

**KESAN PENAMBAHAN KARAGINAN SEPARA
TULEN IOTA KE ATAS PENGELATINAN DAN
RETROGRADASI KANJI JAGUNG DAN
TEPUNG GANDUM**

TAN SZE KAI

PERPUSTAKAAN
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

**TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK
MEMENUHI SEBAHAGIAN DARIPADA
SYARAT MEMPEROLEHI IJAZAH SARJANA
MUDA SAINS MAKANAN DENGAN KEPUJIAN
DALAM BIDANG TEKNOLOGI MAKANAN DAN
BIOPROSES**

**SEKOLAH MAKANAN DAN PEMAKANAN
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH**

2012



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS

DUL: Kesan Penambahan Karaginan Separa Tulen Iota Ke Atas Pengelatinan
Dan Retrogradasi Kanji Jagung Dan Tepung Gandum

ZAH: Ijazah Sarjana Muda Sains Makanan Dan Pemakanan Dengan Kepujian

SESI PENGAJIAN: 2008/2009

ya TAN SZE KAI

(HURUF BESAR)

engaku membenarkan tesis (LPS/ Sarjana/ Doktor Falsafah) ini di simpan di Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah
 ngan syarat-syarat kegunaan seperti berikut:

1. Tesis adalah hakmilik Universiti Malaysia Sabah.
2. Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan tesis ini sebagai bahan pertukaran antara institusi pengajian tinggi.
4. ** Sila tandakan (/)

☐

SULIT

(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan
 atau kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di
 dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972)

☐

TERHAD

(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan
 oleh organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan)

☒

TIDAK TERHAD

Disahkan oleh

(TANDATANGAN PENULIS)

(TANDATANGAN PUSTAKAWAN)

alamat Tetap: 20, SOLOK 100

PANDAMARAN JAYA 42000

PEL KLANG SELANGOR D.E

DR. LEE JAU-SHYA

Nama Penyelia

ariikh: 16/8/12

Tarikh: 16/8/12

TATAN: * Potong yang tidak berkenaan.

* Jika tesis ini SULIT atau TERHAD, sila lampiran surat daripada pihak berkuasa/organsasi
 berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh tesis ini perlu dikelaskan sebagai SULIT
 dan TERHAD.

* Tesis dimaksudkan sebagai tesis bagi Ijazah Doktor Falsafah dan Sarjana secara penyelidikan, atau
 disertasi bagi pengajian secara kerja kursus dan penyelidikan, atau Laporan Projek Sarjana Muda (LPSM).

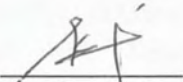


UMS
 UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

PENGAKUAN

Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan, ringkasan dan rujukan yang tiap-tiap satunya telah saya jelaskan sumbernya.

21 Mei 2012


Tan Sze Kai
(BN 08110119)

PENGESAHAN

NAMA : TAN SZE KAI
NO. KAD PELAJAR : BN08110119
TAJUK : KESAN PENAMBAHAN KARAGINAN SEPARA
TULEN IOTA KE ATAS PENGELATINAN DAN
RETROGRADASI KANJI JAGUNG DAN TEPUNG
GANDUM
IJAZAH : IJAZAH SARJANA MUDA SAINS MAKANAN DAN
PEMAKANAN
(TEKNOLOGI MAKANAN DAN BIOPROSES)
TARIKH VIVA : 21 JUN 2012

DIPERAKUI OLEH

PENYELIA

(Dr. Lee Jau-Shya)



PEMERIKSA PERTAMA

(Dr. Hasmadi Mamat)



PEMERIKSA KEDUA

(Dr. Siew Chee Kiong)



DEKAN

(Prof. Madya Dr. Sharifudin Md. Shaarani)



PENHARGAAN

Saya berasa syukur kerana mempunyai peluang ini untuk menjalankan projek tahun akhir. Projek ini pasti tidak dapat disempurnakan tanpa kerjasama daripada setiap pihak dan individu. Oleh itu, saya ingin mengambil kesempatan ini untuk menyampaikan setinggi-tinggi penghargaan saya kepada mereka yang telah membantu saya sepanjang penyelidikan ini.

Terlebih dahulu, saya ingin mengucapkan jutaan terima kasih kepada Dr. Lee Jau Shya selaku penyelia saya. Beliau tidak pernah jemu memberi tunjuk ajar kepada saya sepanjang projek ini dijalankan dan telah mengajar saya pelbagai pengetahuan yang tidak dapat dipelajari dalam kuliah.

Tidak lupa juga segala bantuan yang diberikan oleh pemeriksa 1 dan pemeriksa 2 dalam menyiapkan kajian ini. Penghargaan turut ditujukan kepada semua staff terutamanya pembantu makmal Sekolah Sains Makanan dan Pemakanan yang telah banyak memberi kerjasama bagi menyiapkan kajian ini.

Akhirnya, saya ingin mengambil kesempatan ini untuk mengucapkan ribuan terima kasih kepada ahli keluarga dan rakan-rakan saya yang telah memberikan sokongan moral dan bantuan dalam menjayakan penyelidikan ini.

Sekian, terima kasih.

Tan Sze Kai
21 Mei 2012



ABSTRAK

Objektif kajian ini adalah untuk mengkaji kesan penambahan karaginan separa tulen iota (0.1%, 0.5%, 1.0%, 1.5%) terhadap pengelatinan dan retrogradasi kanji jagung yang berlainan kandungan amilosa (Waxy, S4126, Hylon-7) dan tepung gandum yang berlainan kandungan protein (berprotein rendah, berprotein sederhana, berprotein tinggi). Sifat pengelatinan dan retrogradasi sampel dikaji menggunakan Kalorimetri Pengimbasan Perbezaan, *Rapid Visco Analyzer (RVA)*, ujian kestabilan pembeku-cairan dan ujian sineresis. Penambahan karaginan separa tulen iota tidak mempengaruhi suhu pengelatinan Waxy dan S4126 ($p > 0.05$), di samping entalpi pengelatinan sampel kanji jagung ($p > 0.05$). Penurunan mobiliti air dengan penambahan karaginan separa tulen iota meningkatkan suhu pengelatinan Hylon-7 ($p < 0.05$). Retrogradasi kanji jagung dan tepung gandum dihalang dengan penambahan 0.1% hingga 1.0% karaginan separa tulen iota tetapi digalakkan apabila 1.5% karaginan separa tulen iota ditambah. Suhu pempasan dan masa puncak kedua-dua Waxy dan Hylon-7 tidak diubah oleh penambahan karaginan separa tulen iota ($p > 0.05$). Sebaliknya, penambahan karaginan separa tulen iota menurunkan suhu pempasan dan meningkatkan masa puncak S4126 ($p < 0.05$). Peningkatan kepekatan hidrokoloid akibat penambahan karaginan separa tulen iota meningkatkan puncak kelikatan Waxy ($p < 0.05$), tetapi menurunkan puncak kelikatan S4126 dan Hylon-7 ($p < 0.05$) akibat perebutan air antara karaginan separa tulen iota dengan kanji. *Setback* Hylon-7 memperlihatkan penurunan ($p < 0.05$) manakala *setback* S4126 meningkat ($p < 0.05$) dengan penambahan karaginan separa tulen iota. Suhu puncak TPS didapati meningkat ($p < 0.05$), manakala entalpi pengelatinan TPR berkurangan ($p < 0.05$) dengan penambahan karaginan separa tulen iota. Peningkatan suhu puncak disebabkan struktur yang lebih stabil hasil interaksi kanji dan karaginan separa tulen iota; manakala karaginan separa tulen iota memegang lebih banyak molekul air justeru mengurangkan entalpi pengelatinan. Masa puncak, puncak kelikatan, kelikatan akhir dan *setback* sampel tepung gandum turut ditingkatkan dengan penambahan karaginan separa tulen iota ($p < 0.05$). Sementara itu, karaginan separa tulen iota didapati berjaya mengurangkan sineresis kedua-dua kanji jagung dan tepung gandum ($p < 0.05$) dalam ujian sineresis dan kestabilan pembeku-cairan. Secara keseluruhan, kandungan amilosa dalam kanji jagung mempengaruhi kesan penambahan karaginan separa tulen iota ke atas sifat pengelatinan dan retrogradasi kanji jagung. Sebaliknya, kesan penambahan karaginan separa tulen iota ke atas sifat pengelatinan dan retrogradasi tepung gandum kurang dipengaruhi oleh kandungan protein.



ABSTRACT

EFFECT OF IOTA-SEMI-REFINED CARRAGEENAN ON THE GELATINISATION AND RETROGRADATION OF CORN STARCH AND WHEAT FLOUR

The objectives of this study were to determine the effect of iota-semi-refined carrageenan (iota-SRC) with different concentration (0.1%, 0.5%, 1.0%, 1.5%) on the gelatinisation and retrogradation of corn starch with different amylose content (Waxy, S4126, Hylon-7) and wheat flour with different protein content (low protein, medium protein, high protein). Gelatinisation and retrogradation behavior of sample were analyzed using Differential Scanning Calorimetry (DSC), Rapid Visco Analyzer (RVA), freeze-thaw stability and syneresis tests. Addition of iota-SRC did not affect the gelatinisation temperature of Waxy and S4126 ($p>0.05$), besides the gelatinisation enthalpy of corn starch sample ($p>0.05$). Decreased water mobility due to addition of iota-SRC increased the gelatinisation temperature of Hylon-7 ($p<0.05$). Retrogradation of corn starch and wheat flour was prevented with the addition of 0.1% till 1.0% iota-SRC, but was promoted at 1.5% of iota-SRC. Pasting temperature and peak time of both Waxy and Hylon-7 did not alter by the addition of iota-SRC ($p>0.05$). In contrast, addition of iota-SRC decreased pasting temperature and increased peak time of S4126 ($p<0.05$). Increasing concentration of hydrocolloid due to addition of iota-SRC increased Waxy peak viscosity ($p<0.05$) but decreased peak viscosity of S4126 and Hylon-7 ($p<0.05$) caused by the competition for water between iota-SRC and starch. Setback of Hylon-7 decreased ($p<0.05$) but S4126 increased ($p<0.05$) with addition of iota-SRC. Peak temperature of medium protein flour increased ($p<0.05$) while gelatinisation enthalpy of low protein flour decreased ($p<0.05$) with the addition of iota-SRC. Increased in peak temperature was due to the interaction between starch and iota-SRC that produced more stable structure; meanwhile iota-SRC absorbed more water molecule and decreased the gelatinisation enthalpy. Peak time, peak, viscosity, final viscosity and setback of wheat flour samples were also increased with the addition of iota-SRC ($p<0.05$). Meanwhile, iota-SRC was found to successfully decreased the syneresis of corn starch and wheat flour ($p<0.05$) in syneresis test and freeze-thaw stability test. Overall, amylose content in corn starch was found to influence the effect of iota-SRC on the gelatinisation and retrogradation behavior of corn starch. In contrast, effect of iota-SRC on the wheat flour gelatinisation and retrogradation behavior was less influenced by the protein content.

SENARAI KANDUNGAN

	HALAMAN
TAJUK	i
PENGAKUAN	ii
PENGESAHAN	iii
PENGHARGAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
SENARAI KANDUNGAN	vii
SENARAI JADUAL	ix
SENARAI RAJAH	x
SENARAI SINGKATAN	xi
SENARAI UNIT	xii
SENARAI SIMBOL	xiii
SENARAI LAMPIRAN	xiv
BAB 1: PENGENALAN	
1.1 Pengenalan	1
1.2 Objektif	4
BAB 2: ULASAN KEPUSTAKAAN	
2.1 Kanji	5
2.1.1 Pengelatinan	6
2.1.2 Retrogradasi	7
2.1.3 Faktor mempengaruhi sifat pengelatinan dan retrogradasi kanji	8
2.1.4 Kesan kandungan protein ke atas sifat pengelatinan dan retrogradasi kanji	9
2.1.5 Penggunaan kanji dalam industri makanan	10
2.1.6 Kesan retrogradasi dan sineresis terhadap makanan	11
2.2 Kanji jagung	11
2.3 Tepung gandum	12
2.4 Karaginan Iota	12
2.4.1 Penghasilan karaginan iota dan karaginan separa tulen iota	13
2.4.2 Penggunaan dalam industri makanan	15
2.5 Interaksi kanji dengan hidrokoloid	17
2.5.1 Kesan karaginan iota ke atas pengelatinan dan retrogradasi kanji	17
BAB 3: METODOLOGI	
3.1 Bahan	19
3.2 Reka bentuk eksperimen	19
3.3 Penentuan kandungan kelembapan	19
3.4 Penentuan kandungan amilosa	20
3.5 Penentuan kandungan protein kasar	21
3.6 FTIR (Spektroskopi inframerah transformasi <i>Fourier</i>)	21
3.7 Kalorimetri Pengimbasan Perbezaan	21
3.8 <i>Rapid-Visco Analyzer</i> (RVA)	22
3.9 Ujian sineresis	22
3.10 Ujian kestabilan terhadap pembeku-cairan	23
3.11 Analisis statistik	23



BAB 4: HASIL DAN PERBINCANGAN

4.1 Kandungan kelembapan	24
4.2 Kandungan amilosa	25
4.3 Kandungan protein kasar	26
4.4 FTIR (Spektroskopi inframerah transformasi <i>Fourier</i>)	27
4.5 Sifat terma	
4.5.1 Kanji jagung	28
4.5.2 Tepung gandum	33
4.6 Sifat pemprosesan	
4.6.1 Kanji jagung	36
4.6.2 Tepung gandum	41
4.7 Sineresis	
4.7.1 Kanji jagung	44
4.7.2 Tepung gandum	47
4.8 Kestabilan terhadap pembeku-cairan	
4.8.1 Kanji jagung	48
4.8.2 Tepung gandum	50

BAB 5: KESIMPULAN DAN CADANGAN

5.1 Kesimpulan	53
5.2 Cadangan	55

RUJUKAN	57
----------------	----

LAMPIRAN	65
-----------------	----

SENARAI JADUAL

	Halaman
Jadual 4.1 Kandungan kelembapan kanji jagung, tepung gandum dan karaginan separa tulen iota	24
Jadual 4.2 Kandungan amilosa mengikut jenis kanji jagung dan tepung gandum	26
Jadual 4.3 Kandungan protein mengikut jenis tepung gandum	27
Jadual 4.4 Sifat terma sampel kanji jagung dengan penambahan karaginan separa tulen iota (0.1, 0.5, 1.0, 1.5%)	30
Jadual 4.5 Sifat terma sampel kanji jagung dengan penambahan karaginan separa tulen iota (0.1, 0.5, 1.0, 1.5%) selepas 24 jam penyimpanan pada 4°C	32
Jadual 4.6 Sifat terma sampel tepung gandum dengan penambahan karaginan separa tulen iota (0.1, 0.5, 1.0, 1.5%).	34
Jadual 4.7 Sifat terma tepung gandum dengan penambahan karaginan separa tulen iota (0.1, 0.5, 1.0, 1.5%) selepas 24 jam penyimpanan pada 4°C	36
Jadual 4.8 Sifat pempesan sistem kanji jagung-karaginan separa tulen iota	38
Jadual 4.9 Sifat pempesan sistem tepung gandum-karaginan separa tulen iota	43
Jadual 4.10 Peratus sineresis sistem kanji jagung-karaginan separa tulen iota selepas penyimpanan 7 hari pada 4°C	46
Jadual 4.11 Peratus sineresis sistem tepung gandum-karaginan separa tulen iota selepas penyimpanan 7 hari 4°C	47
Jadual 4.12 Peratus sineresis sistem kanji jagung-karaginan separa tulen iota selepas kitaran pembeku-cairan pertama, ketiga dan kelima	49
Jadual 4.13 Peratus sineresis sistem tepung gandum-karaginan separa tulen iota selepas kitaran pembeku-cairan pertama, ketiga dan kelima	51

SENARAI RAJAH

	Halaman
Rajah 2.1 Struktur molekul karaginan iota	12
Rajah 2.2 Proses penghasilan karaginan	14
Rajah 2.3 Proses penghasilan karaginan separa tulen	15
Rajah 2.4 Aplikasi karaginan dalam produk tenusu	16
Rajah 4.1 Spektra FTIR karaginan separa tulen iota	28

SENARAI SINGKATAN

AACC	American Association of Cereal Chemist
ANOVA	<i>Analysis of Variance</i>
AOAC	Association of Official Analytical Chemist
DSC	Differential Scanning Calorimetry
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared</i>
IITA	<i>International Institute of Tropical Agriculture</i>
N	<i>Nitrogen</i>
NaOH	Natrium Hidroksida
R	Nisbah Retrogradasi
RVA	<i>Rapid-Visco Analyzer</i>
SPSS	Statistical Programme for Social Science
SSMP	Sekolah Sains Makanan dan Pemakanan
TPR	Tepung Protein Rendah
TPS	Tepung Protein Sederhana
TPT	Tepung Protein Tinggi
UV	Ultraviolet



SENARAI UNIT

kg	Kilogram
m	Meter
RM	Ringgit Malaysia
ml	Milimeter
M	Mol
G	Gram
ΔH_1	Entalpy endoterma
$^{\circ}\text{C}$	Darjah Celsius
J	Joule



SENARAI SIMBOL

%	Peratus
<	Kurang daripada
≥	Lebih atau sama dengan
=	Sama dengan
P	Tahap signifikan
+	Positif
-	Negatif
$\times$	Darab
—	Tolak

SENARAI LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A ANOVA sehala untuk kandungan kelembapan, kandungan protein dan kandungan amilosa	65
Lampiran B ANOVA dua hala untuk sifat terma	69
Lampiran C ANOVA dua hala untuk sifat pemprosesan	82
Lampiran D ANOVA dua hala untuk ujian sineresis	97
Lampiran E ANOVA dua hala untuk ujian kestabilan terhadap pembeku-cairan	100

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pengenalan

Kanji merupakan salah satu hidrokoloid makanan yang paling utama. Selain digunakan sebagai bahan utama, kanji turut digunakan sebagai bahan pemekat, agen pengegelan, penstabil dan lemak gantian dalam produk makanan terproses (Funami *et al.*, 2005). Kanji adalah polisakarida terdiri daripada amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan polimer glukosa linear yang dihubungkan melalui ikatan unit α -1,4, manakala amilopektin merupakan polimer glukosa bercabang yang dihubungkan melalui ikatan unit α -1,4 dan α -1,6. Amilosa dan amilopektin dihubungkan melalui ikatan hidrogen membentuk misel separa berhablur berorientasi jejari yang menunjukkan dwibiasan (Christianson *et al.*, 1981). Kanji mempamerkan kedua-dua sifat pengelatinan dan retrogradasi. Proses pengelatinan berlaku apabila granul kanji dipanaskan dalam kuantiti air yang berlebihan dan mengembang lebih besar berbanding saiz asal bergantung kepada ruang yang ada serta kekal tidak terjejas pada suhu kurang dari 100°C tanpa daya ricih yang ketara (Keetels *et al.*, 1996). Proses pengelatinan ini melibatkan penyahaslian tidak berbalik granul kanji serentak dengan kehilangan susunan kehabluran molekul (Annable *et al.*, 1994). Proses pengelatinan menyebabkan perubahan struktur granul kanji berserta dengan pemisahan amilosa dan amilopektin yang mengakibatkan pelarutan lesap keluar amilosa dari granul kanji (Keetels *et al.*, 1996). Proses retrogradasi berlaku semasa penyejukan dan penyimpanan gel kanji. Proses ini melibatkan penyusunan semula amilosa dan amilopektin serta peningkatan dalam ketegaran.

Sifat pengelatinan dan retrogradasi kanji dipengaruhi oleh nisbah amilosa dan amilopektin (Czuchajowska *et al.*, 1998). Semasa proses pengelatinan, kandungan amilosa dan bahagian rantai bercabang panjang amilopektin yang lebih tinggi akan meningkatkan suhu pempasan kanji dan *setback*, manakala merendahkan puncak kelikatan dan penipisan ricih. Gel kanji dengan nisbah



amilosa yang tinggi dan nisbah amilopektin yang sama akan mempamerkan sifat sineresis yang tinggi. Nisbah amilopektin yang rendah turut mengakibatkan gel kanji cenderung terhadap sineresis (Srichuwong *et al.*, 2011). Kehadiran protein di dalam tepung akan bersaing dengan kanji terhadap kebolehsediaan air di dalam sistem justeru mempengaruhi proses pengelatinan kanji. Walaupun demikian, kandungan protein sebanyak 10% di dalam tepung tidak mengubah ciri-ciri terma kanji (Checallier and Colonna, 1999). Kandungan protein yang lebih tinggi akan meningkatkan suhu permulaan, suhu puncak dan mengurangkan tahap pengelatinan kanji (Abdellatif *et al.*, 2003).

Karaginan merupakan ekstrak daripada rumpai laut merah. Rumpai laut yang paling biasa digunakan dalam pengekstrakan karaginan adalah *Kappaphycus alvarezii*, *Kappaphycus striatum* dan *Eucheuma denticulatum*. Karaginan terletak pada dinding sel serta matriks antara sel tisu rumpai laut merah. Karaginan adalah polisakarida linear yang terdiri daripada ikatan β -1,3 D-galaktosa dan ikatan α -1,4 3,6-anhidro-D-galaktosa. Tiga jenis karaginan yang mempunyai nilai komersial adalah kappa, iota dan lambda. Perbezaan utama antara kappa, iota dan lambda adalah bilangan dan posisi kumpulan sulfat ester serta kandungan 3,6-anhidro-D-galaktosa (Imeson, 2000). Gel yang dihasilkan daripada karaginan iota dalam industri tidak cair pada cuaca panas dan tidak memerlukan kelengkapan penyejukan untuk mengekalkan bentuk gel. Gel yang terbentuk daripada karaginan iota juga tidak mengeras selepas penyimpanan. Campuran karaginan iota dan kappa turut digunakan untuk menggantikan pektin dalam pemprosesan jeli berkalori rendah (Sharma dan Hissaria, 2009).

Penambahan hidrokoloid seperti karaginan, gam xantan, alginat dan gam guar ke dalam sistem kanji telah dikaji dan diaplikasikan dalam industri makanan untuk jangka masa yang panjang. Laporan kajian telah mendefiniskan peranan hidrokoloid dalam mengawal reologi dan mengubah tekstur produk makanan kanji. Secara amnya, penambahan hidrokoloid digunakan untuk mengawal kelembapan dan mobiliti air, mempertingkatkan kualiti dan kestabilan keseluruhan produk, mengurangkan kos dan kemudahan pemprosesan (Funami *et al.*, 2005). Kajian terhadap penambahan hidrokoloid termasuk meningkatkan atau mengubahsuai

sifat pengelatinan dan retrogradasi kanji (Alloncle and Doublier, 1991), meningkatkan keupayaan pegangan air (Yoshimura *et al.*, 1998) dan memperbaiki kestabilan beku-cair sistem kanji (Lee *et al.*, 2002). Karaginan digunakan dalam kombinasi bersama kanji dalam industri makanan. Kanji memberikan rasa mulut utama manakala karaginan yang ditambah memberikan tekstur yang sesuai. Karaginan kappa memberikan tekstur keras dan rapuh manakala karaginan iota memberikan tekstur lembut dan elastik (Zobel and Stephen, 1995). Penambahan karaginan iota juga mengurangkan suhu pempesan sistem komposit kanji-karaginan (Funami *et al.*, 2008). Pengurangan suhu ini adalah disebabkan oleh peningkatan dalam kepekatan efektif kanji dalam fasa selangar (Alloncle *et al.*, 1989) akibat eksklusi bersaling antara karaginan iota dan komponen kanji berdasarkan ketidakserasian termodinamik (Alloncle and Doublier, 1991).

Kajian terhadap kombinasi karaginan bersama kanji masih kekurangan jika dibandingkan dengan biopolymer makanan lain seperti xanthan dan gelatin dan kebanyakan kajian ini tertumpu pada karaginan kappa (Autio *et al.*, 2002). Kajian terhadap penambahan karaginan iota ke dalam kanji masih kurang dan tiada kajian dilakukan ke atas penambahan karaginan separa tulen iota ke dalam sistem kanji. Negeri Sabah merupakan kawasan penghasilan rumpai laut yang utama di Malaysia. Keadaan ini menjadikan penghasilan karaginan dan karaginan separa tulen adalah tinggi di kawasan ini. Oleh itu, kajian terhadap kesan penambahan karaginan separa tulen iota ke dalam sistem kanji adalah berpotensi seiring dengan pengembangan dalam industri penghasilan dan penggunaan karaginan separa tulen iota.

Kajian terhadap penambahan karaginan separa tulen iota dalam sistem kanji dan tepung membolehkan kesan karaginan separa tulen iota ke atas sifat pengelatinan dan retrogradasi kanji dapat diketahui. Dengan itu, potensi kegunaan karaginan separa tulen iota dalam produk makanan berasaskan kanji terutamanya hasil dari proses pengelatinan dan retrogradasi kanji dapat didefinisikan.

1.2 Objektif

1. Kajian ini adalah untuk mengkaji kandungan amilosa dan protein yang berlainan dalam mempengaruhi kesan penambahan kandungan karaginan separa tulen iota (0.1%, 0.5%, 1.0%, 1.5%) terhadap pengelatinan dan retrogradasi kanji jagung dan tepung gandum.

BAB 2

ULASAN KEPUSTAKAAN

2.1 Kanji

Kanji merupakan sumber utama tenaga diet untuk populasi manusia sedunia. Kanji digunakan sebagai bahan utama, agen penebal, agen pengelatan, penstabil dan gantian lemak di dalam pemprosesan produk makanan. Kanji merupakan karbohidrat simpanan utama di dalam tuber tumbuhan dan benih endosperma dalam bentuk granul. Granul kanji biasanya dijumpai dalam biji benih, akar dan tuber yang berasal dari jagung, gandum, kentang dan beras. Granul kanji asli mempamerkan seni bina tiga dimensi sepusat dari hilum dengan jumlah kehabluran berbeza dari 15% hingga 45% bergantung kepada spesies tumbuhan (Zobel, 1988). Kanji merupakan polisakarida terdiri dari unit D-glukosa. Granul kanji adalah zarah separa hablur yang terdiri dari dua jenis α -glukan utama iaitu amilosa dan amilopektin.

Amilosa adalah polisakarida yang lebih kecil berbanding amilopektin dengan berat molekul lebih kurang 500,000. Amilosa merupakan polisakarida linear yang terdiri dari ikatan α -1,4 berserta kuantiti ikatan α -1,6 yang sedikit. Kuantiti rantai molekul amilosa dari sumber yang berlainan berbeza dari 2 hingga 11 dengan panjang rantai individu mengandungi 250 hingga 670 unit glukosa (Morrison dan Karkalas, 1990). Rantai amilosa menunjukkan bentuk lingkaran heliks tunggal atau heliks ganda dua dan berputar pada ikatan α -1,4 berserta enam glukosa setiap putaran dimana kumpulan hidroksil terletak pada bahagian luar heliks (Xie *et al.*, 2011). Amilopektin merupakan polisakarida bercabang yang sangat besar melangkau dari hilum ke periferi granul kanji. Amilopektin adalah berdasarkan ikatan α -1,4 (lebih kurang 95%) dan α -1,6 (lebih kurang 5%) dengan titik bercabang terletak setiap 22-70 unit glukosa menghasilkan struktur cabang berbentuk anggur (Xie *et al.*, 2011). Kedua-dua amilosa dan amilopektin dihubungkan melalui ikatan hidrogen secara langsung ataupun secara jambatan hidrat membentuk misel separa hablur berorientasi jejari yang menunjukkan

birefringens (Christianson *et al.*, 1981). Kawasan separa hablur yang memberi ketakterlarutan air dan kelikatan tinggi pes panas adalah terbentuk dari rantai pendek cabang molekul amilopektin dalam bentuk berkelompok disusun dalam kekisi tiga dimensi melalui formasi heliks ganda dua (Zobel dan Stephen, 1995). Sebaliknya, kawasan amorf yang membawa kepada pemedapan air, pemplastikan granul dan reaksi kimia melibatkan molekul amilosa dengan konformasi heliks bebenang tunggal (Zobel dan Stephen, 1995).

Selain itu, di dalam granul kanji turut terjumpa protein, lipid dan fosforus dalam kuantiti yang sedikit bergantung pada sumber botani (Perez dan Bertoft, 2010). Bahagian amilopektin adalah lebih dari 95% dalam kanji berlilin, 70-75% dalam kanji biasa dan kurang dari 30% dalam sesetengah kanji beramilosa tinggi. Nisbah amilosa:amilopektin ini merupakan sifat terwariskan walaupun terdapat sesetengah bukti menunjukkan nisbah ini adalah dipengaruhi oleh persekitaran dalam beberapa spesis tumbuhan (Tester *et al.*, 1991).

2.1.1 Pengelatinan

Granul kanji dipanaskan dalam kuantiti air yang berlebihan mengembang lebih besar berbanding saiz asal bergantung kepada ruang yang sedia ada dan kekal tidak terjejas pada suhu kurang dari 100°C tanpa daya ricih yang ketara (Keetels *et al.*, 1996a, 1996b, 1996c). Keadaan ini merupakan proses pengelatinan yang melibatkan penyhaslian tidak berbalik granul kanji berserta dengan kehilangan susunan kehabluran (Annable *et al.*, 1994). Semasa dipanaskan dalam air, sifat separa hablur dan bentuk tiga dimensi granul kanji terganggu secara beransur mengakibatkan peralihan fasa dari sruktur granul tersusun ke struktur tak tertib di dalam air (Ratnayake *et al.*, 2008).

Semasa proses pengelatinan, air bertindak sebagai pemplastik. Pada mulanya air diserap oleh kawasan amorf kanji yang menyebabkan fenomena pengembangan semasa pemanasan dan kemudian mengalir ke kawasan berhablur (Jenkins *et al.*, 1998). Penyerapan air bermula di kawasan amorf yang kurang tumpat dan kemudiannya kawasan yang lebih berhablur dalam molekul kanji. Keadaan ini disebabkan oleh hubungan yang lebih lemah antara molekul di

kawasan amorf berbanding kawasan berhablur. Pada titik permulaan ini proses pengelatinan masih merupakan proses berbalik. Dengan pemanasan berterusan, granul kanji menyerap lebih banyak air secara tidak berbalik dan mengembang. Pada masa yang sama sesetengah rantai pendek amilosa meresap keluar dari granul kanji dan pemisahan fasa tidak berbalik pada kawasan kaya dengan polimer dan kawasan kurang polimer (Miles *et al.*, 1985).

Proses pengelatinan ini bertanggungjawab ke atas penebalan sistem makanan. Pengelatinan penuh kanji di bawah keadaan tanpa ricih memerlukan air yang berlebihan (Wang *et al.*, 1991). Dalam kepekatan air yang terlalu tinggi, hablur halus dalam kanji dipisahkan semasa pengembangan dan tiada yang tinggal untuk dileburkan pada suhu yang lebih tinggi (Xie *et al.*, 2011). Jika kepekatan air adalah terhad, tenaga pengembangan akan menjadi kurang nyata dan halangan sterik menjadi tinggi (Xie *et al.*, 2011). Oleh demikian, pengelatinan penuh tidak akan berlaku pada suhu biasa (Wang *et al.*, 1991). Pengelatinan boleh dikatakan sebagai sinonim kepada pempesan. Proses pempesan berlaku dengan pemanasan berterusan gel kanji. Proses ini melibatkan kehilangan birefringens kanji.

2.1.2 Retrogradasi

Kanji yang telah melalui proses pengelatinan akan mengalami penuaan dan penyejukan semasa penyimpanan dan mempunyai kecenderungan untuk interaksi antara amilosa dan amilopektin membentuk struktur yang lebih tersusun. Interaksi antara molekul ini dikenali sebagai retrogradasi (Ghosh *et al.*, 2009). Sifat retrogradasi kanji dipengaruhi secara langsung oleh susunan struktur rantai granul kanji dalam kawasan amorf dan berhablur sebelum proses pengelatinan. Susunan struktur ini turut mempengaruhi tahap penguraian granul semasa proses pengelatinan dan interaksi yang berlaku antara rantai kanji semasa penyimpanan gel.

Kanji beramilosa tinggi adalah lebih cenderung terhadap retrogradasi. Retrogradasi amilopektin memerlukan lebih banyak masa berbanding retrogradasi amilosa. Retrogradasi kanji diiringi oleh peningkatan dalam tahap kehabluran, ketegaran gel dan pelelehan air dari gel kanji (Ghosh *et al.*, 2009). Proses

retrogradasi meliputi dua peringkat iaitu retrogradasi jangka pendek dan retrogradasi jangka panjang. Retrogradasi jangka pendek melibatkan pengegelan amilosa dalam lingkungan fasa berterusan yang berlaku sebagai peringkat pertama dalam retrogradasi dan lengkap dalam beberapa jam (Miles *et al.*, 1985a, 1985b). Retrogradasi jangka panjang berlaku berikutnya dengan penghabluran amilopektin yang berlaku dengan kadar yang lebih perlahan berbanding pengegelan amilosa (Ring *et al.*, 1987).

Sineresis merupakan fenomena yang berlaku akibat dari retrogradasi kanji (Vaclavik *et al.*, 2007). Sineresis merujuk kepada pelelehan air dari gel kanji. Keadaan pemisahan cecair dari gel ini berlaku apabila gel kanji dibiarkan. Gel tersebut mengalami penuaan apabila dibiarkan. Amilosa bersekutu dengan lebih lanjut dan gel mengecut mengakibatkan kehilangan air dan penyusutan menjadi nyata (Vaclavik *et al.*, 2007). Sineresis yang berlaku pada produk makanan berasaskan kanji dianggap sebagai sejenis kerosakan ataupun penurunan kualiti.

2.1.3 Faktor mempengaruhi sifat pengelatinan dan retrogradasi kanji

Ulasan ini tertumpu pada faktor nisbah amilosa dengan amilopektin dalam mempengaruhi sifat pengelatinan dan retrogradasi kanji. Suhu pengelatinan menaik dengan kandungan amilosa tinggi dan berkolerasi secara negatif dengan kuantiti rantai pendek amilopektin manakala berkolerasi secara positif dengan kandungan rantai cabang panjang amilopektin (Jane *et al.*, 1999). Keadaan ini berlaku kerana rantai cabang pendek amilopektin menstabilkan struktur lamela habluran. Rantai cabang panjang amilopektin membentuk heliks ganda dua panjang yang memerlukan suhu yang lebih tinggi untuk penceraian sepenuhnya (Chung *et al.*, 2010).

Kandungan amilosa dan bahagian rantai cabang panjang amilopektin yang lebih tinggi meningkatkan suhu pempasan dan *setback* serta menurunkan kelikatan puncak dan penipisan ricih semasa pengelatinan (Jane *et al.*, 1999). Di dalam kanji gandum didapati bahawa amilopektin menyumbang kepada penyerapan air, pengembangan dan pempasan granul kanji manakala amilosa dan lipid lebih cenderung dalam merencatkan proses ini (Tester dan Morrison, 1990). Tiada

korelasi dilaporkan antara kandungan lipid kanji dengan pengembangan kanji tetapi bahagian rantai panjang amilopektin dilaporkan cenderung dalam meningkatkan pengembangan kanji (Sasaki dan Matsuki, 1998).

2.1.4 Kesan kandungan protein ke atas sifat pengelatinan dan retorgradasi kanji

Pengelatinan kanji dipengaruhi oleh kehadiran bahan lain yang mempengaruhi aktiviti air dalam sistem kanji. Kehadiran protein dalam tepung akan bertanding dengan kanji untuk kandungan air di dalam sistem dan mempengaruhi proses pengelatinan kanji (Wootton dan Bamunuarachchi, 1980). Interaksi antara kanji dengan protein adalah disebabkan oleh penarikan antara koloid bercas positif dan negatif dalam persekitaran asid (Takeuchi, 1969). Eliasson (1983) telah menggunakan sistem kanji-gluten untuk mengkaji pengelatinan kanji dengan kehadiran gluten dari gandum kering menggunakan Kalorimetri Pengimbasan Pembezaan. Kajian ini melaporkan bahawa suhu puncak pengelatinan kanji meningkat dan ΔH menurun dengan kehadiran gluten protein. ΔH pengelatinan menurun dengan penambahan kuantiti gluten protein manakala puncak suhu meningkat dengan peningkatan nisbah gluten:kanji. Kehadiran gluten dipercayai mengurangkan kesediaan air di dalam sistem justeru mengubah parameter pengelatinan.

Kajian Chevallier dan Colonna (1999) mengkaji campuran gluten-kanji nisbah 1:9 dengan kandungan air yang berlainan. Disebabkan oleh kelembapan campuran adalah rendah (23%), puncak suhu kanji yang dilaporkan adalah 130°C manakala suhu puncak yang sama (128°C) diperolehi dari analisis tepung gandum pada suhu 23°C. Dengan ini mereka memutuskan bahawa 10% kandungan protein tidak mengubah sifat haba kanji. Eliasson dan Tjerneld (1990) mengkaji interaksi kanji-protein dengan menyukat kuantiti protein diserap ke dalam granul kanji. Protein gandum dengan berat molekul yang rendah didapati mempunyai penyerapan rendah manakala protein gandum dengan berat molekul yang tinggi mempunyai tahap penyerapan yang tinggi ke dalam granul kanji. Secara keseluruhannya, kuantiti air bebas dan penghijrahan air di dalam sistem dianggap sebagai faktor penting yang mempengaruhi sifat campuran protein-karbohidrat

Rujukan

- AACC. 2000. Approved methods of the AACC, 10th edition: American Association of Cereal Chemists: St. Paul, Minnesota.
- Abdellatif, A. M. 2003. Effect of some plant oils as protectants of stored legumes against cowpea beetle, *Callosobruchus maculatus* (F.) infestation. *Fayoum Journal of Agriculture Research and Development*. **2**: 98-106.
- Abdellatif, A. M., Patricia, R. D. 2003. The effect of mixing and wheat protein/gluten on the gelatinization of wheat starch. *Food Chemistry*. **81**: 533-545.
- Abdulmola, N. A., Hember, M. W. N., Richardson, R. K. dan Morris, E. R. 1996. Effect of xanthan on the small-deformation rheology of crosslinked and uncrosslinked waxy maize starch. *Carbohydrate Polymers*. **31**: 65-78.
- Achayuthakan, P., Supphantharika, M. 2008. Pasting and rheological properties of waxy corn starch as affected by guar gum and xanthan gum. *Carbohydrate Polymers*. **71**: 9-17.
- Alam, F., Siddiqui, A., Lutfi, Z. dan Hasnain, A. 2009. Effect of different hydrocolloids on gelatinization behaviour of hard wheat flour. *Trakia Journal of Sciences*. **7**: 1-6.
- Alloncle, M., dan Doublier, J. L. 1991. Viscoelastic properties of maize starch/hydrocolloid pastes and gels. *Food Hydrocolloids*. **5**: 455-467.
- Alloncle, M., Lefebvre, J., Llamas, G., Doublier, J. L. 1989. A rheological characterization of cereal starch-galactomannan mixtures. *Cereal Chemistry*. **66**: 90-93.
- Annable, P., Fitton, M. G., Harris, B., Phillips, G. O. dan Williams, P. A. 1994. Phase behavior and rheology of mixed polymer systems containing starch. *Food Hydrocolloids*. **8**: 351-359.
- AOAC. 1999. Official Methods of Analysis Method 955.04. Association of Official Analytical Chemist: Gaithersburg Md.
- Autio, K., Vesterinen, E. dan Stolt, M. 2002. Rheological properties of mixed starch-k-carrageenan gels in relation to enzymatic digestibility. *Food Hydrocolloids*. **16**: 169-174.
- Aviara, N. A., Igbeka, J. C. dan Nwokocha, L. M. 2010. Physicochemical properties of Sorghum (*Sorghum Bicolor* L. Moench) starch as affected by drying temperature. *Agricultural Engineering International*. **12(2)**: 85-94.

- Bahnassey, Y. A. dan Breene, W. M. 1994. Rapid visco-analyzer (RVA) pasting profiles of wheat, corn, waxy corn, tapioca and amaranth starches (*A. Hypochondriacus* and *A. Cruentus*) in the presence of konjac flour, gellan, guar, xanthan and locust bean gums. *Starch/Stärke*. **46**: 134-141.
- Biliaderis, C. G., Page, C. M., Maurice, T. J. dan Juliano, B. O. 1986. Thermal characterisation of rice starches: a polymeric approach to phase transitions of granular starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **34**: 6-14
- Biliaderis, C. G., Arvanitoyannis, I., Izydorczyk, M. S., Prokopowich, D. J. 2006. Effect of hydrocolloids on gelatinization and structure formation in concentrated waxy maize and wheat starch gels. *Starch/Stärke*. **49**: 278-283.
- Biofiles for life science research (Complex carbohydrate analysis: enzymes, kits and reagents). USA: Sigma-aldrich.
- Chaisawang, M. dan Supphantharika, M. 2005. Effects of guar gum and xanthan gum additions on physical and rheological properties of cationic tapioca starch. *Carbohydrate Polymers*. **61**: 288-295.
- Chantaro, P., Pngsawatmanit, R. 2010. Influence of sucrose on thermal and pasting properties of tapioca starch. *Journal of Food Engineering*. **98**: 44-50.
- Chanvrier, H., Uthayakumaran, S. dan Lillford, P. 2007. Rheological properties of wheat flour processed at low levels of hydration: Influence of starch and gluten. *Journal of Cereal Science*. **45**: 263-274.
- Chevallier, S. dan Colonna, P. 1999. Thermal analysis of protein-starch interactions at low moisture content. *Science Des Aliments*. **19**: 167-182.
- Chiu, C. W. dan Solarek, D. 2009. *Modification of starches*. Starch Chemistry and Technology, 3rd edn. New York: Academic Press.
- Chopin, T. dan Whalen, E. 1993. A new and rapid method for carrageenan identification by FT IR diffuse reflectance spectroscopy directly on dried, ground algal material. *Carbohydrate Research*. **246**: 51-59.
- Christiane, C. F., Fridrum, P., Roger, D. J. dan Mark, R. S. 2004. Feasibility study for the rapid determination of the amylose content in starch by near-infrared spectroscopy. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. **21**: 155-159.
- Christianson, D. D., Hodge, J. E., Osborne, D. dan Detroy, R. W. 1981. Gelatinization of wheat starch as modified by xanthan gum, guar gum, and cellulose gum. *Cereal Chemistry*. **58**: 513-517.
- Chung, H. J., Liu, Q., Lee, L. dan Wei, D. 2011. Relationship between the structure, physicochemical properties and in vitro digestibility of rice starches with different amylase contents. *Food Hydrocolloids*. **25**: 968-975.

- Collar, C., Andreu, P., Martinez, J. C. dan Armero, E. Optimization of hydrocolloid addition to improve wheat bread dough functionality: a response surface methodology study. *Food Hydrocolloids*. **13**: 467-475.
- Czuchajowska, Z., Otto, T., Paszczynska, B. dan Byung-Kee, B. 1998. Composition, thermal behavior, and gel texture of pome and tailing starches from garbanzo beans and peas. *Cereal Chemistry*. **75**: 466-472.
- Dennis, J, M. 2003. A guide to the seaweed industry. Food and Agriculture Organization: United Nations.
- Dickinson, E. 2003. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids*. **17**: 25-39.
- Donovan, J. M. dan Beardslee, R. A. 1975. Heat stabilization produced by protein-protein association: DSC study of heat denaturation of trypsin inhibitor. *Journal of Biological Chemistry*. **250**: 1966-1971.
- Eidam, D., Kulicke, W. M., Kuhn, K. dan Stute, R. 1995. Formation of maize starch gels selectively regulated by the addition of hydrocolloids. *Starch/Starke*. **47**: 378-384.
- Eliasson, A. C. 1983. Differential scanning calorimetry studies on wheat starch-gluten mixture. *Journal of Cereal Science*. **30**: 199-205.
- Eliasson, A. C. dan Tjerneld, E. 1990. Adsorption of wheat proteins on wheat starch-gluten mixture. *Journal Cereal Science*. **30**: 199-205.
- Fanta, G. F. dan Christianson, D. D. 1996. Starch-hydrocolloid composites prepared by steam jet cooking. *Food Hydrocolloids*. **10**: 173-178
- Funami, T., Kataoka, Y., Omoto, T., Goto, Y., Asai, I. dan Nishinari, K. 2005. Effects of non-ionic polysaccharides on the gelatinization and retrogradation behavior of wheat starch. *Food Hydrocolloids*. **19**: 1-13.
- Funami, T., Noda, S., Hiroe, M., Asai, I., Ikeda, S. dan Nishinari, K. 2008. Functions of iota-carrageenan on the gelatinization and retrogradation behaviors of corn starch in the presence or absence of various salts. *Food Hydrocolloids*. **22**: 1273-1282.
- Guo, G., Jackson, D. S., Graybosch, R. A., Parkhurst, A. M. 2003. Asian salted noodle quality: Impact of amylase content adjustment using waxy wheat flour. *Cereal Chemistry*. **80**: 437-445.
- Hoffmann, R. A., Russell, A. R. dan Gidley, M. J. 1996. 'Molecular weight distribution of carrageenans' in gums and stabilizers for the food industry 8. Oxford University Press: 137-148.

- Hunter, G., Tinton, T., Carey, P., Walpole, S. 2007. *The professional chef: Level 2 S/NVQ*. London: Thomson Learning.
- IITA. 1995. *Simplified procedure for amylose content determination. In Selected Laboratory Methods for Maize Quality Evaluation (A. U. Okoruwa (compiler))*. Ibadan: IITA Press.
- Imeson, A. P. 2000. *Carrageenan*. UK: FMC Corporation Ltd.
- James, N. B. Pasting, paste, and gel properties of starch-hydrocolloid combinations. *Carbohydrate Polymers*. **86**: 386-423.
- James, N. B. dan Roy, L. W. 2009. *Starch: chemistry and technology*. Academic Press.
- Jane, J., Chen, Y. Y., Lee, L. F., McPherson, E. dan Wong, K. S., Radosavljevic, M. 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylase content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chemistry*. **76**: 629-637.
- Jenkins, P. J. dan Donald, A. M. 1998. Gelatinization of starch: a combined saxs/waxs/dsc and sans study. *Carbohydrate Research*. **308**: 133-147.
- Keetels, C. J. A. M., van Vliet, T. dan Walstra, P. 1996a. Gelation and retrogradation of concentrated starch systems: 1. Gelation. *Food Hydrocolloids*. **10**: 343-353.
- Kreuger, B. R., Knutson, C. A., Inglett, G. E., Walker, C. E. 1987. A differential scanning calorimetry study on the effect of annealing on gelatinization behaviour of corn starch. *Cereal Chemistry*. **72**: 393-400.
- Kruger, A., Ferrero, C., Zaritzky, N. E. 2003. Modelling corn starch swelling in batch systems: Effect of sucrose and hydrocolloids. *Journal of Food Engineering*. **58**: 125-133.
- Lai, L. S. dan Kokini, J. L. 1991. Physicochemical changes and rheological properties of starch during extrusion. *Biotechnology Progress*. **7**: 251-266.
- Lan, H., Hoover, R., Jayakody, L., Liu, Q., Donner, E., Baga, Asare, E. K., Hucl, P. dan Chibbar, R. N. 2008. Impact of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of normal, waxy and high amylase bread wheat starches. *Food Chemistry*. **111**: 663-675.
- Lee, M. H., Baek, M. H., Cha, D. S., Park, H. J. dan Lim, S. T. 2002. Freeze-thaw stabilization of sweet potato starch gel by polysaccharide gums. *Food Hydrocolloids*. **16**: 345-352.
- Lennart, P. 2006. *Food Polysaccharides and their Applications: Gelling Carrageenans*. CRC Press. 239-276.

- Miles, M. J., Morris, V. J., Orford, P. D. dan Ring, S. G. 1985. The roles of amylase and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. *Carbohydrate Research*. **135**: 271-281.
- Miles, M. J., Morris, V. J., Orford, P. D. dan Ring, S. G. 1985a. The roles of amylase and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. *Carbohydrate Research*. **135**: 271-281.
- Miles, M. J., Morris, V. J. dan Ring, S. G. 1985b. Gelation of amylase. *Carbohydrate Research*. **135**: 271-281.
- Ming, Z., Morris, C. F., Batey, I. L. dan Wrigley, C. W. 1997. Sources of variation for starch gelatinization, pasting and gelation properties in wheat. *Cereal Chemistry*. **74**: 63-71
- Mohamed, A. A. dan Rayas, D. P. 2003. The effect of mixing and wheat protein/gluten on the gelatinization of wheat starch. *Journal of Food Chemistry*. **81**: 533-545.
- Morrison, W. R. dan Karkalas, J. 1990. *Starch in 'Methods in Plant Biochemistry'*. London: Academic Press.
- Mousia, Z., Farhat, I. A., Pearson, M., Chesters, M. A., Mitchell, J. R. 2001. FTIR microspectroscopy study of the composition fluctuations in extruded amylopectin-gelatin blends. *Biopolymers*. **62**: 208-218.
- Ottenhof, M, A., Farhat, I. A. 2004. The effect of gluten on the retrogradation of wheat starch. *Journal of Cereal Science*. **40**: 269-274
- Park, I. M., Ibanez, A. M., Zhong, F. dan Shoemaker, C. F. 2007. Gelatinization and pasting properties of waxy and non-waxy rice starches. *Starch*. **59**: 388-396
- Paula, C. S. F. T., Miguel, D. N., Rilton, A. F., Maria, R. S. dan Maria, E. R.D. 2006. Effects of iota-carrageenan on the rheological properties of starches. *Carbohydrate Polymers*. **65**: 49-57.
- Pereira, L., Critchley, A. T., Amado, A. M. dan Paulo, J. A. 2009. A comparative analysis of phycocolloids produced by underutilized versus industrially utilized carrageenophytes (Gigartinales, Rhodophyta). *Applied Phycology*. **21**: 599-605.
- Perez, S. dan Bertoft, E. 2010. The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules. *Starch-Starke*. **62**: 389-420.
- Ratnayake, W. S., Jackson, D. S. dan Steve, L. T. 2008. Starch gelatinization. *Advances In Food Science Nutrition Research*. **55**: 221-268.

- Ring, S. G., Colonna, P., I'Anson, K. J., Kalichevsky, M. T., Miles, M. J., Morris, V. J. dan Orford, P. D. 1987. The gelation and crystallization of amilopectin. *Carbohydrate Research*. **162**: 277-293.
- Rojas, J. A., Rosell, C. M. dan Barber, C. B. 1999. Pasting properties of different flour-hydrocolloid systems. *Food Hydrocolloids*. **13**: 27-33
- Russell, P. L. 1987. The aging of gels from starches of different amylase/amylopectin content studied by differential scanning calorimetry. *Journal of Cereal Science*. **6**: 147-158.
- Sasaki, T. dan Matsuki, J. 1998. Effect of wheat starch structure on swelling power. *Cereal Chemistry*. **75**: 525-529.
- Sharma, B. R. dan Hissaria, P. K. 2009. Carrageenan: Textural ingredient for food systems. India: Sunita Hydrocolloids Private Limited.
- Srichuwong, A., Isono, N., Jiang, H., Mishima, T. dan Hisamatsu, M. 2011. Freeze-thaw stability of starches from different botanical sources: Correlation with structural features. *Carbohydrate Polymers*. **87**: 1275-1279.
- Street, C. A. 1991. *Flour confectionary manufacture*. New York: VCH Publishers.
- Table, S. L., Mushet, C. 2008. *The art and soul of baking*. Missouri: Andrews McMeel Publishing.
- Temsiripong, T., Pngsawatmanit, R., Ikeda, S., Nishinari, K. (2005). Influence of xyloglucan on gelatinization and retrogradation of tapioca starch. *Food Hydrocolloids*. **19**: 1054-1063.
- Tester, R. F. dan Morrison, W. R. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylase and lipids. *Cereal Chemistry*. **67**: 551-557.
- Tester, R. F., South, J. B., Morrison, W. R. dan Ellis, R. P. 1991. The effects of ambient temperature during the grain-filling period on the composition and properties of starch from four barley genotypes. *Journal of Cereal Science*. **13**: 113.
- Tian, Y., Li, Y., Manthey, F. A., Xu, X., Jin, Z., Deng, L. 2009. Influence of β -cyclodextrin on the short-term retrogradation of rice starch. *Food Chemistry*. **116**: 54-58.
- Tian, Y., Bai, Y., Li, Y., Xu, X., Xie, Z. dan Jin, Z. 2011. Use of the resistance effect between retrograded starch and iodine for evaluating retrogradation properties of rice starch. *Food Chemistry*. **125**: 1291-1293.
- Tolstoguzov, V. 1997. Thermodynamic aspects of dough formation and functionality. *Food Hydrocolloids*. **11**: 181-193.

- Tye, R. J. 1988. The rheology of starch/carrageenan systems. *Food Hydrocolloids*. **2**: 259-266.
- Vaclavik, V., Vaclavik, V. A. dan Christian, E. W. 2007. *Essentials of food science*. Springer: 59-60.
- Vandeputte, G. E., Derycke, V., Geeroms, J. dan Delcour, J. A. 2003. Rice starches. II. Structural aspects provide insight into swelling and pasting properties. *Journal of Cereal Science*. **38**: 53-59.
- Wang, S. S., Chiang, W. C., Zhao, B., Zheng, X. G. dan Kim, I. H. 1991. Experimental analysis and computer simulation of starch-water interactions during phase transition. *Journal of Food Science*. **56**: 121-124.
- Williams, P. C., Kuzina, F. D. dan Hlynka, I. 1970. A rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours. *Cereal Chemistry*. **47**: 411-420.
- Wootton, M. dan Bamunuarachchi, A. 1980. Effect of sucrose and sodium chloride on starch gelatinization. *Starch-Starke*. **32**: 126-129.
- Wu, Y., Chen, Z., Li, X., Li, M. 2009. Effect of tea polyphenols on the retrogradation of rice starch. *Food Research International*. **42**: 221-225.
- Xie, F., Halley, P. J. dan Averous, L. 2012. Rheology to understand and optimize processability, structures and properties of starch polymeric materials. *Progress in Polymer Science*. **37**: 595-623
- Xie, L. H., Chen, N., Duan, B. W., Zhu, X. W. dan Liao, X. Y. 2008. Impact of proteins on pasting and cooking properties of waxy and non-waxy rice. *Journal of Cereal Science*. **47**: 372-379
- Yoshimura, M., Takaya, T. dan Nishinari, K. 1998. Rheological studies on mixtures of corn starch and konjac-glucomannan. *Carbohydrate Polymers*. **35**: 71-79.
- Yoshimura, M., Takaya, T. dan Nishinari, K. 1999. Effects of xyloglucan on the gelatinization and retrogradation of corn starch as studied by rheology and differential scanning calorimetry. *Food Hydrocolloids*. **13**: 101-111.
- Zhao, J. dan Whistler, R. L. Spherical aggregates of starch granules as flavor carriers. *Food Technology*. **48**(7): 104-105.
- Zhou, Y., Wang, D., Zhang, L., Du, X. dan Zhou, X. 2007. Effect of polysaccharide on gelatinization and retrogradation of wheat starch. *Food Hydrocolloids*. **22**: 505-512.
- Zobel, H. F. 1988. Molecules to granules-a comprehensive starch review. *Starke*. **40**: 44-50.

Zobel, H. F. dan Stephen, A. M. 1995. Chapter 2: Starch: Structure, analysis, and application in food polysaccharides and their applications. New York: Marcel Dekker: 25-85.