 73\%$  amilopektin dan  $\pm 27\%$  amilosa, kitosan *low molecular weight* (LMW) dengan berat molekul 50.000-190.000 Da (berdasarkan viskositas) dan derajat deasetilasi 75-85%, TPP,  $\beta$ -karoten standar (Sigma Aldrich), asam asetat glasial, dan etanol (Merck). Bahan-bahan tersebut digunakan dalam sintesis mikrokapsul. Bahan pendukung lain yang digunakan adalah akuades.

### Alat penelitian

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pengaduk magnetik, termometer, *water bath*, *centrifuge* (Sorfall Biofuge Primo), *freeze-dryer* (Leybold-Heraeus Lyovac GT 2), dan saringan 200 Mesh. Alat-alat tersebut digunakan dalam tahap preparasi mikropartikel. Oven (Mommert) digunakan dalam proses pengeringan pati terhidrolisis maupun dalam uji kelarutan dan *swelling power*. Peralatan penunjang lain yang digunakan dalam penelitian ini meliputi neraca analitik (Metler Toledo AB 54-S), alat-alat gelas, *stainless steel*, dan plastik.

### Prosedur Penelitian

Prosedur dalam penelitian ini dilakukan menurut penelitian sebelumnya (Lestari *et al.*, 2020).

### Persiapan matriks enkapsulasi

#### *Sintesis pati terhidrolisis*

Sintesis pati terhidrolisis dilakukan menurut metode dalam literatur (Lawal and Adebawale, 2005) dengan sedikit modifikasi. Sebanyak 100 g pati ditambahkan ke dalam 500 mL larutan HCl 0,15 M; kemudian diaduk dengan pengaduk magnet selama 8 jam pada suhu 50 °C. Pati terhidrolisis asam yang dihasilkan disaring dan residu yang diperoleh dicuci 4 kali dengan akuades dan dikeringkan selama 48 jam pada

suhu 30 °C. Selanjutnya, pati terhidrolisis digunakan dalam enkapsulasi  $\beta$ -karoten.

#### *Pembuatan larutan-larutan pembentuk matriks*

Larutan kitosan 1% b/v dipreparasi dengan melarutkan kitosan LMW dalam larutan asam asetat 1% b/v dan diaduk dengan *stirer* selama 12 jam pada suhu ruang. TPP dilarutkan dalam air pada konsentrasi 3% (b/v). Dispersi pati jagung 1% b/v dibuat dengan melarutkan pati ke dalam akuades kemudian dipanaskan hingga mendidih disertai pengadukan magnetik.

#### *Persiapan campuran matriks*

Preparasi matriks pati-kitosan/TPP dilakukan dengan cara *blending* seperti dalam literatur (Rampino *et al.*, 2016) dengan sedikit modifikasi. Sesuai formulasi dalam Tabel 1, ke dalam labu leher tiga ditambahkan sejumlah volume tertentu dispersi pati 1% b/v dan 20 mL larutan TPP. Dalam hal ini, baik dispersi pati maupun campuran dispersi pati-TPP berada dalam fasa koloid. Selanjutnya, sejumlah volume tertentu larutan kitosan 1% b/v ditambahkan ke dalam campuran pati-TPP disertai pengadukan magnetik. Campuran matriks ini sebagian besar berbentuk suspensi dengan tingkat kekeruhan yang berbeda-beda tergantung pada perbandingan pati : kitosan : TPP yang ditambahkan.

### Enkapsulasi $\beta$ -karoten dalam matriks pati-kitosan/TPP

Enkapsulasi  $\beta$ -karoten dalam matriks pati-kitosan/TPP dilakukan menurut metode presipitasi dalam literatur (Kim and Huber, 2016) dengan sedikit modifikasi. Campuran matriks yang dijelaskan di atas dipanaskan dan diaduk dalam penangas air pada suhu 90 °C selama 10 menit, diikuti dengan

penambahan 100 mL dispersi β-karoten dalam etanol sesuai formulasi pada Tabel 1 tetes demi tetes disertai pengadukan kontinu. Campuran kemudian didinginkan hingga suhu kamar dan ditambahkan dengan 100 mL dispersi β-karoten dalam etanol kedua dengan konsentrasi yang sama seperti pada langkah sebelumnya secara tetes demi tetes disertai dengan pengadukan kontinu. Campuran didiamkan selama 12 jam, disimpan dalam kulkas, dan disentrifugasi (7000 × g, 10 menit, 4°C). Supernatan diambil dan dilakukan pencucian dengan 100 mL etanol dilanjutkan dengan sentrifugasi 10 menit. Produk enkapsulasi (endapan) kemudian dikeringkan dalam pengering beku (*freeze-dryer*) selama 13 jam, digerus, dan diayak dengan ayakan 200 Mesh.

Tabel 1: Kode dan formulasi enkapsulasi β-karoten

Kode Sampel	Fx0	FA3	FH3	PA	PH
Rasio berat pati/kitosan	1	1	1	1	1
Volume dispersi pati 1% (mL)	100	100	100	200	200
Volume larutan kitosan 1% (mL)	100	100	100	0	0
β-karoten yang ditambahkan dalam 200 mL etanol (mg)	0	10	10	10	10
TPP yang ditambahkan dalam 20 mL larutan (mg)	600	600	600	0	0

x=A untuk formulasi berbasis pati asli, dan x=H untuk formulasi berbasis pati terhidrolisis, PA=formulasi dengan pati asli tanpa kitosan, PH= formulasi dengan pati terhidrolisis tanpa kitosan

**Uji kelarutan dan swelling power dalam air**

Uji kelarutan sampel dalam air dilakukan menurut prosedur dalam literatur (Senanayake, 2013) dengan sedikit modifikasi. Sebanyak 100 mg sampel produk enkapsulasi ditambahkan 10 mL air dalam tabung sentrifuge (*conical*) 15 mL. Tabung sentrifuge divortex selama 10 detik, kemudian ditempatkan dalam penangas air (suhu 90 °C) selama 30 menit disertai pengadukan menggunakan vortex setiap 5, 15, 25 menit masing-masing selama 10 detik. Selanjutnya, campuran dalam *conical* didinginkan pada suhu kamar dan dilakukan sentrifugasi pada 2000 rpm selama 30 menit. Supernatan diambil dan dimasukkan dalam cawan aluminium serta dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 4 jam. Kelarutan dalam air dihitung menggunakan persamaan 1.

$$\text{Kelarutan (\%)} = \frac{\text{gram padatan dalam supernatan}}{\text{gram sampel}} \times 100\%$$

(1)

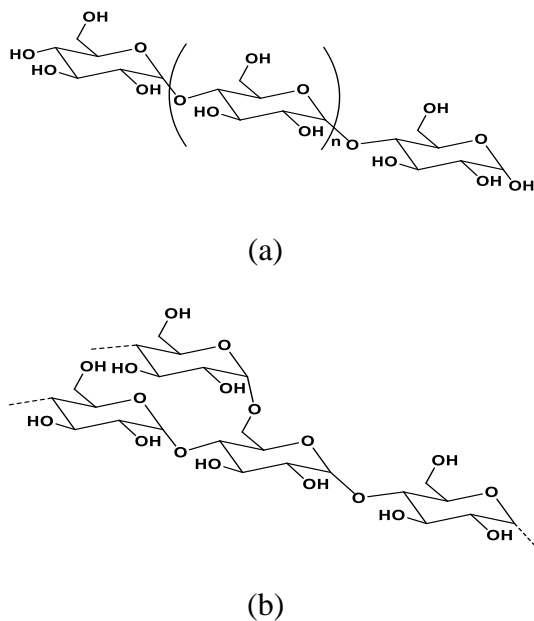
*Swelling power* diukur dengan menimbang sisa padatan dalam tabung sentrifus setelah semua supernatan diambil. *Swelling power* dihitung menggunakan persamaan 2.

$$\text{Swelling Power (g/g)} = \frac{\text{gram padatan sisa}}{\text{gram sampel}}$$

**HASIL DAN PEMBAHASAN**  
**Sintesis pati terhidrolisis**

Pati yang digunakan dalam penelitian ini adalah pati jagung (*corn starch*) yang tidak diberi perlakuan dan pati jagung yang diberi perlakuan dengan hidrolisis asam, selanjutnya disebut sebagai pati asli (*native starch*) dan pati terhidrolisis (*hydrolyzed starch*).

Menurut literatur, pati jagung memiliki berat molekul sekitar 692,7 g/mol (Anonim, 2022). Pati terdiri atas fraksi amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan polimer  $\alpha$ -D-glukosa yang terikat satu dengan yang lain melalui ikatan  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4) glikosidik membentuk rantai lurus. Amilopektin juga merupakan polimer  $\alpha$ -D-glukosa dengan ikatan  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4) glikosidik, namun memiliki struktur rantai bercabang melalui ikatan  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 6) glikosidik. Gambar 1 menyajikan struktur kimia amilosa dan amilopektin. Pemberian pati pada mencit antara 27,4-52,8 g/kg berat badan/hari tidak menunjukkan toksisitas, karsinogenisitas, dan toksisitas reproduktif (Health Council of the Netherlands: Committee on Updating of Occupational *et al.*, 2002).



**Gambar 1. Struktur kimia amilosa (a) dan amilopektin (b)**

Peningkatan kemampuan pati sebagai matriks enkapsulasi sering dilakukan dengan memodifikasi pati. Modifikasi dapat dilakukan secara fisika, kimia, maupun enzimatik. Modifi-

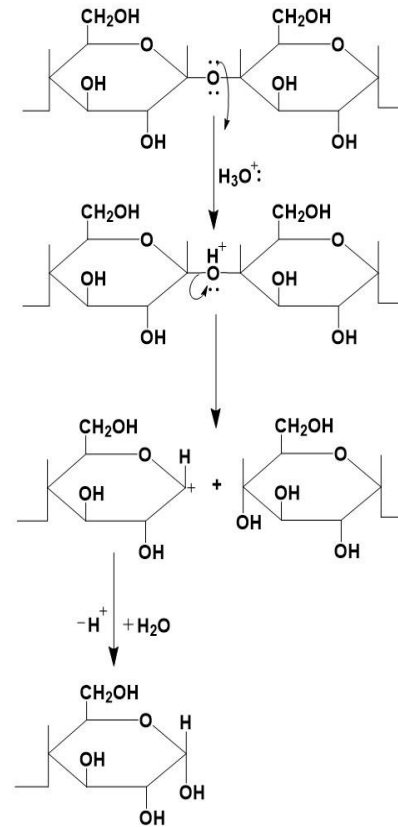
kasi fisika dan enzimatik memerlukan peralatan dan perlakuan khusus sehingga jarang dilakukan. Modifikasi kimia lebih banyak dipilih oleh karena tidak memerlukan peralatan yang sulit diperoleh. Di antara berbagai modifikasi kimia, modifikasi dengan reaksi hidrolisis asam sangat sederhana, namun memberikan efek yang signifikan terhadap sifat pati (Loksuwan, 2007; Spada, *et al.*, 2012b).

Pati terhidrolisis dalam penelitian ini disintesis dengan cara hidrolisis asam menggunakan larutan HCl 0,15 M dengan waktu hidrolisis 8 jam pada suhu 50 °C menurut (Lawal and Adebowale, 2005). Rendemen hasil pati terhidrolisis dalam penelitian ini adalah 94,17%. Terdapat penurunan massa pati hasil hidrolisis yang mengindikasikan adanya mineral dan polimer terlarut yang hilang saat pencucian. Polimer terlarut saat pencucian pada pati terhidrolisis ini dapat berupa protein, lipid, dan serat (karbohidrat) terlarut (Lawal and Adebowale, 2005). Pada penelitian lain (Ulbrich *et al.*, 2016) juga dilaporkan bahwa modifikasi asam terhadap pati jagung menggunakan larutan HCl 0,09-0,72 M dalam bentuk suspensi menyebabkan terlepasnya (*leaching*) karbohidrat. Konsentrasi karbohidrat yang terlepas semakin besar oleh peningkatan waktu reaksi hidrolisis dari 4 ke 24 jam (Ulbrich *et al.*, 2016).

Modifikasi pati dengan hidrolisis asam banyak digunakan dalam industri pati untuk digunakan dalam makanan, kertas, tekstil dan industri lainnya. Metode ini disebut juga dengan penipisan asam (*acid thinning*) karena terjadi penurunan ukuran partikel pati oleh pemecahan ikatan  $\alpha$ -glikosidik pada pati. Prosedur khas untuk memproduksi pati terhidrolisis asam melibatkan pengolahan bubur (*slurry*) pati pekat (padatan 36-40%) pada suhu di bawah suhu gelatinisasi pati (40-60

°C) dengan asam mineral selama periode waktu tertentu. Bila viskositas atau tingkat konversi yang diinginkan telah tercapai; asam dinetralkan, disaring, dan dikeringkan. Hidrolisis dapat dikendalikan dengan mengatur konsentrasi asam, waktu reaksi, dan suhu (Hoover, 2007).

Daerah amorf dari pati lebih cepat terhidrolisis daripada daerah kristal selama hidrolisis asam pada suhu di bawah suhu gelatinisasi. Pada tahap awal modifikasi asam, jumlah fraksi linier (amilosa) dalam pati meningkat dan fraksi bercabang (amilopektin) lebih disukai untuk terhidrolisis terlebih dulu. Amilosa lebih terlindungi dari hidrolisis karena dapat membentuk kompleks resisten dengan partikel amilopektin. Hidrolisis pati dengan asam mengubah sifat fisikokimia pati tanpa merusak struktur granulanya. Suhu gelatinisasi dan derajat retrogradasi pati meningkat saat hidrolisis berlanjut. Modifikasi asam meningkatkan kelarutan dan menurunkan suhu pembentukan gel, kekuatan gel dan viskositas pati. Sifat viskoelastik pati juga meningkat oleh hidrolisis asam (Wang *et al.*, 2003).



**Gambar 2. Mekanisme reaksi hidrolisis pati oleh asam (Hoover, 2007).**

Dalam hidrolisis pati menggunakan asam (Gambar 2), ion hidroksonium ( $H_3O^+$ ) melakukan serangan elektrofilik pada atom oksigen dari ikatan  $\alpha$  (1  $\rightarrow$  4) glikosidik. Pada langkah berikutnya, elektron pada salah satu ikatan karbon-oksigen bergerak ke atom oksigen untuk menghasilkan intermediet karbokation yang berenergi tinggi dan tidak stabil. Intermediet karbokation adalah suatu asam Lewis yang kemudian bereaksi dengan air yang merupakan basa Lewis, sehingga terjadi regenerasi gugus hidroksil (Hoover, 2007).

### Sintesis $\beta$ -karotenterenkapsulasi dalam matriks pati-kitosan/TPP

Dalam penelitian ini, sintesis  $\beta$ -karotenterenkapsulasi dalam matriks pati-kitosan/TPP dilakukan dengan menggunakan metode mikropresipitasi

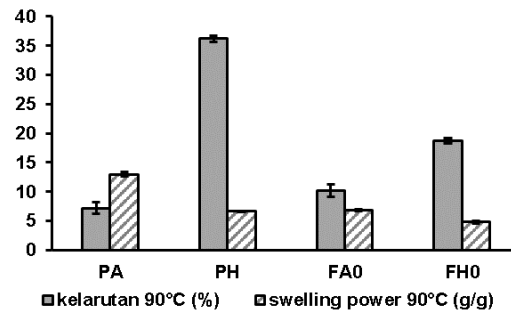
atau yang sering dikenal dengan metode penggantian pelarut (*solvent displacement*). Metode ini dilakukan dengan cara menambahkan tetes demi tetes dispersi  $\beta$ -karoten dalam etanol ke dalam suspensi matriks yang terdiri atas pati, kitosan dan TPP disertai dengan pemanasan pada 90 °C dan pengadukan kontinu. Ketika fase pelarut diteteskan ke dalam fase berair yang mengandung campuran matriks, penyebaran atau turbulensi secara cepat terjadi sebagai hasil dari difusi timbal balik antara dua fase dengan tegangan permukaan yang berbeda (efek Marangoni) (Ferranti *et al.*, 1999; Chu *et al.*, 2007). Tetesan fase pelarut mengalami *bursting* ketika bertumbukan dengan fase berair, menghasilkan tetesan (*droplet*)  $\beta$ -karoten dalam etanol dengan ukuran yang jauh lebih kecil. Pengadukan kontinu dan pelepasan kembali molekul etanol meningkatkan interaksi polimer dan pecahan tetesan  $\beta$ -karoten yang lebih kecil hingga  $\beta$ -karoten terperangkap dalam sistem matriks polimer. Partikel inti dari  $\beta$ -karoten yang terperangkap dalam sistem matriks kemudian bergabung, beragregasi, atau mengendap sehingga terjadi proses presipitasi dan ko-presipitasi menghasilkan produk enkapsulasi.

### Kelarutan dan Swelling Power

Kelarutan dan *swelling power* (SP) merupakan dua parameter yang penting untuk mengetahui perilaku mikro-partikel yang dihasilkan dalam proses pelepasan zat aktif yang dikandungnya.

*Swelling power* pati terhidrolisis lebih rendah dari pati asli, sedangkan kelarutannya dalam air lebih tinggi daripada pati asli (Gambar 3). Hal ini juga diperoleh pada penelitian lain (Lawal and Adebowale, 2005; Yousif *et al.*, 2012). Fakta ini memberikan salah satu bukti bahwa hidrolisis dalam penelitian

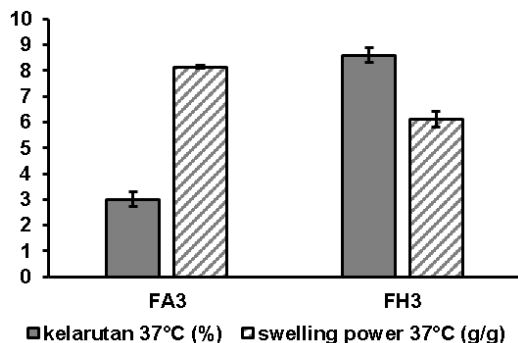
ini telah terjadi. Kecenderungan ini juga terjadi pada matriks kosong pati-kitosan/TPP (FA0 dan FH0). Dengan jumlah kitosan/TPP yang sama, matriks pati asli-kitosan/TPP (FA0) memiliki *swelling power* yang lebih tinggi dan kelarutan yang lebih rendah dibandingkan dengan matriks pati terhidrolisis-kitosan/TPP (FH0) (Gambar 3).



Gambar 3. Kelarutan dan *swelling power* pati asli, pati terhidrolisis, dan matriks kosong FA0 dan FH0 pada suhu 90 °C

Kecenderungan yang sama terjadi pada hasil pengujian *swelling power* dan kelarutan sampel produk enkapsulasi FA3 dan FH3 dalam air pada suhu 37 °C. Kelarutan sampel FA3 lebih rendah daripada FH3, sebaliknya *swelling power*nya lebih besar daripada FH3 (Gambar 4). Hal ini dapat dikaitkan dengan kelarutan dan *swelling power* pati penyusunnya karena jumlah kitosan yang digunakan sama. Pati jagung asli memiliki kelarutan yang meningkat dan *swelling power* yang menurun ketika dihidrolisis (Gambar 3). Peningkatan kelarutan dan penurunan *swelling power* juga ditemukan saat pati sorgum dihidrolisis dengan asam (Singh *et al.*, 2009). Peningkatan kelarutan dan penurunan *swelling power* terutama disebabkan oleh pemutusan rantai samping amilopektin. Keutuhan amilopektin memainkan peran penting dalam kemampuan pati menahan air dan membengkak. Ketika rantai amilopektin mengalami pemutusan, maka jaringan

yang luas tidak dapat terbentuk dan rantai cenderung larut karena tidak bisa lagi menjebak air (Wang and Copeland, 2012).



Gambar 4. Kelarutan dan *swelling power* produk enkapsulasi FA3 dan FH3 pada suhu 37 °C

## KESIMPULAN

*Swelling power* pati terhidrolisis lebih rendah dari pati asli, sedangkan kelarutannya dalam air lebih tinggi daripada pati asli. Kecenderungan ini juga terjadi pada matriks kosong pati-kitosan/TPP. Dengan jumlah kitosan/TPP yang sama, matriks kosong pati asli-kitosan/TPP memiliki kelarutan yang lebih rendah dan *swelling power* yang lebih tinggi dibandingkan dengan matriks kosong pati terhidrolisis-kitosan/TPP. Kecenderungan yang sama terjadi pada hasil pengujian kelarutan dan *swelling power* dalam air dari produk enkapsulasi  $\beta$ -karoten menggunakan matriks tersebut pada suhu 37 °C. Hasil ini merekomendasikan penggunaan pati terhidrolisis sebagai bahan matriks enkapsulasi untuk meningkatkan kelarutan kapsul dalam air.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adiyanti, T. and Subroto, E., 2020, Modifications of banana starch and its characteristics: A review, *Int. J. Sci. Technol. Res.*, 9, 3524–3527.
- Anonim, 2022, Starch, pregelatinized.,
- Chu, B.S., Ichikawa, S., Kanafusa, S., and Nakajima, M., 2007, Preparation and characterization of  $\beta$ -carotene nanodispersions prepared by solvent displacement technique, *J. Agric. Food Chem.*, 55, 6754–6760.
- Ferranti, V., Marchais, H., Chabenat, C., Orecchioni, A.M., and Lafont, O., 1999, Primidone-loaded poly- $\epsilon$ -caprolactone nanocapsules: Incorporation efficiency and in vitro release profiles, *Int. J. Pharm.*, 193, 107–111.
- Gul, K., Tak, A., Singh, A.K., Singh, P., Yousuf, B., and Wani, A.A., 2015, Chemistry, encapsulation, and health benefits of  $\beta$ -carotene - A review, *Cogent Food Agric.*, 1, 1–12.
- Health Council of the Netherlands: Committee on Updating of Occupational, Administrative, E.L.S.H.R. of, and Netherlands, O.E.L.T.H.H.C. of the, 2002, Starch (CAS reg no: 9005-25-8, 9005-84-9),.
- Hoover, R., 2007, Acid-Treated Starches, *Food Rev. Int.*, 16, 37–41.
- Kaur, M., Oberoi, D.P.S., Sogi, D.S., and Gill, B.S., 2011, Physicochemical, morphological and pasting properties of acid treated starches from different botanical sources, *J. Food Sci. Technol.*, 48, 460–465.
- Kim, J.Y. and Huber, K.C., 2016, Preparation and characterization of corn starch- $\beta$ -carotene composites, *Carbohydr. Polym.*, 136, 394–401.
- Kusumayanti, H., Handayani, N.A., and Santosa, H., 2015, Swelling Power and Water Solubility of Cassava and Sweet Potatoes Flour, *Procedia Environ. Sci.*, 23, 164–167.
- Lawal, O.S. and Adebawale, K.O., 2005, Physicochemical characteristics and thermal properties of

- chemically modified jack bean (*Canavalia ensiformis*) starch, *Carbohydr. Polym.*, 60, 331–341.
- Lestari, A.D.N., Siswanta, D., Martien, R., and Mudasir, M., 2020, Synthesis, characterization, and stability evaluation of  $\beta$ -carotene encapsulated in starch-chitosan/tripolyphosphate matrices, *Indones. J. Chem.*, 20, 929–940.
- Loksuwan, J., 2007, Characteristics of microencapsulated  $\beta$ -carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin, *Food Hydrocoll.*, 21, 928–935.
- Rampino, A., Borgogna, M., Bellich, B., Blasi, P., Virgilio, F., and Cesàro, A., 2016, Chitosan-pectin hybrid nanoparticles prepared by coating and blending techniques, *Eur. J. Pharm. Sci.*, 84, 37–45.
- Rutz, J.K., Borges, C.D., Zambiasi, R.C., Cleonice, G., and Médelin, M., 2016, Elaboration of microparticles of carotenoids from natural and synthetic sources for applications in food, *FOOD Chem.*, 202, 324–333.
- Saini, R.K., Nile, S.H., and Park, S.W., 2015, Carotenoids from fruits and vegetables: Chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities, *Food Res. Int.*, 76, 735–750.
- Senanayake, N.S.P.J., 2013, Green tea extract: Chemistry, antioxidant properties and food applications - A review, *J. Funct. Foods*, 5, 1529–1541.
- Singh, H., Sodhi, N.S., and Singh, N., 2009, Structure and Functional Properties of Acid Thinned Sorghum Starch, 2912, .
- Spada, J.C., Noreña, C.P.Z., Marczak, L.D.F., and Tessaro, I.C., 2012, Study on the stability of  $\beta$ -carotene microencapsulated with pinhão (*Araucaria angustifolia* seeds) starch, *Carbohydr. Polym.*, 89, 1166–1173.
- Ulbrich, M., Beresnewa-Seekamp, T., Walther, W., and Flöter, E., 2016, Acid-thinned corn starch-impact of modification parameters on molecular characteristics and functional properties, *Starch/Stärke*, 68, 399–409.
- Wang, S. and Copeland, L., 2012, Effect of alkali treatment on structure and function of pea starch granules, *Food Chem.*, 135, 1635–1642.
- Wang, Y.J., Truong, V.D., and Wang, L., 2003, Structures and rheological properties of corn starch as affected by acid hydrolysis, *Carbohydr. Polym.*, 52, 327–333.