

MODIFIKASI ASILASI DAN SUKSNILASI PATI TAPIOKA

[Modification of Acylation and Succinylation of Tapioca Starch]

Rini Hustiany¹⁾, Dedi Fardiaz²⁾, Anton Apriyantono²⁾, dan Nuri Andarwulan²⁾

¹⁾Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru

²⁾Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

Diterima 29 Agustus 2005 / Disetujui 20 Januari 2006

ABSTRACT

Modified starch is one of ingredients commonly used in food processing for coating and flavor encapsulation. This component can be made by modifying the structure of native starch either through chemical or enzymatic reaction. This research was aimed to chemically modify tapioca starch into a modified starch with improved coating characteristic. The tapioca starch was first hydrolyzed to a hydrolyzate with dextrose equivalent of 9.1. Both tapioca starch and hydrolyzate were further acylated with stearic acid and propionic acid and succinylation with succinic acid. The concentrations of acids used for acylation and succinylation were 2.44, 4.76, and 9.09 %. The modified starches were analyzed for their yield and moisture content, the degree of substitution, functional groups, crystalline structure, polarization, gelatinization properties and viscosity. The moisture content of the modified starches was 1.52-3.32% and the yield was 87.45-95.43%. The hydroxyl group substitution into acyl and succinyl groups was low, i.e 0.03-0.04 and 0.05-0.08 respectively. The results showed that methyl, methylene and CO carbonyl groups were formed in the modified starches. The crystalline structure of the modified starches was broken. This revealed that the peak 22.62° was widened and the doublet were disappearing on peak 16.85° and 17.99°. Birefringence of the acylated and succinylation starch changed significantly and disappeared in the case of acylated and succinylation hydrolyzate. The initial and optimum gelatinization temperature of acylated and succinylation starch were 57.6-64.2°C and 68.62-92.4°C respectively, and the maximum viscosity was 14-714 Brabender Unit. No initial and optimum gelatinization temperature nor maximum viscosity was found in acylated and succinylation hydrolyzate. Based on our finding it is suggested that acylation (9.09%) and succinylation (4.76%) of tapioca starch can be used to modify the starch into a product with better coating characteristic.

Key words : tapioca starch, modified starch, hydrolyzed starch, acylation, succinylation

PENDAHULUAN

Modifikasi tapioka sudah banyak dilakukan dengan berbagai macam cara, seperti asilasi tapioka dan pregelatinisasinya dengan asam stearat untuk enkapsulan flavor (Varavinit et al., 2001), asilasi tapioka dengan asam propionat dicampur dengan polyester polyurethane untuk dijadikan film (Santayonan dan Wootthikanokkhan, 2003), hidrolisis dengan HCl untuk memperoleh tingkat kristalin yang tinggi (Atichokudomchai et al., 2001; Atichokudomchai et al., 2002), hidrolisis dengan HCl dan cross-link dengan natrium trimetaphosfat untuk pembuatan tablet (Atichokudomchai dan Varavinit, 2003); cross-link dengan fosforus oksiklorida (Khatijah, 2000) dan dekstrin (seperti K4484 adalah dekstrin tapioka) dan pati termodifikasi (seperti flomax 8 adalah pati tapioka termodifikasi) untuk dijadikan enkapsulan (National Starch, 2005).

Pati-pati termodifikasi untuk enkapsulan biasanya dalam bentuk pati oktenil suksinat (Krishnan et al., 2005; Shaikh et al., 2005), pati suksinat (Jeon et al., 2003; Mongenot et al., 2000), pati pregelatinisasi (Ongan et al., 2002), pati dan pati pregelatinisasi stearat (Varavinit et al., 2001), maltodekstrin/pati oktenil suksinat

(Mongenot et al., 2000), maltodekstrin (Krishnan et al., 2005; Che Man et al., 1999; Bhandari et al., 1992), dan siklodekstrin (Jeon et al., 2003; Bhandari et al., 1999). Dengan demikian untuk enkapsulan biasanya digunakan pati termodifikasi dengan asilasi atau suksinilasi, dan pati terhidrolisis. Proses asilasi atau suksinilasi biasanya dilakukan pada media aqueous, seperti NaOH (Lawal, 2004; Miladinov dan Hanna, 2000; Jarowenko, 1989) atau dalam media nonaqueous, seperti piridin (Lawal 2004; Santayonan dan Wootthikanokkhan, 2003) dan etanol (Varavinit et al., 2001). Proses tersebut dapat dilakukan pada pati (Miladinov dan Hanna, 2000; Varavinit et al., 2001; Santayonan dan Wootthikanokkhan, 2003) atau pati pregelatinisasi (Varavinit et al., 2001). Adapun proses hidrolisis yang banyak dilakukan adalah menggunakan asam, seperti HCl (Atichokudomchai dan Varavinit, 2003) dan enzim (Kukman et al., 1998).

Di Indonesia, sebagian besar pati termodifikasi diperoleh dari impor. Penelitian ini bertujuan memodifikasi pati tapioka dengan cara melakukan asilasi dan suksinilasi menggunakan asam stearat, asam propionat dan asam suksinat pada pati yang telah dihidrolisis dan yang belum dihidrolisis, sehingga

diperoleh pati termodifikasi yang dapat digunakan untuk berbagai tujuan proses, seperti enkapsulasi.

METODOLOGI

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah tapioka merk kupu-kupu II dari pabrik di Kedung Halang, Bogor, α -amilase dari *Bacillus subtilis* (Sigma), asam propionat (Merck), asam stearat (Merck), asam suksinat (Merck), asam sitrat, asam dietilbarbiturat ($C_8H_{12}N_2O_3$), KH_2PO_4 , H_3BO_3 , NaOH, HCl, Na-K-Tartarat, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, dekstrosa standar, metilen blue, $CaCO_3$, Pb-Asetat, Na-Oksalat, etanol 96%, indikator pp, KBr, aquades DM (deminalisasi), dan aquades.

Metode penelitian

Hidrolisis Pati dengan α -Amilase

Hidrolisis pati tapioka dilakukan untuk menghasilkan hidrolisat pati dengan DE 8 – 10. Sebanyak 34,76 g pati tapioka dengan kadar air 13,7% disuspensikan ke dalam 100 ml air bebas ion. Suspensi dinetralkan sampai pH 7 dengan NaOH 0,5 M, kemudian ke dalamnya ditambahkan enzim α -amilase sebanyak 0,167 mg enzim/100 g pati (bk) dengan aktivitas enzim sebesar 796,12 unit/mg protein. Satu unit enzim ekuivalen dengan hidrolisis pati menjadi 1 mg maltosa selama 3 menit pada pH 7. Proses hidrolisis dilakukan pada *waterbath shaker* suhu 75°C selama 60 menit dengan kecepatan goyangan 150 rpm. Hidrolisis berlangsung selama 1 jam dihitung sejak suhu air menunjukkan 75°C. Setelah proses hidrolisis, enzim diinaktivasi dengan menambahkan HCl 2M sampai pH 3. Sebelum dikeringkan, *dextrose equivalent* hidrolisat pati ditetapkan dengan metode *Lane Eynon*. Semua hidrolisat dikeringkan dalam oven vakum pada suhu 70 - 75°C selama kurang lebih 19 jam. Hidrolisat pati yang masih dalam bentuk film, dihancurkan dengan grinder dan diayak dengan ayakan 60 mesh.

Asilasi dan suksinilasi

Metode yang digunakan untuk proses asilasi dan suksinilasi adalah metode yang dimodifikasi dari Varavinit et al., (2001), yaitu asam propionat, asam stearat atau asam suksinat dengan konsentrasi 2,44, 4,76 dan 9,09% (b/b), dilarutkan dalam 100 ml etanol 96% dan diaduk dengan stirer. Ke dalam larutan tersebut dimasukkan 100 gram pati atau hidrolisat pati secara pelan-pelan dan terus diaduk dengan pengadukan selama 30 menit. Campuran yang terbentuk disaring dengan saringan vakum Buchner. Filtratnya dibuang, sedangkan pati yang masih mengandung etanol selanjutnya dikeringkan dalam oven vakum pada suhu 60-70°C selama 1 jam untuk menguapkan etanol. Pati yang bebas etanol selanjutnya dipanaskan dalam oven

pada suhu 150°C selama 2 jam untuk proses asilasi atau suksinilasi. Pati yang telah terasilasi atau tersuksinilasi dicuci dengan etanol 96% sebanyak 3 kali untuk menghilangkan asam propionat, asam stearat atau asam suksinat yang tidak terasilasi atau tersuksinilasi. Etanol yang masih ada didalam pati diuapkan dengan oven vakum pada suhu 60-70°C selama 1 jam.

Analisis sifat fisik dan kimia pati termodifikasi

Pati termodifikasi dianalisis berupa rendemen, kadar air, derajat substitusi (Varavinit et al., 2001), identifikasi gugus fungsional dengan *Fourier Transformation Infra Red* (FTIR), struktur kristal dengan *x-Ray Diffraction* dan mikroskop polarisasi, tingkat gelatinisasi dan viskositas dengan amilograf Brabender.

Derajat substitusi (Varavinit et al., 2001)

Pati atau hidrolisat pati terasilasi atau tersuksinilasi yang telah dicuci, diambil sebanyak 5 gram. Ke dalam pati ditambahkan dengan 50 ml aquades yang mengandung 25 ml 0,5 M NaOH. Campuran ini diaduk dengan stirer pada suhu ruang selama 30 menit. Kelebihan NaOH dititrasi dengan 0,1 M HCl sampai pH 7 yang sebelumnya telah ditambahkan indikator pp 1% sebanyak 3 tetes.

Perhitungan derajat substitusi (DS) adalah :

$$DS = 162 M (B - S) / 1000 W$$

dimana :

W = berat sampel (gram)

B = volume HCl 0,1 M pada blanko (ml)

S = volume HCl 0,1 M pada sampel (ml)

M = molaritas HCl (mol/liter)

162 = berat molekul anhidroglukosa (162 gram/mol)

DS = jumlah gugus hidroksil yang terasilasi atau tersuksinilasi

Struktur kimia berdasarkan gugus fungsionalnya

Perubahan struktur kimia pada pati dapat diukur secara kualitatif menggunakan spektrometer FTIR (*Fourier Transformation Infra Red*) pada panjang gelombang 400 sampai 4000 cm^{-1} . Caranya, sampel dicampurkan dengan kristal KBr dengan perbandingan sampel dan KBr adalah 1/100. Campuran ini dimasukkan ke dalam wadah untuk membentuk suatu pelet. Pelet ini dimasukkan ke dalam FTIR untuk dibaca.

Struktur kristal pati dengan X-ray diffraction

Radiasi monokromatik yang digunakan adalah Cu dengan panjang gelombang $\alpha_1=1,54056 \text{ \AA}$ dan $\alpha_2=1,54439$ yang dihasilkan dari difraktometer X-ray PW1710 Based. Generator dijalankan pada 40 kV dan 30 mA. Daerah *scanning* difraksi pada sudut 2 theta 5 – 30° dengan *step interval* 0,02° dan kecepatan *scan* 1,5°/menit.

Sifat mikroskopik granula pati (mikroskop polarisasi)

Pati sebanyak 1 gram dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan dilarutkan dalam 15 ml air. Kemudian suspensi divorteks untuk melarutkan pati. Selanjutnya dengan menggunakan batang ose, suspensi diteteskan di atas gelas objek dan ditutup dengan gelas penutup. Preparat dilihat dibawah mikroskop polarisasi pada perbesaran 200 dan 400 kali.

Tingkat gelatinisasi dan viskositas

Tingkat gelatinisasi dan viskositas pati diukur dengan amilograf Brabender ONG Duisburg. Sampel sebanyak 45 gram dimasukkan ke dalam 450 ml aquades dan dimasukkan ke dalam bowl amilograf. Lengan sensor dipasang dan dimasukkan ke dalam bowl. Suhu awal termoregulator diatur pada suhu 30°C dan switch pada posisi nol. Switch pengatur diatur pada posisi bawah (97°C). Mesin amilograf dihidupkan dan suhu akan meningkat 1,5°C setiap menit. Setelah 40 menit, switch dipindahkan pada posisi atas (20°C).

Analisis statistik

Analisis statistik menggunakan rancangan acak lengkap dengan dua kali ulangan pada viskositas pati suksinat 4,76 dan 9,09%. Perhitungan ANOVA dengan P>= 0,05 menggunakan program SPSS versi 9,0.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Modifikasi pati tapioka

Pati tapioka yang digunakan adalah pati dengan kadar air sebesar 13,7%, kadar pati 96,77% (bk) dengan suhu optimum gelatinisasi sebesar 75°C. Pati ini dihidrolisis sampai nilai DE (*dextrose equevalent*) sebesar 9,1. Nilai DE ini sesuai dengan laporan Matsutani Chemical Industry (1999), yang menyatakan bahwa dekstrin yang cocok untuk menjadi enkapsulan mempunyai nilai DE 8 – 9,5. Pati tapioka dan hidrolisat pati selanjutnya diasilasi dengan asam stearat dan asam propionat dan disuksinilasi dengan asam suksinat. Kadar

air dan rendemen pati termodifikasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Proses asilasi dan suksinilasi menggunakan suhu 150°C, sehingga pati yang terasilasi dan tersuksinilasi berwarna putih, sedangkan hidrolisat pati yang terasilasi atau tersuksinilasi warnanya menjadi kuning kecoklatan. Warna kuning kecoklatan pada hidrolisat pati terasilasi atau tersuksinilasi disebabkan reaksi pencoklatan, baik karena reaksi karamelisasi maupun karena reaksi Maillard (Hollnagel dan Kroh, 2000) sebagai akibat terbentuknya gula pereduksi pada saat hidrolisis oleh enzim.

Karakteristik pati tapioka termodifikasi

Derajat substitusi

Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi konsentrasi asam stearat, propionat, dan suksinat, derajat substitusi (DS) gugusan hidroksilnya makin tinggi (Gambar 1). Suksinilasi nampaknya menghasilkan derajat substitusi relatif lebih tinggi dibandingkan dengan asilasi oleh asam stearat dan asam propionat. Derajat substitusi oleh asam stearat dan asam propionat umumnya antara 0,03-0,04 atau pada setiap 23 – 33 AGU (*anhydroglucose unit*) asam propionat atau asam stearat dapat mensubstitusi 1 gugus OH. Adapun DS dengan asam suksinat umumnya antara 0,045-0,08 atau pada setiap 11 – 22 unit AGU asam suksinat dapat mensubstitusi 1 gugus OH. DS yang dihasilkan oleh pati tapioka termodifikasi ini nilainya rendah, yaitu kurang dari 0,5 (Jarowenko, 1989).

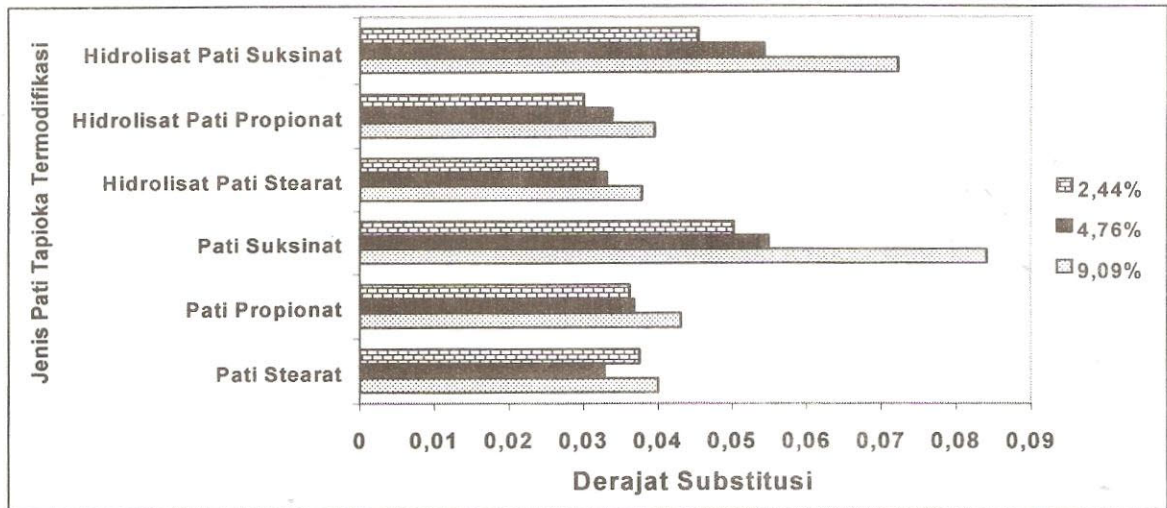
Identifikasi gugus fungsional pati termodifikasi

Proses asilasi antara pati dengan asam stearat dan asam propionat menghasilkan pati terasilasi dan fraksi air (Gambar 2A). Adapun pada asam suksinat, asam suksinat terlebih dahulu bereaksi dengan etanol untuk menghasilkan suatu produk asam suksinat dan fraksi air (Gambar 2B). Selanjutnya produk asam suksinat bereaksi dengan pati untuk menghasilkan pati tersuksinilasi dan fraksi air (Gambar 2C).

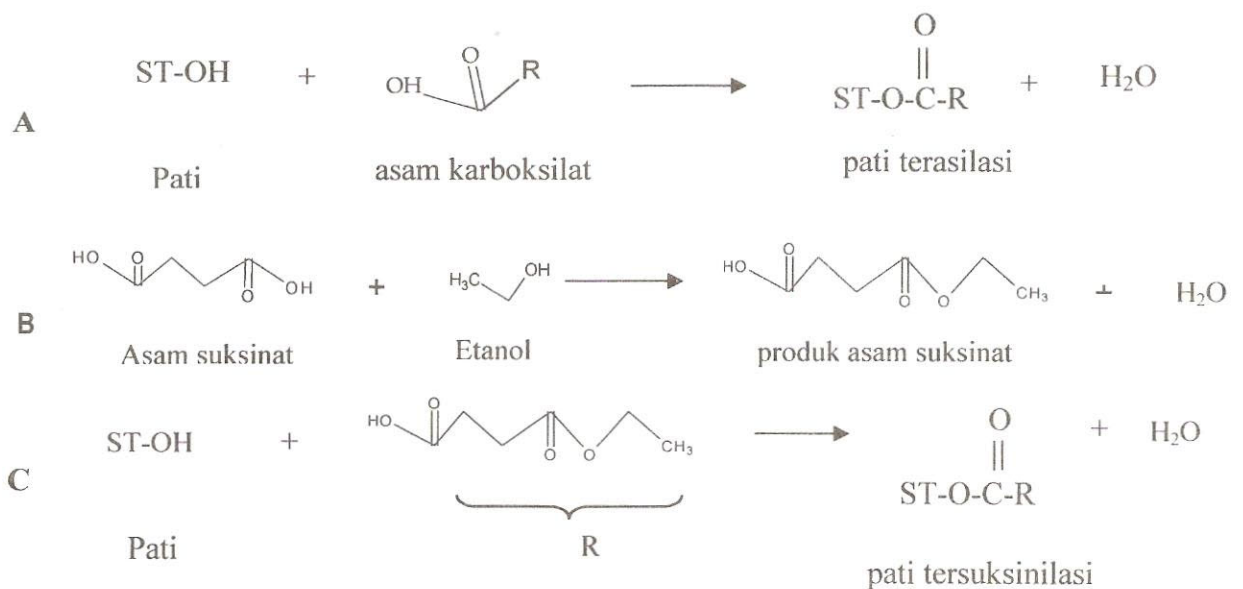
Tabel 1. Nilai DE, kadar air dan rendemen pati tapioka termodifikasi

Jenis Pati	Kontrol	Konsentrasi Asam Karboksilat								
		Stearat (%)			Propionat (%)			Suksinat (%)		
		2,44	4,76	9,09	2,44	4,76	9,09	2,44	4,76	9,09
DE										
Pati Tapioka	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidrolisat Pati	9,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kadar Air, %										
Pati Tapioka	13,7	2,68	2,72	2,68	2,83	2,76	3,03	3,32	2,60	2,50
Hidrolisat Pati	8,32	1,94	2,10	1,61	1,95	2,10	1,65	1,96	1,77	1,52
Rendemen, % bk										
Pati Tapioka	-	92,49	89,93	85,29	95,14	92,61	87,55	95,43	93,50	88,74
Hidrolisat Pati	-	91,83	89,46	91,83	89,90	87,45	90,39	95,19	92,91	88,57

Keterangan : "-" = tidak dianalisis



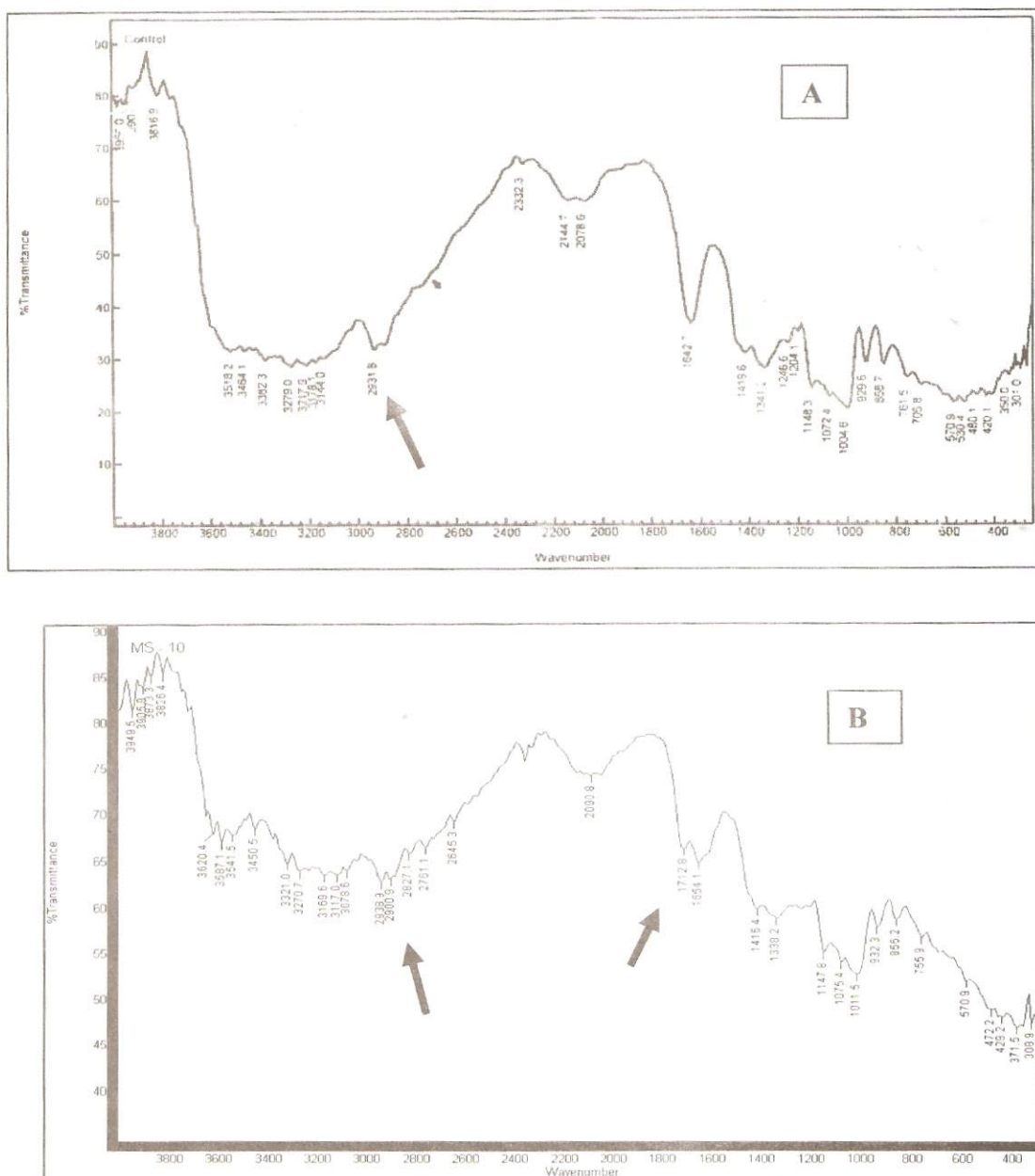
Gambar 1. Derajat substitusi pati termodifikasi



Gambar 2. Proses asilasi dan suksinilasi. **A**, reaksi antara pati dengan asam karboksilat (asam stearat dan asam propionat); **B**, reaksi antara asam suksinat dengan etanol; **C**, reaksi antara pati dengan produk asam suksinat

Seperti terlihat pada Gambar 2 di atas, reaksi-reaksi pada proses asilasi dan suksinilasi menghasilkan gugus CO karbonil dan meningkatkan intensitas gugus CH₂ dan CH₃ pada pati termodifikasi. Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat spektrum IR (*infra red*) yang menunjukkan adanya perbedaan yang nyata antara pati tapioka dengan pati termodifikasi (Gambar 3A dan 3B), yaitu pada gugus metil (CH₃) (α 2891 cm⁻¹), metilen (CH₂) (α 2934 cm⁻¹) dan CO karbonil (1712,8 cm⁻¹). Terbentuknya gugus CO karbonil (1712,8 cm⁻¹)

menunjukkan adanya proses asilasi dan suksinilasi, sebagaimana juga diperoleh oleh Santayonan dan Wootthikanokkhan (2003). Selain itu, terjadinya peningkatan intensitas pada α sekitar 2900 cm⁻¹ menunjukkan adanya proses substitusi gugus OH pada pati dengan asam stearat, propionat dan suksinat. Akibatnya, terbentuk rantai panjang hidrokarbon menggantikan gugus OH.



Gambar 3. Spektrum IR. **A**, pati tapioka; **B**, hidrolisat pati tersuksinilasi (Keterangan : spektrum IR untuk pati termodifikasi lainnya hampir sama dengan hidrolisat pati tersuksinilasi)

Adanya gugus asil dan suksinil yang mensubstitusikan gugus OH pada pati dan hidrolisat pati menyebabkan semakin meningkatnya daerah hidrofobik pada pati termodifikasi. Varavinit et al., (2001) telah membuktikan bahwa pati tapioka stearat (DS = 0,016 – 0,008) dapat dijadikan enkapsulan minyak lemon. Semakin besar DS-nya maka semakin baik pula efisiensi enkapsulasi minyak lemonnya. Dengan begitu, pati tapioka termodifikasi (DS = 0,03 – 0,08) juga kemungkinan besar dapat dijadikan sebagai enkapsulan.

Struktur kristal pati

Pola difraksi sinar x pati tapioka mempunyai empat peak bagian kristalin, yaitu pada 2α sebesar 15,055°, 16,820°, 17,995°, dan 22,845° (Gambar 4A). Peak pada 16,820° dan 17,995° adalah *doublet*. Keempat peak ini menunjukkan adanya struktur kristal pada pati tapioka yang merupakan polimer pati bercabang dengan rantai lurus yang panjang dan berbelit-belit (*helix*), seperti amilopektin (Aguilera dan Stanley, 1999).

Adanya substitusi gugus OH pada pati dengan gugus asil dan suksinil dapat merusak struktur kristal pati. Kerusakan ini dapat dilihat pada pola difraksi sinar x pati terasilasi dan tersuksinilasi hampir tidak terlihat

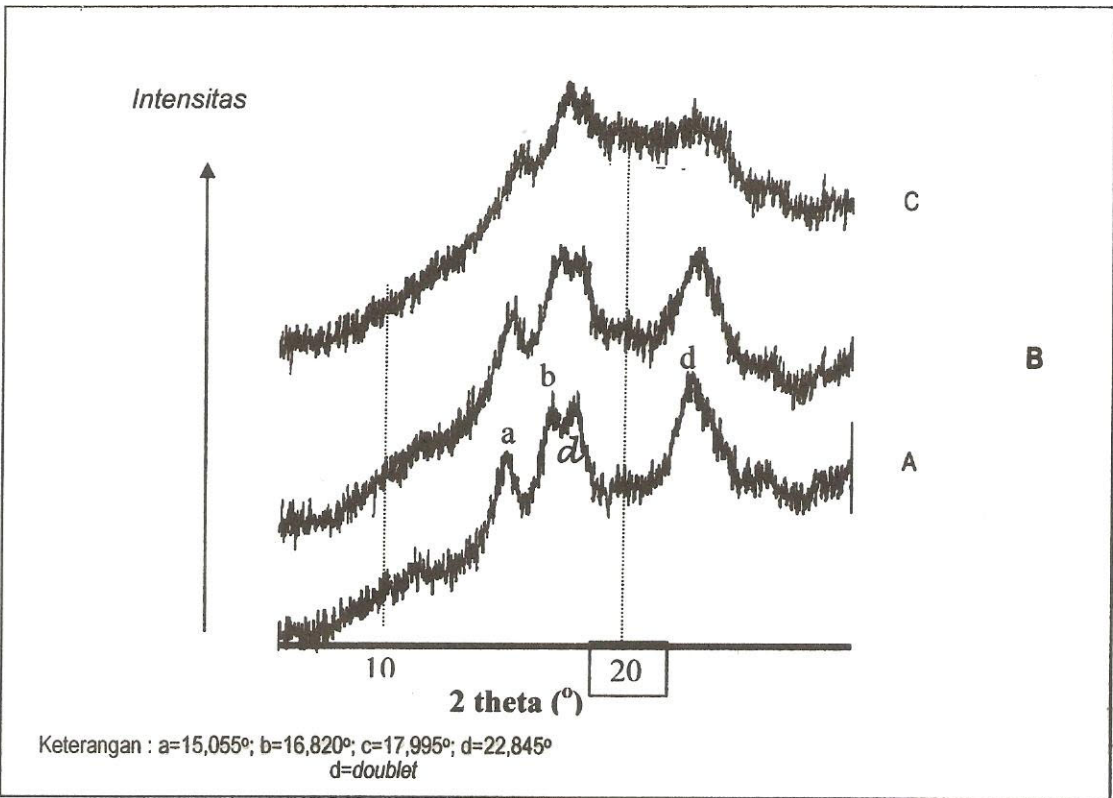
bentuk *doublet*-nya pada peak 17,995° (Gambar 4B). Kerusakan kristal juga dapat disebabkan proses hidrolisis, seperti pada hidrolisat pati terasilasi dan tersuksinilasi. Kerusakan ini dapat dilihat dengan bertambah lebarnya peak 22,845° dan 17,995° serta bentuk *doublet*-nya hampir tidak terlihat (Gambar 4C). Masih adanya struktur kristal pada hidrolisat pati terasilasi dan tersuksinilasi diduga diakibatkan proses retrogradasi amilosa yang membentuk *double helix* (Atichokudomchai et al., 2004; Morris, 1990) dan rekristalisasi amilopektin (Morris, 1990).

Kerusakan struktur kristal pati berhubungan dengan kerusakan pada pola *birefringence* granula pati. Pola *birefringence* pati terasilasi dan tersuksinilasi telah ada yang rusak pada bagian *Maltese cross* dan kristalinitasnya (Gambar 5B), dibandingkan dengan granula pati tapioka (Gambar 5A). Kedua pola *birefringence* (Gambar 5A dan 5B) berbeda dengan pola *birefringence* hidrolisat pati terasilasi dan tersuksinilasi (Gambar 5C) yang telah hilang karena telah tergelatinisasi sempurna (McWilliams, 2001).

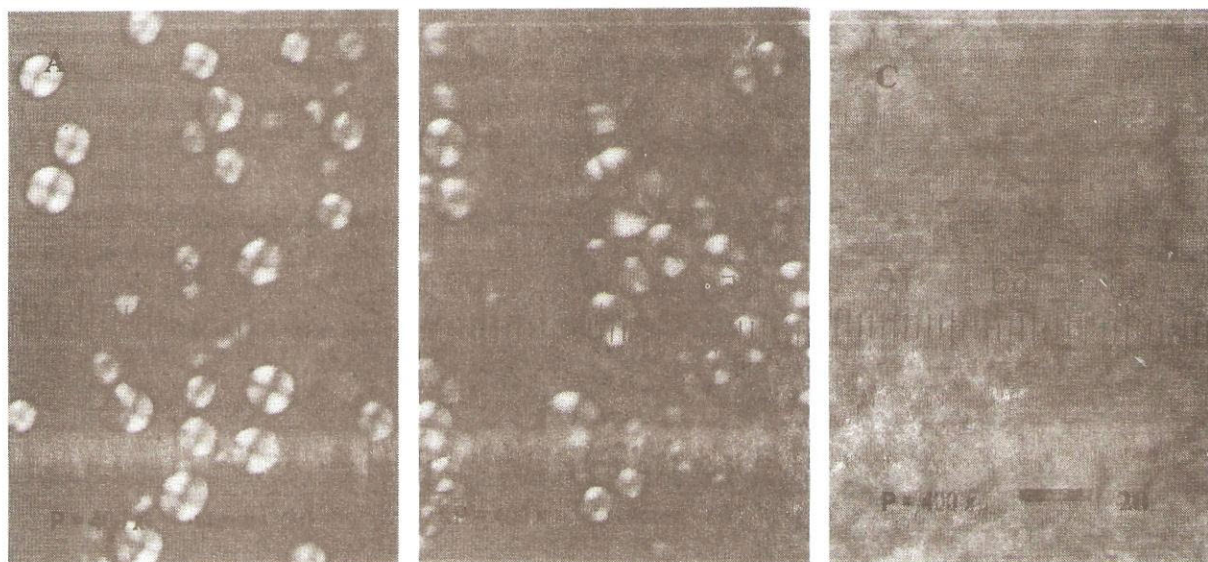
Kerusakan bagian kristalin akan meningkatkan bagian amorfous. Bagian amorfous ini yang membuat struktur pati menjadi porus dan lebih mudah untuk mengikat dan berinteraksi dengan komponen flavor (Jeon et al., 2003; Zeller)

Tingkat gelatinisasi dan viskositas

T_{awal} (suhu pada saat awal granula pati mengalami pembengkakan) dan T_{opt} (suhu pada saat pembengkakan granula pati sempurna sebelum rusak) pati tapioka adalah masing-masing 65,55°C dan 75°C, sesudah modifikasi baik T_{awal} maupun T_{opt} turun (Tabel 2). Pada hidrolisat pati terasilasi dan tersuksinilasi, tidak teridentifikasi T_{awal} dan T_{opt} , serta tidak terjadi peningkatan viskositas, karena semua granula pati telah tergelatinisasi secara sempurna sewaktu proses hidrolisis.



Gambar 4. Pola difraksi sinar x. A, pada tapioka; B, pati terasilasi dan tersuksinilasi; C, hidrolisat pati terasilasi dan tersuksinilasi



Gambar 5. Sifat mikroskopik granula. A, pati tapioka; B, pati terasilasi dan tersuksinilasi; C, hidrolisat pati terasilasi dan tersuksinilasi. Perbesaran 400x, 1 bar = 20 μ m

Tabel 2. Tingkat gelatinisasi dan viskositas pati termodifikasi

Jenis Pati	Kontrol	Konsentrasi Asam Karboksilat								
		Stearat (%)			Propionat (%)			Suksinat (%)		
		2,44	4,76	9,09	2,44	4,76	9,09	2,44	4,76	9,09
T_{awal}, °C										
Pati	65,55	64,05	62,40	62,10	63,68	63,67	63,22	64,20	59,70	57,60
Hidrolisat pati	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T_{opt}, °C										
Pati	75,00	72,00	83,55	92,40	69,00	68,63	68,62	70,95	70,50	73,50
Hidrolisat pati	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Viskositas, Brabender Unit										
Pati	1100	714	571	133,5	334,5	156,5	101,5	57	14 ^a	20 ^a
Hidrolisat pati	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Keterangan : Huruf yang sama (a) pada viskositas pati suksinat 4,76 dan 9,09% menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata pada $\alpha=0,05$

"-" = tidak teridentifikasi

Nilai T_{awal} pati terasilasi dan tersuksinilasi lebih rendah dibandingkan dengan pati tapioka. Semakin banyak jumlah asam stearat, asam propionat atau asam suksinat yang ditambahkan, T_{awal}-nya semakin menurun (Tabel 2). Nilai T_{opt} pati terasilasi dan tersuksinilasi juga lebih rendah dibandingkan dengan pati tapioka (Tabel 2), kecuali pati stearat 4,76 dan 9,09% lebih tinggi dari pati tapioka. Nilai T_{opt} juga mempunyai kecenderungan yang berbeda dengan semakin banyaknya asam propionat, stearat dan suksinat yang ditambahkan. Nilai T_{opt} dengan asam propionat cenderung menurun dengan semakin banyak asam propionat yang ditambahkan, sedangkan penambahan dengan asam stearat dan asam suksinat, nilai T_{opt} cenderung naik dengan semakin banyaknya asam stearat dan asam suksinat yang ditambahkan.

Penurunan T_{awal} dan T_{opt} dapat disebabkan rusaknya struktur kristalin pati, sehingga memungkinkan untuk terjadinya peningkatan ikatan antara air dan pati (Miladinov dan Hanna, 2000). Adapun peningkatan nilai

T_{opt} dengan semakin banyaknya asam stearat dan suksinat yang ditambahkan diduga disebabkan adanya asam stearat dan asam suksinat yang berikatan dengan molekul pati semakin menghambat untuk terjadinya ikatan hidrogen antara air dengan pati. Akibatnya proses gelatinisasi semakin lama.

Viskositas maksimum pati terasilasi dan tersuksinilasi lebih rendah dibandingkan dengan pati tapioka. Semakin banyak jumlah asam stearat, propionat, suksinat yang ditambahkan, viskositasnya semakin menurun. Viskositas maksimum pati stearat dan pati propionat lebih besar dari pati suksinat (Tabel 2). Hal ini menunjukkan bahwa pada pati suksinat granula patinya banyak yang rusak, sehingga bagian amilosa dan amilopektin sudah ada yang keluar dari granula. Dengan viskositas pati yang rendah, pati termodifikasi kemungkinan besar dapat digunakan sebagai enkapsulan yang baik (King, 1995).

KESIMPULAN

Pati tapioka termodifikasi yang dihasilkan semakin meningkat sisi hidrofobiknya dengan derajat substitusi yang rendah. Gugus metilen, metil dan CO karbonil serta bagian amorfous meningkat. Suhu gelatinisasi dan viskositas maksimum secara umum lebih rendah dari tapioka. Dengan karakter-karakter seperti ini, maka pati termodifikasi yang direkomendasikan untuk enkapsulan adalah pati dan hidrolisat pati stearat 9,09%, propionat 9,09% dan suksinat 4,76%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Proyek Peningkatan Penelitian Pendidikan Tinggi, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi melalui Proyek Penelitian Dasar tahun anggaran 2004, beasiswa BPPS, Pemda Kalimantan Selatan, dan Yayasan Supersemar.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguilera JM, Stanley DW. 1999. Microstructural Principles of Food Processing and Engineering. Ed ke-2. Maryland:An Aspen Pub.
- Atichokudomchai N, Shobsngob S, Chinachoti P, Varavinit S. 2001. A study of some physicochemical properties of high-crystalline tapioca starch. *Starch/Starke* 53:577-581.
- Atichokudomchai N, Varavinit S, Chinachoti P. 2002. Gelatinization transitions of acid-modified tapioca starches by differential scanning calorimetry (DSC). *Starch/Starke* 54:296-302.
- Atichokudomchai N, Varavinit S. 2003. Characterization and utilization of acid-modified cross-linked tapioca starch in pharmaceutical tablets. *Carbohydrate Polymers* 53:263-270.
- Atichokudomchai N, Varavinit S, Chinachoti P. 2004. A study of ordered structure in acid-modified tapioca starch by ^{13}C CP/MAS solid-state NMR. *Carbohydrate Polymers* [Article In Press]:1 - 7.
- Bhandari BR, D'Arcy BR, Padukka I. 1999. Encapsulation of lemon oil by paste method using β -cyclodextrin: encapsulation efficiency and profile of oil volatiles. *J. Agric. Food Chem.* 47:5194-5197.
- Bhandari BR, Dumoulin ED, Richard HMJ, Noleau I, Lebert AM. 1992. Flavor encapsulation by spray drying: application to citral and linalyl acetate. *J. of Food Sci.* 57:217-221.
- Che Man YB, Irwandi J, Abdullah WJW. 1999. Effect of different types of maltodextrin and drying methods on physico-chemical and sensory properties of encapsulated durian flavour. *J. Sci. Food Agric.* 79:1075-1080.
- Hollnagel, A. dan L.W. Kroh. 2000. Degradation of oligosaccharides in nonenzymatic browning by formation of alpha-dicarbonyl compounds via a "peeling off" mechanism. *J. Agric. Food Chem.* 48:6219-6226.
- Jarowenko, W. 1989. Acetylated starch and miscellaneous organic esters. *Di dalam* Wurzburg OB, editor. *Modified Starches : Properties and Uses*. Florida: CRC Press, Inc.
- Jeon Y-J, Vasanthan T, Temelli F, Song B-K. 2003. The suitability of barley and corn starches in their native and chemically modified forms for volatile meat. *Food Res. Int.* 36:349-355.
- Khatijah I. 2000. Effect of reaction pH and concentration of phosphorus oxychloride on cross-linking of tapioca starch [abstract]. *J. of Tropical Agric. and Food Sci.* 28:95-100.
- King AH. 1995. Encapsulation of food ingredients. A review of available technology, focusing on hydrocolloids. *Di dalam* Risch SJ, Reineccius GA, editor. *Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients*. Washington DC: ACS.
- Krishnan S, Bhosale R, Singhal RS. 2005. Microencapsulation of cardamom oleoresin: evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. *Carbohydrate Polymers* [Article In Press: 28 April 2005].
- Kukman IL, Blatnik MZ, Abram V. 1998. Quantitative estimation of the action of β -amylase from *Bacillus subtilis* on native corn starch by HPLC and HPTLC. *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A.* 206:175-178.
- Lawal OS. 2004. Succinyl and acetyl starch derivatives of a hybrid maize: physicochemical characteristic and retrogradation properties monitored by differential scanning calorimetry. *Carbohydrate Research* [Article In Press].
- Matsutani Chemical Industry. 1999. Maltodextrin. Matsutani Chem. Ind. Co., Ltd. <http://www.matsutani.com/products.htm>. [20 April 2003].
- McWilliams M. 2001. *Foods Experimental Perspective Starch*. New Jersey: Prentice Hall.
- Miladinov VD, Hanna MA. 2000. Starch esterification by reactive extrusion. *Inds. Crop and Prod.* 11:51-57.
- Mongenot N, Charrier S, Chalier P. 2000. Effect of ultrasound emulsification on cheese aroma encapsulation by carbohydrate. *J. Agric. Food*

- Chem. 48:861-867.
- Morris VJ. 1990.** Starch gelation and retrogradation [review]. *Trends in Food Sci. and Tech.* July: 2-6.
- National Starch. 2005.** Food Innovation. <http://www.foodinnovation.com>. [15 Maret 2005].
- Ongen G, Yilmaz G, Jongboom ROJ, Feil H. 2002.** Encapsulation of β -amylase in a starch matrix [abstract]. *Carbohydrate Polymers.* 50:1-5.
- Santayonan R, Wootthikanokkhan J. 2003.** Modification of cassava starch by using propionic anhydride and properties of the starch-blended polyester polyurethane. *Carbohydrate Polymers* 51:17-24.
- Shaikh J, Bhosale R, Sigal R. 2005.** Microencapsulation of black pepper oleoresin. *Food Chem.* [Article In Press: 19 Januari 2005].
- Varavinit, S, Chaokasem N, Shobsngob S. 2001.** Studies of flavor encapsulation by agents produced from modified sago and tapioca starches. *Starch/Starke* 53:281-287.
- Zeller, BL, FZ Saleeb, RD Ludescher. 1999.** Trends in development of porous carbohydrate food ingredients for use in flavor encapsulation. *Trends in Food Sci. & Tech.* 9:389-394.