

**KARAKTERISASI SIFAT FISIKOKIMIA DAN FUNGSIONAL FRAKSI PATI UWI UNGU
(DIOSCOREA ALATA)
(CHARACTERIZATION OF PHYSICOCHEMICAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF YAM
(DIOSCOREA ALATA) STARCH FRACTION)**

Lula Nadia¹, M. Aman Wirakartakusumah², Nuri Andarwulan² dan Eko Hari Purnomo²

¹Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Institut Pertanian Bogor, Bogor

²Southeast Asia Food Agricultural Science and Technology (SEAFAST) Center, Institut Pertanian Bogor, Bogor
e-mail: lula_nadia@yahoo.com

Diterima: 24-07-2013

Direvisi: 29-11-2013

Disetujui: 02-12-2013

ABSTRACT

Size fractionation of yam starch granule could be achieved through dry sieving Retsch Siever with 400 and 500 mesh. Although the fractionation was not completely separate the granule size, however it could provide a significant difference in average size of the fractions. Starch granule morphology, size distribution, amylose and phosphorus contents, crystal structure, thermal properties, and rheological characteristic of the starch fraction were evaluated. In this study, based on the average value of the granule size, significant effects of fraction were obtained on phosphorus content and relative crystallinity of the starch. The size fraction differences did not give a significant impact on its gelatinization character, while in the pasta formations the effect of the fraction was found in peak and final viscosity. In the bigger size fraction, the phosphorus content increased but the relative crystallinity decreased. These differences made the large size fraction of starch granule had the advantage in paste profiling than starches and fractions against stirring, heating and cooling for its potential use in food processing as thickener.

Keywords: *dioscorea alata, starch, size fractionation, size distribution, viscoelasticity*

ABSTRAK

Fraksinasi ukuran granula pati uwi dapat dicapai dengan menggunakan pengayakan kering *Retsch Siever* 400 dan 500 mesh. Meskipun metode fraksinasi ini tidak sempurna memisahkan ukuran granula, tetapi dapat memberikan perbedaan yang signifikan dari nilai rerata ukuran fraksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi morfologi granula, distribusi ukuran, kandungan amilosa, kadar fosfor, struktur kristal dan kristalinitas relatif, sifat termal, serta karakteristik *rheologi* dari fraksi pati. Penelitian menunjukkan, berdasarkan nilai rerata ukuran granula, pengaruh signifikan dari fraksi diperoleh pada kandungan fosfor dan kristalinitas relatif pati. Perbedaan ukuran fraksi granula tidak cukup memberi pengaruh yang signifikan terhadap karakter gelatinisasi, sedangkan pada pembentukan pasta, pengaruh ukuran fraksi didapatkan pada puncak viskositas dan viskositas akhir. Didapatkan bahwa kadar fosfor meningkat dan kristalinitas relatif menurun dengan ukuran fraksi granula pati yang semakin besar. Hal ini menjadikan fraksi besar pati uwi ungu memiliki keunggulan profil pasta dari fraksi lainnya terhadap pengadukan, pemanasan dan pendinginan sebagai pengental dalam pengolahan pangan. [*Penel Gizi Makan* 2013, 36(2): 91-102]

Kata kunci: *dioscorea alata, pati, fraksinasi ukuran, distribusi ukuran, viskoelastisitas*

PENDAHULUAN

Sifat fisikokimia pati sangat penting pada aplikasi pati dalam pengolahan pangan, karena mempengaruhi produk akhir olahan. Karakter fisikokimia pati sangat dipengaruhi oleh ukuran granula pati. Ukuran tersebut berpengaruh terhadap komposisi bahan yang dikandungnya dan berdampak pada sifat fungsionalnya.^{1,2} Di antara sifat fisikokimia pati yang dipengaruhi oleh ukuran granulanya adalah kristalinitas pati, komposisi amilosa, amilopektin, lemak, dan fosfor. Semua sifat ini mempengaruhi pembentukan pasta.³⁻⁶

Pengamatan tentang pengaruh ukuran granula terhadap karakter fisikokimia dan fungsionalnya telah dilakukan pada pati kentang dan pati *barley*. Kandungan mineral pati kentang semakin tinggi dengan semakin kecilnya ukuran granula. Noda *et.al.* melaporkan bahwa kadar fosfor dalam pati kentang meningkat dengan semakin kecilnya ukuran granula.⁴ Pati *barley* mengandung lemak tinggi pada granula yang berukuran kecil.³ Pati *barley* dengan granula besar memiliki karakter kristalinitas yang tinggi dibandingkan dengan granula yang kecil.³

Pada karakter pembentukan pasta, suhu puncak viskositas semakin tinggi seiring dengan semakin kecilnya ukuran granula pati kentang. Hal ini berarti untuk pengembangan granula secara maksimal, pati kentang dengan ukuran granula yang lebih kecil membutuhkan pemanasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan granula yang berukuran lebih besar.⁴ Pada pati *barley*, puncak dan *breakdown* viskositas akan semakin rendah dengan semakin kecilnya ukuran granula pati.^{3,6}

Beberapa peneliti melaporkan bahwa granula pati kelompok umbi-umbian umumnya memiliki kisaran ukuran 1-100 μm ⁷⁻⁹ dengan bentuk yang beragam seperti bulat, oval, elip dan poligonal dengan ketebalan yang tidak rata.¹⁰⁻¹⁵ Granula pati uwi memiliki sebaran ukuran antara 6-100 μm .^{11,12,15} Untuk kisaran ukuran yang cukup besar ini, belum diketahui pengaruh ukuran granula terhadap karakter fisik dan kimia pati uwi, serta hubungannya dengan sifat fungsional pati. Berdasarkan temuan tersebut, maka pada pengamatan ini akan dipelajari karakteristik fisikokimia dan fungsional fraksi granula dari pati dari uwi ungu (*Dioscorea alata*). Informasi ini akan memberi nilai tambah potensi pemanfaatan pati uwi pada produk pangan.

METODE

Penelitian ini dilakukan mulai bulan September 2011 sampai dengan bulan Desember 2012 di laboratorium SEAFast Center, Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan IPB, Badan Litbang Kehutanan, Pengembangan Teknologi Industri Agro dan Biomedika (LAPTIAB) PUSPITEK, dan Laboratorium Hokaido Agriculture Research Center, Memuro, Jepang.

Umbi uwi ungu yang digunakan dari pembudidayaan di Kulon Progo, DIY dengan nama daerah 'rondo seluku'. Bentuk umbinya memanjang dan warna daging umbi ungu-gelap (*Dark purple yam* = DPY). Pati diekstrak dengan metode yang dikembangkan oleh Riley *et al* dengan modifikasi.¹²

Fraksinasi ukuran granula pati dilakukan dengan menggunakan *Retsch Siever Machine* AS 200 dengan amplitudo 80 satuan, lama setiap kali pengayakan 10 menit dengan jumlah sampel 50 gram dan pengulangan pengayakan tiga kali pada masing-masing ukuran mesh. Seri Retsch siever yang digunakan berukuran 325 mesh untuk ukuran granula 45 μm (fraksi besar), 400 mesh untuk ukuran granula 38 μm (fraksi sedang), dan 500 mesh untuk ukuran granula 25 μm (fraksi kecil). Distribusi ukuran granula pati ditentukan dengan *Sympatec Helos* (H1169) and *Rodos Particle Size Analyzer*.

Untuk mendapatkan karakteristik kimia pati, dilakukan analisis proksimat yang meliputi air, lemak, protein, dan abu.¹⁶ Analisis kadar amilosa menggunakan metode *Blue Value*, dan analisis total fosfor dilakukan menggunakan metode yang dikembangkan oleh Riley *et al* dengan modifikasi.¹²

Karakteristik fisik diperoleh dengan menganalisis tipe kristalit dan kristalinitas relative. Analisis dengan menggunakan sinar-x difraktometer XRD 7000 Maxima, Shimadzu. Tipe kristalit diamati dari pola difraksi pada grafik yang dihasilkan perangkat. Kristalinitas dinyatakan dalam persentasi area kristalit relatif (area antara garis pola kristalit dan garis pola amorfus) terhadap keseluruhan area di bawah garis pola kristalit dan di atas *base line* yang dihasilkan.

Karakteristik gelatinisasi pati diamati dengan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC 6100 sample reference dengan PC EXSTAR 6000 Seiko Instrument Inc.). Parameter yang diamati meliputi suhu awal

pembentukan gel (T_o), suhu puncak gelatinisasi (T_p), perbedaan suhu awal dan akhir gelatinisasi (ΔT) dan entalpi gelatinisasi (ΔH). Nilai T_o , T_p dan ΔT dinyatakan dalam derajat selsius, sedangkan ΔH dinyatakan dalam J/g.

Karakter fungsional pada pati diamati dengan menggunakan *Rapid Visco Analyzer* (RVA) Newport RVA dengan Thermo Haake K20. Parameter yang diamati adalah suhu pasta (T), viskositas puncak (PV), viskositas akhir (VA), *breakdown viscosity* (viskositas jatuh, BDV), *trough viscosity* (viskositas panas TV) dan *setback viscosity* (viskositas balik, SBV). Agar fraksi pati dapat dibandingkan, maka viskositas jatuh dinyatakan sebagai persentasi relatif terhadap viskositas panas (RBDV), dan viskositas balik dinyatakan sebagai persentasi relatif terhadap viskositas puncak (RSBV).

Karakter viskoelastisitas pasta diamati dengan *Dynamic Analyzer RDA II* Rhesource Series dengan *frequency sweep test*, dengan frekwensi *sweep test* (ω) dinyatakan dalam rad (s). Parameter yang diamati dalam viskoelastisitas pasta adalah nilai G' (*storage modulus*) dan G'' (*loss modulus*) yang dinyatakan dalam satuan Pa (Pascal).

Analisis ragam dilakukan untuk mengetahui pengaruh kultivar tanaman uwi terhadap sifat fisikokimia pati uwi pada tingkat kepercayaan 95 persen, dengan disain rancangan acak lengkap. Analisis korelasi *Pearson* dilakukan untuk melihat kekuatan hubungan antara parameter fisikokimia dan sifat fungsional pati pada tingkat kepercayaan 95 persen.

Output yang dihasilkan berupa nilai p (p -value) < 5 persen dan koefisien korelasi (r).

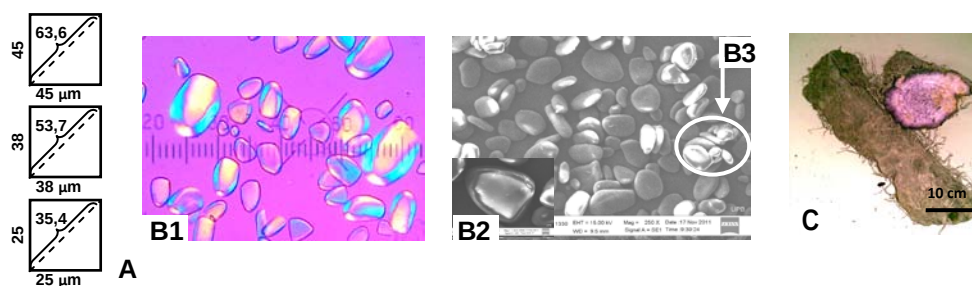
Analisis data dilakukan menggunakan perangkat (*software*) SPSS 20.00.

HASIL

Fraksinasi Pati

Cara sederhana fraksinasi ukuran granula pati uwi ungu gelap (DPY), dilakukan dengan pengayakan kering pati menggunakan *microsieve* 400 dan 500 mesh yang menghasilkan ukuran partikel ayakan berdiameter 38 μm dan 25 μm .¹⁷ Berdasarkan ukuran sisi diagonal dari lubang mesh yang dapat dilalui oleh granula, maka ukuran granula yang dapat lolos dari 500 mesh adalah yang berdiameter kurang dari 35,4 μm , dari 400 mesh adalah yang berdiameter kurang dari 53,7 μm , dari 325 mesh adalah yang berdiameter kurang dari 63,6 μm (Gambar 1A). Berdasarkan bentuk granula diketahui bahwa pati uwi memiliki granula berbentuk cakram yang sedikit tebal, lebar dan panjang (Gambar 1B & 1C).

Granula pati uwi secara alami juga beraglomerasi (Gambar 1C). Dari hasil pengamatan morfologi, diketahui bahwa pati memiliki granula dengan bentuk oval yang mendekati bulat (Gambar 1C). Berdasarkan ukuran lebar granula pati dan ukuran lubang yang dapat dilalui, maka fraksi ukuran granula yang dapat dipisahkan adalah fraksi kecil di bawah 500 mesh dengan ukuran granula kurang dari 35 μm , fraksi sedang di antara 500 dan 400 mesh dengan ukuran granula lebih besar dari 35 μm dan lebih kecil dari 53 μm , serta fraksi besar di atas 400 mesh dengan ukuran granula lebih besar dari 53 μm . Pada hasil pengamatan morfologi granula pati, didapatkan bahwa pati uwi ungu gelap (DPY) memiliki granula dengan bentuk oval yang mendekati bulat (Gambar 1B & 1C).



Gambar 1

(A) perhitungan sisi diagonal 325, 400 dan 500 mesh, B1 Bentuk granula dengan perbesaran 400x Light Polarized Microscope & (B2) 1500x Scanning Electron Microscope (SEM); (B3) Agregasi granula pati pada berbesaran 100x dengan SEM; C. Umbi yang digunakan

Distribusi Ukuran Fraksi

Cara sederhana fraksinasi ukuran granula pati uwi dilakukan dengan pengayakan kering pati menggunakan *microsiever* 400 dan 500 mesh yang menghasilkan ukuran partikel ayakan masing-masing 38 μm dan 25 μm .¹⁷ Berdasarkan sebaran ukuran granula, pada semua fraksi pati uwi diperoleh distribusi unimoda yang tidak simetris, dengan proporsi yang tinggi pada ukuran pati yang lebih besar. Hasil fraksinasi ukuran ini memperlihatkan pemisahan yang tidak sempurna ditandai dengan adanya tumpang tindih dari kurva yang cukup tinggi, terlihat pada Gambar 2.

Karakter Kimia Pati

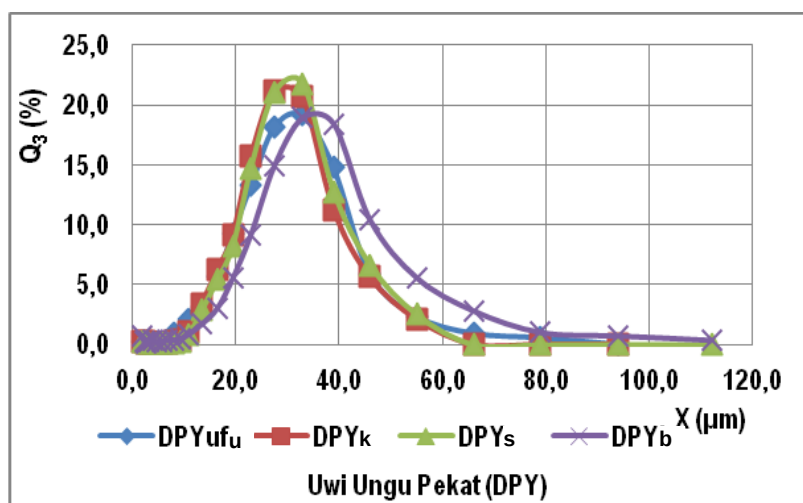
Hasil analisis komposisi kimia pati (Tabel 1) menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan kadar air antar fraksi ukuran pada masing-masing kultivar. Kadar air merupakan hal penting dalam penentuan karakter fisikokimia pati lainnya. Pada basis kering, sifat fisik maupun komposisi kimia memiliki nilai yang stabil dan dapat menunjukkan jumlah sebenarnya.¹⁸

Karakter Gelatinisasi Pati

Tidak terdapat variasi karakter gelatinisasi fraksi pati terutama pada nilai T_0 (suhu awal) dan pada T_p (suhu gelatinisasi) kecuali pada fraksi besar. Kebutuhan energi untuk gelatinisasi pati atau nilai entalpi (ΔH) paling rendah terukur pada fraksi ukuran besar, dan sedang. Suhu awal gelatinisasi meningkat seiring dengan ukuran granula yang bertambah besar. Demikian juga dengan suhu gelatinisasi.

Tipe Kristal dan Kristalinitas Relatif

Berdasarkan kristalinitas pati, diketahui bahwa seluruh fraksi memiliki pola difraksi sinar-X tipe-B, yang ditunjukkan dengan adanya puncak intensitas refraksi yang tajam pada $16,94^\circ$ - $17,22^\circ$ yang tidak dimiliki oleh tipe kristalit tipe-A. Dari kristalinitas relatif pati, terdapat perbedaan yang cukup signifikan antar fraksi, yaitu kristalinitas yang semakin rendah pada fraksi ukuran granula yang semakin besar (Gambar 4). Hal ini menunjukkan bahwa kepadatan dan keteraturan struktur kristal yang didominasi amilopektin semakin tinggi pada granula berukuran kecil, dan semakin rendah pada granula berukuran besar.

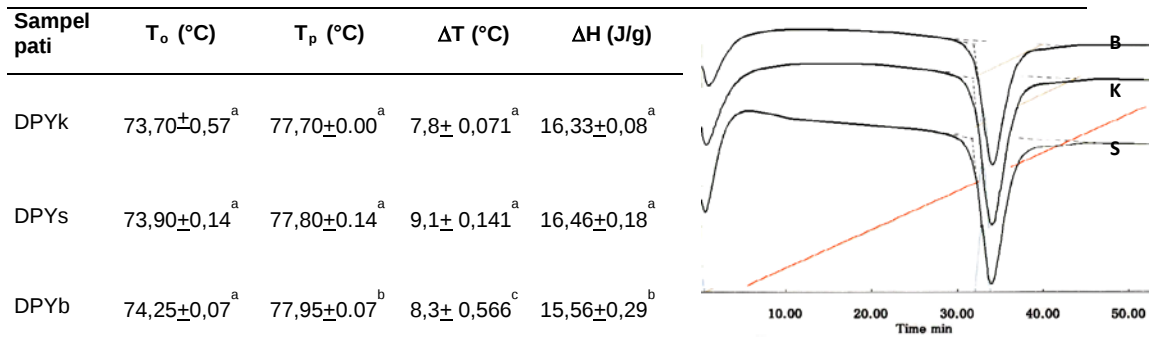


Gambar 2
Distribusi Ukuran Fraksi Granula Pati dari Uwi Ungu Gelap (DPY)
u=utuh, k=kecil, s=sedang, b=besar.

Tabel 1
Komposisi Kimia, Ukuran dan Kisaran Ukuran Fraksi Granula Pati Uwi

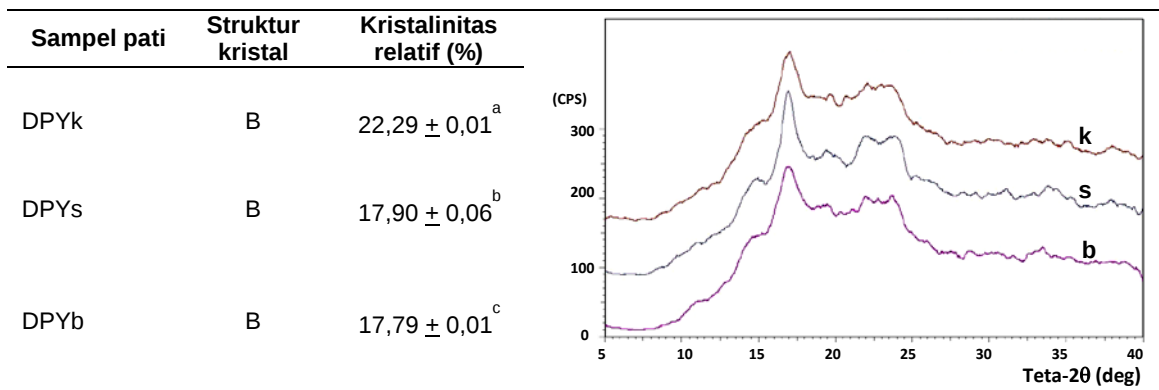
Sampel pati	Kadar air (%)	Kadar lemak % (BK pt)	Kadar protein ppm (BK pt)	Kadar Am % (BK pt)	Kadar P ppm (BK pt)	Sebaran ukuran (μm)	Rata-rata ukuran (μm)
DPYu	11,48 ± 0,03 ^a	0,17 ± 0,012 ^{ab}	232,15 ± 4,14 ^a	26,99 ± 0,85 ^a	354,04 ± 1,59 ^a	11 – 100	32,75 ± 0,44 ^a
DPYk	11,68 ± 0,03 ^a	0,15 ± 0,024 ^a	213,71 ± 11,13 ^b	27,16 ± 0,46 ^a	282,17 ± 2,22 ^b	11 – 55	27,93 ± 0,02 ^b
DPYs	11,46 ± 0,03 ^a	0,18 ± 0,035 ^{bc}	215,22 ± 8,15 ^b	27,26 ± 0,11 ^a	351,46 ± 2,20 ^a	11 – 94	28,82 ± 0,03 ^c
DPYb	11,48 ± 0,03 ^a	0,20 ± 0,010 ^c	250,15 ± 3,36 ^c	28,03 ± 0,33 ^b	439,14 ± 2,58 ^c	13 – 100	34,80 ± 0,01 ^d

Nilai dengan abjad yang sama dalam satu kolom menunjukkan tidak ada perbedaan secara signifikan ($p < 0,05$)
BK=berat kering, pt=pati, Am=amilosa, P=fosfor, u=utuh, k=kecil, s=sedang, b=besar



Nilai dengan huruf yang sama dalam satu kolom menunjukkan tidak ada perbedaan secara signifikan ($p < 0,05$),
T_o=suhu awal, T_p=suhu puncak gelatinisasi, ΔH=entalpi

Gambar 3
Gelatinisasi Pati Uwi



Nilai dengan abjad yang sama dalam satu kolom menunjukkan tidak ada perbedaan secara signifikan ($p < 0,05$)
k=kecil, s=sedang, b=besar

Gambar 4
Difraksi Sinar-X Pati Uwi

Karakter Pembentukan Pasta

Pada pembentukan pasta diketahui bahwa pola perilaku viskositas hampir sama pada semua fraksi pada masing-masing kultivar uwi yang bertipe-B, yaitu memiliki puncak viskositas yang diikuti dengan penurunan viskositas yang tidak terlalu besar

selama pemanasan. Pola viskositas pasta dengan tipe-B ini memiliki kestabilan pasta yang lebih baik dari tipe-A, yaitu terjadinya penurunan viskositas pasta yang sangat tajam selama pemanasan,¹⁹ sehingga memiliki potensi sebagai pengental pada pengolahan pangan suhu tinggi.

Viskositas puncak dicapai bila terjadi kesetimbangan jumlah granula pati yang mengembang dan yang rusak. Pengamatan menunjukkan bahwa viskositas pasta uwi semakin tinggi pada granula berukuran kecil. Keadaan ini berlawanan dengan fenomena yang terjadi pada fraksi ukuran granula pati kentang.⁴ Pada pengukuran viskositas pasta panas, semua fraksi memiliki nilai yang sama. Nilai RBDV dan RSBV semakin kecil dengan semakin besar ukuran fraksi. Hasil pengukuran suhu pembentukan pasta, menunjukkan suhu yang lebih tinggi pada fraksi kecil dibandingkan fraksi besar, perbedaannya tidak bermakna.

Viskoelastisitas Pasta

Karakter viskoelastisitas pati dapat diketahui dari pengamatan proses perubahan bentuk sol-gel pasta dengan menggunakan *dynamic rheological test*. Menurut Rao *et al*, *dynamic rheological test* merupakan cara yang mempergunakan perlakuan gesekan kecil pada frekuensi yang disebut sebagai *frequency sweep* (ω), serta mengukur respon

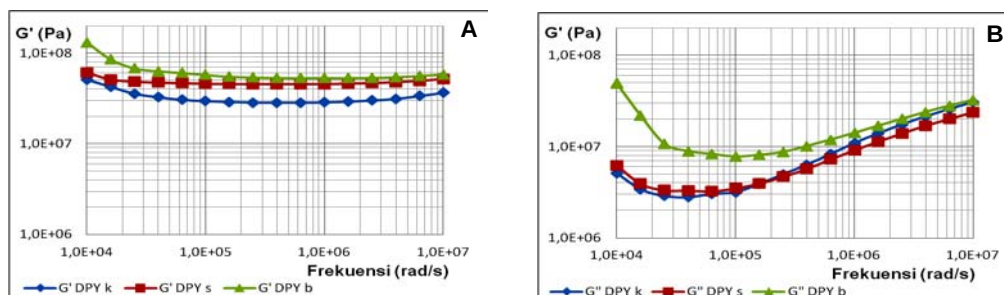
bahan terhadap frekuensi gesekan tanpa merusak bahan. Pada *dynamic rheological test* terdapat tiga parameter reologi, yaitu *storage modulus*, G' (komponen yang menyatakan elastisitas bahan), yang merefleksikan energi yang disimpan dalam satu siklus dan *loss modulus*; G'' (komponen yang menyatakan viskositas bahan) yang merefleksikan pengeluaran energi kekentalan selama siklus tersebut.

Berdasarkan analisis viskoelastisitas pasta dingin (25°C) fraksi pada kisaran frekuensi *sweep* 10^4 - 10^7 rad/s, diperoleh pola nilai G' (*storage modulus*) yang relatif stabil, (Gambar 5A) dan pola nilai G'' (*loss modulus*) mengalami peningkatan dengan meningkatnya frekuensi (Gambar 5B). Fraksi besar memiliki pola nilai G' yang relatif lebih tinggi dari fraksi lainnya. Pada pengukuran G'' memperlihatkan pola nilai yang relatif sama untuk semua fraksi kecuali pada fraksi besar pati, memiliki pola nilai G'' lebih tinggi. Tidak diperoleh perpotongan grafik G' dan G'' pada semua fraksi DPY hingga frekuensi *sweep* mencapai 10^7 rad/s.

Tabel 3
Karakter Pembentukan Pasta Fraksi Pati dari Uwi

Sampel Pati	Puncak V. (RVU)	V. Panas (RVU)	V. Jatuh (RVU)	RBDV (%)	V. Balik (RVU)	RSBV (%)	V. Akhir (RVU)	T pasta (°C)
DPYk	593,17±0,33 ^a	484,83±2,12 ^a	108,75±4,00 ^a	18,33	226,88±5,01 ^a	32,44	699,34±4,00 ^a	82,33±0,04 ^a
DPYs	572,75±0,33 ^b	479,92±0,59 ^a	101,50±1,88 ^a	17,72	216,84±2,24 ^b	31,28	693,29±0,00 ^b	81,93±0,57 ^a
DPYb	571,42±0,33 ^b	474,79±4,65 ^a	93,54±3,83 ^b	16,37	205,42±6,36 ^c	29,68	692,04±1,25 ^b	81,93±0,57 ^a

Nilai dengan huruf yang sama dalam satu kolom menunjukkan tidak ada perbedaan secara signifikan ($p < 0,05$). V=viskositas, RVU=Rapid Viscosity Unit, Thinn=thinning, Thick=thickening. T=suhu



Gambar 5
(A) Memperlihatkan Profil Storage Modulus (G') dan (B) Memperlihatkan Profil Loss Modulus (G'') Pasta Pati Uwi terhadap Frekuensi Sweep dari Fraksi

BAHASAN

Fraksinasi ukuran granula pati sangat bergantung pada ukuran dan bentuk lubang mesh (Gambar 1A), serta bentuk dan agregasi granula.²⁰ Ukuran mesh harus memiliki lubang berukuran mikro dalam kisaran di bawah 100 μm agar dapat memisahkan granula pati yang memiliki kisaran ukuran 6-100 μm .^{11,12,15} Agregasi granula pati merupakan kumpulan granula berukuran kecil yang menempel satu sama lainnya membentuk kelompok (*cluster*) berukuran besar. Agregasi granula pati dapat mempengaruhi fraksinasi ukuran, dimana masih dapat ditemukannya banyak granula ukuran kecil pada hasil pemisahan pati berukuran besar.²¹ Agregasi granula pati ini umum dijumpai pada pati alami termasuk pada pati uwi (Gambar 1C).

Sebagaimana yang didapatkan oleh Peng dan Lindeboom *et al.*, fraksinasi ukuran granula pati dapat dilakukan dengan menggunakan pengayakan mikro namun tidak dapat memisahkan ukuran pati secara sempurna.^{20,21} Hasil fraksinasi menunjukkan bahwa pemisahan menggunakan metode pengayak kering *Retsch Siever* dengan ukuran 400 dan 500 mesh tidak dapat memberikan hasil pemisahan ukuran granula pati uwi yang sempurna. Hal ini disebabkan oleh bentuk granula pati uwi berupa oval, elips dan polygonal (Gambar 1B dan 1C) dan terdapatnya agregasi granula pati (Gambar 1C). Selain itu, bentuk lubang mesh berupa bujursangkar dengan sisi diagonal yang lebih panjang memungkinkan granula lebih besar berbentuk elip atau oval dapat melalui lubang mesh yang memiliki lebar yang sama dengan sisi diagonal. Bentuk granula dari pati sangat mempengaruhi ukuran fraksi yang dapat lolos pada masing-masing mesh yang digunakan pada pengayak mikro.^{20,21}

Kadar lemak fraksi pati sangat bervariasi dan menunjukkan adanya kecenderungan menurun pada fraksi berukuran lebih kecil. Keberadaan lemak dalam pati berpengaruh pada gelatinisasi pasta dengan meningkatkan entalpi disosiasi dan suhu gelatinisasi.^{22,23} Sementara pada pembentukan pasta, keberadaan lemak dapat meningkatkan suhu pasta dan menurunkan viskositas puncak.²⁴ Lemak pati alami membentuk kompleks yang stabil dengan rantai panjang pati, baik dengan amilosa maupun rantai cabang amilopektin.²⁵

Kadar protein fraksi pati juga bervariasi.

Keberadaan protein dalam pati juga dapat meningkatkan suhu pasta dan menurunkan viskositas puncak.²⁶ Protein merupakan komponen minor yang berada pada bagian dinding sel granula, sedangkan lemak merupakan komponen internal pati.²⁷ Mekanisme lemak dalam menurunkan viskositas pasta adalah dengan mempertahankan kristalinitas pati. Mekanisme protein adalah dengan menekan hidrasi pati.^{28,29}

Kadar fosfor pati cukup kecil dan sangat bervariasi tergantung ukuran pati, dengan kecenderungan meningkat dengan membesarnya ukuran pati. Fraksi granula utuh memiliki kadar fosfor yang relatif sama dengan fraksi sedang. Walaupun cukup kecil, namun menurut Hizukuri *et al.* fosfat monoester dapat meningkatkan repulsi elektrostatis antara molekul dan berakibat pada perubahan karakter gelatinisasi yang dapat meningkatkan kecerahan dan viskositas pasta.²⁷ Keberadaan fosfor yang tinggi pada pati alami sangat diperlukan terutama dalam pembentukan pasta yang jernih dan gel yang kuat dan stabil sebagai pengental, pengikat maupun sebagai penstabil.

Sebagai komponen utama pati, kadar amilosa fraksi pati kurang bervariasi. Namun didapatkan bahwa kadar amilosa fraksi pati utuh tidak berbeda nyata di kecil. Dalam hal ini menunjukkan bahwa keberadaan amilosa tidak berpengaruh terhadap ukuran fraksi granula pati. Hal ini bersesuaian dengan yang dilaporkan oleh peneliti sebelumnya terhadap pati kentang.⁴

Pada gelatinisasi pati, nilai entalpi merupakan nilai yang mengindikasikan kebutuhan energi dari pati selama gelatinisasi yang merefleksikan hilangnya keteraturan molekuler.^{30,31} Sementara suhu awal gelatinisasi (T_o) merupakan suhu yang dibutuhkan untuk memulai gelatinisasi yang menggambarkan adanya proses hidrasi pati yang bermula pada daerah amorphous, dan suhu gelatinisasi (T_p) merupakan suhu yang dibutuhkan untuk meluruhkan kristal pati.^{30,31} Dalam hal ini T_o menggambarkan karakter daerah amorphous dan T_p menggambarkan karakter daerah kristalin pati.

Berdasarkan data yang diperoleh, diketahui bahwa nilai suhu awal gelatinisasi yang relatif sama pada semua fraksi menunjukkan karakter daerah amorphous yang juga relatif sama pada semua fraksi. Daerah amorphous sendiri dibangun terutama oleh komponen amilosa.³² Dengan demikian, walaupun masih didapat perbedaan yang relatif kecil pada kadar

amilosa fraksi, namun perbedaan tersebut tidak cukup besar untuk memberikan perbedaan kebutuhan suhu awal gelatinisasi fraksi secara signifikan.

Suhu gelatinisasi yang tinggi pada fraksi granula besar pati menunjukkan kebutuhan suhu yang lebih tinggi untuk meluruhkan komponen kristal pati. Menurut Cai dan Wei kerusakan granula bermula pada bagian tepi yang jauh dari inti atau hilum,³³ sementara suhu gelatinisasi tercapai dengan terjadinya peluruhan komponen kristal dari pati.^{34,35} Berdasarkan ukuran granula pati uwi, maka dapat diasumsikan bahwa untuk meluruhkan seluruh lapisan kristal hingga ke bagian hilum granula yang lebih besar memerlukan suhu yang relatif lebih tinggi. Pembentukan gel pati berlangsung pada suhu yang cukup tinggi (di atas 77,70°C) dan mengindikasikan potensi pati untuk digunakan dalam pengolahan pangan suhu tinggi.

Nilai entalpi bervariasi secara bermakna antar fraksi. Fraksi sedang memiliki nilai entalpi relatif paling besar. Hal ini mengindikasikan bahwa fraksi sedang membutuhkan energi yang lebih besar untuk proses gelatinisasi pati. Variasi ukuran granula yang cukup tinggi dari fraksi sedang berakibat pada kebutuhan energi gelatinisasi yang lebih tinggi untuk meluruhkan berbagai ukuran granula tersebut pada proses gelatinisasi.³⁶ Kebutuhan energi yang lebih besar pada proses gelatinisasi ini menurunkan efisiensi penggunaan energi yang tidak diharapkan dalam pengolahan pangan.

Entalpi yang rendah pada fraksi besar pati DPY dapat disebabkan oleh kadar fosfor yang paling tinggi dalam pati tersebut. Nilai entalpi gelatinisasi menurun dengan peningkatan kadar fosforilasi pada posisi C-6 rantai cabang amilopektin.¹⁰ Muatan fosfat mono- ester akan meningkatkan repulsi elektrostatis antar molekul dan mengakibatkan perubahan karakter gelatinisasi dan pembentukan pasta dari pati.²⁷

Berdasarkan temuan oleh Cai *et al*, diasumsikan bahwa komposisi fosfor pada pati uwi lebih terkonsentrasi pada bagian tepi granula yang jauh dari hilum.^{27,33} Berdasarkan struktur kristal dan nilai kristalinitas relatif pati uwi berukuran besar, maka dapat diasumsikan bahwa semakin besar ukuran granula semakin banyak didapatkan amilopektin dengan rantai cabang yang panjang yang kurang beraturan sehingga mengurangi kristalinitas pati pada

bagian tepi granula. Hal ini kemungkinan diikuti dengan semakin besarnya pengikatan fosfor pada bagian tepi granula.^{10,27,33}

Fraksi pati yang berukuran kecil memiliki keteraturan struktur amilopektin yang cukup tinggi sehingga memiliki struktur kristal yang padat dan kristalinitas yang relatif tinggi, sedangkan fraksi pati dengan ukuran besar, memiliki struktur amilopektin dengan rantai yang lebih panjang, namun kurang beraturan sehingga struktur kristal menjadi renggang dan kurang padat sehingga kristalinitas relatif rendah.^{13,37}

Viskositas puncak yang tinggi pada fraksi kecil terjadi karena kadar protein dan lemak lebih rendah pada fraksi ukuran kecil dari fraksi lainnya. Viskositas pasta panas yang tinggi adalah indikasi kestabilan granula terhadap kerusakan pada suhu tinggi. Komponen pasta dalam keadaan ini terdiri dari granula yang membengkak maksimal dalam keadaan utuh atau fragmen dan dispersi koloid molekul-molekul terlarut. Kandungan protein yang relatif lebih tinggi pada fraksi besar berkontribusi terhadap integritas granula.³⁸ Selain itu, kadar fosfor yang semakin tinggi dengan semakin besarnya ukuran fraksi yang juga berkontribusi pada integritas granula.⁴

Nilai RBDV, mengindikasikan kekuatan gel atau kerentanan granula terhadap pemanasan.^{38,39} Semakin rendah nilai RBDV maka kekuatan gel semakin stabil atau ketahanan granula terhadap pemanasan dan pengadukan semakin tinggi. Granula berukuran besar memiliki resistensi yang tinggi terhadap pemanasan. Hal ini disebabkan tingginya kadar fosfor yang terdapat pada fraksi besar berkontribusi pada kekuatan gel dan integritas granula.⁴ Kebalikannya, RSBV mengindikasikan pembentukan gel oleh reasosiasi komponen pati saat pendinginan dan kecenderungan retrogradasi.^{38,39} Semakin kecil nilai RSBV maka semakin rendah kecenderungan retrogradasi yang terjadi, sehingga dapat mempertahankan tekstur pasta selama penyimpanan.³⁸

Pada pati uwi, fraksi besar memiliki nilai RSBV yang paling rendah. Pelepasan amilosa dari granula dapat dipertahankan oleh integritas granula akibat keberadaan protein dan fosfor, serta kompleks amilosa lemak pada pati,^{38,39} sehingga jumlah amilosa yang mengalami reasosiasi semakin rendah yang berakibat pada rendahnya RSBV. Pati yang memiliki kapasitas gel yang dapat mempertahankan tekstur pasta selama penyimpanan

merupakan karakter yang diharapkan dalam pengolahan pangan.

Perbedaan suhu yang lebih tinggi pada fraksi kecil dapat disebabkan oleh kristalinitas yang lebih tinggi pada fraksi kecil, sehingga dalam pembentukan pasta dibutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk meluruhkan daerah kristal dari fraksi kecil.^{38,39} Dari fenomena pembentukan pasta, struktur gel terbentuk pada suhu yang cukup tinggi ($>81,93^{\circ}\text{C}$). Karakter gel dengan viskositas yang tinggi, ketahanan pemanasan dan pengadukan serta kestabilan terhadap retrogradasi, merupakan potensi menguntungkan untuk pengolahan pangan. Karakter ini terdapat pada fraksi ukuran besar pati uwi.

Profil gel dengan nilai G' yang tinggi menunjukkan kekuatan pasta dingin terhadap gesekan yang cukup tinggi dari fraksi granula besar. Pasta dingin ini terbentuk oleh reasosiasi berbagai komponen pati yang terdiri dari granula yang membengkak dalam bentuk utuh atau fragmen dan dispersi koloid dari molekul-molekul terlarut seperti protein, lemak dan terutama amilosa.^{40,41} Reasosiasi komponen tersebut membentuk agregat yang kuat yang memiliki kestabilan tinggi terhadap gesekan. Tingginya nilai G' ini didominasi oleh karakter agregasi amilosa dan komponen pati lainnya.

Peningkatan nilai G'' karena frekuensi gesekan meningkat diasumsikan bahwa komponen pasta dingin terutama granula yang membengkak dalam bentuk utuh atau fragmen mengalami kerusakan dan lisis lebih lanjut akibat gesekan. Kerusakan ini meningkat dengan meningkatnya frekuensi gesekan.^{41,42} Seiring pecahnya granula, terjadi pelepasan energi sebesar G'' dari pasta karena gesekan. Komposisi granula pada keadaan ini didominasi oleh bagian kristal yang terdiri dari amilopektin. Granula pecah dapat mengubah profil pasta karena lisis air yang terperangkap di antara rantai amilopektin dalam granula, membengkak.

Pada frekuensi gesekan yang lebih rendah dari frekuensi transisi, nilai G' lebih mendominasi, sehingga pasta pati bersifat elastis. Pada frekuensi gesekan yang lebih tinggi dari frekuensi transisi, pasta bersifat viskos karena nilai G'' lebih tinggi dari nilai G' . Frekuensi transisi tercapai bila perpotongan antara grafik G' dan G'' terjadi.

Pada pengukuran G' dan G'' , perpotongan tidak diperoleh sampai frekuensi gesekan 10^7 rad/s. Hal ini menunjukkan kekuatan gel dari pasta dingin

pati yang stabil. Kapasitas pengental yang tinggi dan jernih, kestabilan pemanasan, pendinginan dan pengadukan pasta yang baik serta kestabilan struktur gel selama penyimpanan, merupakan karakter pati alami dengan potensi sangat baik untuk diaplikasikan sebagai pengental pada pengolahan pangan yang menggunakan suhu tinggi dan juga pada produk pangan dingin.

KESIMPULAN

Granula pati uwi dapat difraksinasi dengan pengayakan kering Retsch Siever dengan pengayak 400 dan 500 mesh walaupun fraksi tidak terpisah dengan sempurna. Agar fraksi dapat dipisahkan dalam keadaan kering dengan lebih baik perlu ukuran mesh yang lebih halus. Fraksinasi kering Retsch Siever menghasilkan nilai rata-rata ukuran fraksi yang berbeda secara signifikan untuk ukuran fraksi kecil, sedang dan besar.

Ukuran granula berpengaruh secara nyata terhadap kandungan fosfor dan kristalinitas relatif pati. Kandungan fosfor dan kristalinitas yang berbeda antar fraksi tidak berpengaruh terhadap karakter gelatinisasi. Fraksi ukuran granula menyebabkan perbedaan yang bermakna terhadap puncak viskositas dan viskositas akhir profil pembentukan pasta. Pengaruh yang bermakna dari fraksi ukuran granula juga terdapat pada karakter visko elastisitas pasta dingin pati dengan nilai *storage modulus* (G') yang tinggi pada fraksi besar.

Pemisahan fraksi dengan pengayakan kering Retsch Siever 400 dan 500 mesh tidak sempurna, namun masih memperlihatkan pengaruh fraksi ukuran pati terhadap karakter fisikokimia dan fungsionalnya. Fraksi besar berpengaruh terhadap peningkatan kandungan fosfor dan penurunan kristalinitas relatif. Hal ini menjadikan fraksi ukuran besar pati uwi memiliki keunggulan profil pasta dibandingkan fraksi lainnya karena memiliki karakter gel yang kuat dan stabil terhadap pengadukan, pemanasan dan pendinginan. Pati dengan karakter ini baik untuk diaplikasikan sebagai pengental pada pengolahan pangan yang menggunakan suhu tinggi dan pada produk pangan dingin.

SARAN

Agar hasil pengamatan terhadap pengaruh ukuran granula pada karakter fisikokimia dan fungsional pati maksimal, perlu dilakukan fraksinasi yang lebih baik. Hal ini dapat dilakukan dengan penggunaan

pengayak yang lebih halus yaitu 635 mesh. Selain itu, metode pengayakan basah juga dapat diterapkan untuk mengurangi pengaruh agregasi pati alami.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada Ditjen Pendidikan Tinggi (DIKTI) atas beasiswa BPPS dan program Sandwich yang diberikan untuk penyelesaian penelitian ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Dr. Takahiro Noda atas kesempatan dan fasilitas laboratorium di Hokkaido Agriculture Research Center, Memuro, Jepang. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada SEAFST Center atas fasilitas laboratorium yang diberikan.

RUJUKAN

- Verneylen R, Goderis B, Reynaers H, Delcour JA. Gelatinization related structural aspects of small and large wheat starch granules. *Carbohydrate Polymer*. 2005;62:170–181.
- Jane JL. Structure of starch granule. *Journal of applied Glycoscience*. 2007;54:31–36.
- Vasanthan T, Bhatti RS. Physicochemical properties of small- and large granule starches of waxy, regular and high-amylose barleys. *Cereal Chemistry*. 1996;73:199-207.
- Noda T, Shigenobu T, Matsuura-Endo C, Sun-Ju K, Naoto H, Hiroaki Y, Isao H, Yasuhito T. Physicochemical properties and amylopectin structures of large, small, and extremely small potato starch granules. *Carbohydrate Polymers*. 2005;60:245-251
- Ao Z, Jane J-L. Characterization and modeling of the A-and B-granule starches of wheat, triticale, and barley. *Carbohydrate Polymer*. 2007;67:46–55.
- Kim H-S, Huber KC. Physicochemical properties and amylopectin fine structures of A- and B-type granules of waxy and normal soft wheat starch. *Journal of Cereal Science*. 2010;51: 256–264.
- Hoover R. Acid treated starches. *Food Research International*. 2000;16:369–392.
- Moorthy SN. Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches. *Starch/Starke*. 2002;54:559-592.
- Kaur L, Jaspreet S, Owen J, McCarthy, Harmit S. Physicochemical, rheological and structural properties of fractionated potato starches. *Journal of Food Engineering*. 2007;82:383–394
- Blennow A, Hansen M, Shculz A, Jorgensen K, Donald AM, Sanderson. The molecular deposition of transgenically modified starch in the starch granule as imaged by functional microscopy. *Journal Structural Biology*. 2003;143:229-41.
- Peroni FHG, Rocha TS, Franco CML. Some Structural and Physicochemical Characteristics of Tuber and Root Starches. *Food Sci Tech Int*. 2006; 12:505–513
- Riley CK, Wheatley AO, Asemota HN. Isolation and characterization of starches from eight *Dioscorea alata* cultivars grown in Jamaica. *African Journal of Biotechnology*. 2006;17: 1528-1536
- Jayakody L, Hoover R, Liu Q, Donner E. Studies on tuber starches. II. Molecular structure, composition and physicochemical properties of yam (*Dioscorea sp*) starches grown in Sri Lanka. *Carbohydrate Polymers*. 2007; 69:148-163.
- Baah FD. Characterization of water yam (*Dioscorea alata*) for existing and potential food products. *Thesis*. Nigeria: Faculty of Biosciences, College of Sciences, 2009.
- Yeh AI, Tzu-Yin C, George C-CC. Effect of water content and mucilage on physicochemical characteristic of yam (*Dioscorea alata*) starch. *Journal of Food Engineering*. 2009;95:106-114
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC), *Official methods of analysis for nutritional labeling*, Virginia: AOAC international, 1993.
- Screen Technology Group Inc. Standard Sieve Series Specifications. [cited 2012 Juni 29]. Available from: <http://www.wovenwire.com/reference/screen-sieve-pr.htm>.

18. Parish. *Feedstuff Comparisons – As Fed versus Dry Matter*, “Stocker Cents” article. Mississippi: Cattle Business, 2007.
19. Schoch TJ, Maywald EC. Preparation and properties of various legume starches. *Cereal Chem.* 45:564-573.
20. Lindeboom N, Peter RC, Robert TT. 2004. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starch. *Starch/ Stärke.* 2004; 56:89-99.
21. Peng M. *Biochemical and molecular characterization of A- and B- type starch granules in wheat (Triticum aestivum L.)*. Thesis. Canada: University of Saskatchewan, 2000.
22. Eliasson AC, Karlsson R. Gelatinization properties of different size classes of wheat starch granules measured with differential scanning calorimetry. *Starch/Stärke.* 1983;35: 130-133.
23. Paivi M. Starches – from granule to novel applications. *Dissertation*. Food Science and Cereal Technology. Finland: VTT Technical Research Center, University of Finland, 2002
24. Nelles EM, Dewar J, Bason ML, Taylor JRN. Maize starch biphasic pasting curves. *Journal of Cereal Science.* 2000;31:287-294.
25. Morrison WR. Starch lipids and how they relate to starch granule structure and functionality. *Cereal Food World.* 1995;40:437-446.
26. Singh N, Singh J, Kaur L, Sodhi NS, Gill BS. Review morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemiatry.* 2003;81:219-231.
27. Hizukuri S. Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins, and its significance. *Carbohydrate Research.* 1986;147:342-347.
28. Ortega-Ojeda FE. Interaction between amylose, native potato, hydrophobically modified starches. *Thesis*. Lund: Lund University, 2004.
29. Lim S-T, Lee J-H, Shin D-H, Lim HS. Comparison of protein extraction solutions for rice starch isolation and effects of residual protein content on starch pasting properties. *Starch/ Stärke.* 1999;51:120-125.
30. Tester RF, Morrison WR. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chemistry.* 1990;67: 551–557.
31. Cooke D and Gidley MJ, Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinisation: origin of the enthalpic transition. *Carbohydr Research.* 1992;227:103–112.
32. Hodge JE, Osman EM. Carbohydrate. Di dalam Fennema OR. *Food Chemistry*. Third Edition. New York.: Marcel Dekker, 1976.
33. Cai C, Wei C. In situ observation of crystallinity disruption patterns during starch gelatinization. *Carbohydrate Polymers.* 2013; 92:469-478,
34. Parker R, Ring SG. Mini review Aspects of the Physical Chemistry of Starch. *Journal of Cereal Science.* 2001;34:1–17.
35. Liu Q. *Food Carbohydrates: Chemistry, Physical Porperties and Applications*. New York: Taylor dan Francis, 2005.
36. Wirakartakusumah MA, Kinetics of Starch Gelatinization and Water Absorption in Rice. *Dissertation*, Madison: University of Wisconsin, 1981.
37. Huang J. Function - structure relationships of acetylated pea starches. *Thesis*. The Nederland: Wageningen University, 2006.
38. Copeland L, Blazek J, Salman H, Tang MC. Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids.* 2009;23:1527–1534, 2009.
39. Adebowale KO, Thomas H, Uwe S, Thomas D. Modification and properties of African yam bean (*Sphenostylis stenocarpa* Hochst. Ex A. Rich.) Harms starch I: Heat moisture treatments and annealing. *Food Hydrocolloids.* 2009;23:1947–1957.
40. Mitolo JJ. Starch selection and interaction in foods. In : Gaonkar AG & McPherson A, editors. *Ingredient interactions: effects on food quality*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2006.

41. Hoover R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate Polymers*. 2001;45:253-267
42. Cornell H. The functionality of wheat starch. Dalam: Eliasson CA, editor. *Food Starch*. England: CRC Press, 2004.