

**KESAN GABUNGAN RAWATAN PAUT-SILANG  
DAN RAWATAN ALKALI-ALKOHOL KE ATAS  
SIFAT FIZIKO-KIMIA KANJI SAGU GCWS**

**YAP LE KUAN**

PERPUSTAKAAN  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

**LATIHAN ILMIAH INI DIKEMUKAKAN UNTUK  
MEMENUHI SEBAHAGIAN DARIPADA SYARAT  
MEMPEROLEHI IJAZAH SARJANA MUDA  
SAINS MAKANAN DENGAN KEPUJIAN  
(TEKNOLOGI MAKANAN DAN BIOPROSES)**

**SEKOLAH SAINS MAKANAN DAN PEMAKANAN  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH  
2009**



BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS

KESAN GABUNGAN RAWATAN PAUT-SILANG DAN RAWATAN KALI-ALKOHOL KE ATAS SIFAT FIZIKO-KIMIA KANJI SAGU GCWS SARJANA MUDA SAINS MAKANAN DENGAN KEPUJIAN (TEKNOLOGI MAKANAN DAN BIOPRO

SESI PENGAJIAN: 2009

YAP LE KUAN

(HURUF BESAR)

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

Tesis adalah hakmilik Universiti Malaysia Sabah. Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sahaja. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan tesis ini sebagai bahan pertukaran antara institusi pengajian tinggi. \*\* 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

DR. LEE JAU SHYA

(TANDATANGAN PENULIS)

(TANDATANGAN PUSTAKAWAN)

NO: 26, JALAN BANGAU 6/5B

000 SHAH ALAM

ELANGOR

DR. LEE JAU SHYA

Nama Penyeria

26/06/2009

Tarikh: 26/06/2009

AN: \* 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.

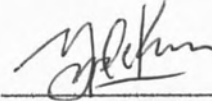
\* Tesis dimaksudkan sebagai tesis bagi Ijazah Doktor Falsafah dan Sarjana secara penyelidikan, atau disertasi bagi pengajian secara kerja kursus dan penyelidikan, atau Laporan Projek Sarjana Muda (LPSM).



## PENGAKUAN

Karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali bahagian nukilan, ringkasan dan rujukan yang tiap-tiap satunya saya jelaskan sumbernya.

17 APRIL 2009



---

YAP LE KUAN  
HN2005-2711



## PENGESAHAN PEMERIKSA

### DISAHKAN OLEH

1. **Penyelia**

(Dr. Lee Jau Shya)

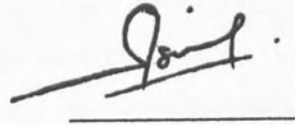
### TANDATANGAN



---

2. **Pemeriksa 1**

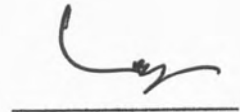
(Profesor Madya Dr. Mohd Ismail Abdullah)



---

3. **Pemeriksa 2**

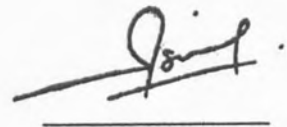
(Profesor Madya Dr. Chye Fook Yee)



---

4. **Dekan**

(Profesor Madya Dr. Mohd Ismail Abdullah)



---

## PENGHARGAAN

Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada penyelia saya Dr. Lee Jau Shya yang telah banyak memberi dorongan dan bimbingan kepada saya untuk menyiapkan projek penyelidikan ini. Saya juga ingin berterima kasih kepada Sekolah Sains Makanan dan Pemakanan (SSMP) serta Sekolah Kejuruteraan dan Teknologi Maklumat (SKTM) kerana sudi meminjamkan peralatan yang diperlukan dalam projek penyelidikan ini. Tidak lupa juga pembantu penyelidikan, pembantu-pembantu makmal Sekolah Sains Makanan dan Pemakanan (SSMP) dan rakan-rakan saya yang telah banyak membantu saya sepanjang tempoh ini.



## ABSTRAK

Metodologi Respons Permukaan telah digunakan untuk mengkaji kesan peratus reagen paut-silang (0.02, 0.05, 0.10, 0.15 dan 0.18 %), peratus etanol (33.18, 40, 50, 60 dan 66.82 %) dan nisbah NaOH:kanji (0.32:1, 1:1, 2:1, 3:1 dan 3.68:1) dalam mempengaruhi sifat-sifat fizikokimia dan struktur granul kanji GCWS (*Granular Cold Water Soluble*) yang dihasilkan. Sifat-sifat fizikokimia yang dikaji adalah keterlarutan air sejuk, kuasa menggelembung air sejuk, profil pempesan, morfologi kanji dan profil terma kanji. Peningkatan peratus reagen paut-silang menurunkan keterlarutan air sejuk ( $P < 0.05$ ), kelikatan puncak ( $P < 0.01$ ), *breakdown* ( $P < 0.001$ ), *setback* ( $P < 0.001$ ) dan kelikatan akhir ( $P < 0.01$ ) tetapi meningkatkan masa puncak ( $P < 0.001$ ). Peningkatan nisbah NaOH pula meningkatkan keterlarutan air sejuk ( $P < 0.001$ ), kuasa menggelembung ( $P < 0.001$ ), masa puncak ( $P < 0.001$ ) tetapi mengurangkan kelikatan puncak ( $P < 0.01$ ), suhu pempesan ( $P < 0.001$ ), *breakdown* ( $P < 0.01$ ) dan kelikatan akhir ( $P < 0.05$ ). Etanol didapati tidak mempunyai kesan nyata ( $P > 0.05$ ) keatas mana-mana respons tersebut. Profil terma menunjukkan kanji GCWS yang dihasilkan dengan nisbah NaOH: kanji (3:1) tidak mempunyai endoterma gelatinisasi antara julat suhu 25°C dan 100°C. Morfologi kanji sagu GCWS menunjukkan penambahan NaOH menyebabkan granul kanji menggelembung sehingga pecah manakala peningkatan peratus reagen paut-silang boleh membantu mengekalkan struktur bergranul kanji. Peningkatan etanol turut menampakkan kesan nyata dalam menghalang granul kanji daripada pecah. Didapati kombinasi reagen paut-silang 0.05 %, etanol 60 % dan nisbah NaOH:kanji (3:1) merupakan kombinasi terbaik dengan keterlarutan dan kuasa menggelembung air sejuk yang paling tinggi di samping mempunyai struktur granul kanji sempurna.

## ABSTRACT

### **EFFECT OF COMBINED CROSS-LINKING AND ALCOHOLIC-ALKALINE TREATMENT ON THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF GCWS SAGO STARCH**

*Response Surface Methodology (RSM) was used to study the effect of percentage of cross-linking reagent (0.02, 0.05, 0.10, 0.15 and 0.18 %), percentage of ethanol (33.18, 40, 50, 60 and 66.82 %) and ratio of NaOH:starch (0.32:1, 1:1, 2:1, 3:1 and 3.68:1) on the physicochemical properties and the granular structure of GCWS (Granular Cold Water Soluble) starch produced. The physicochemical properties studied were cold water solubility, cold water swelling power, pasting profile, morphology and thermal properties. Increase in percentage of cross-linking reagent used decreased cold water solubility ( $P<0.05$ ), peak viscosity ( $P<0.01$ ) breakdown ( $P<0.001$ ), setback ( $P<0.001$ ) and final viscosity ( $P<0.01$ ) but increased peaktime ( $P<0.001$ ). Increase in the ratio of NaOH used increased the cold water solubility ( $P<0.001$ ), cold water swelling power ( $P<0.001$ ), peaktime ( $P<0.001$ ) but decreased peak viscosity ( $P<0.01$ ), pasting temperature ( $P<0.001$ ), breakdown ( $P<0.01$ ) and final viscosity ( $P<0.05$ ). It was found that ethanol did not affect ( $P>0.05$ ) the above mentioned responses. The thermal profile for GCWS sago starch produced with NaOH:starch (3:1) showed no gelatinization endotherm between 25°C and 100°C. Morphology study indicated that increase in NaOH induced the swelling of starch granules to rupture, whereas increase of ethanol and cross-linking reagent reduced swelling and preserved the granular structure of the starch. Increase in ethanol exerted pronounced effect in preventing the starch granules from rupturing. The best combination treatment was identified as 0.05 % cross-linking reagent, 60 % ethanol and NaOH:starch (3:1) with the highest cold water solubility and cold water swelling power while maintaining the granular structure of the starch.*

## ISI KANDUNGAN

	<b>Halaman</b>
<b>TAJUK</b>	i
<b>PENGAKUAN</b>	ii
<b>PENGESAHAN</b>	iii
<b>PENGHARGAAN</b>	iv
<b>ABSTRAK</b>	v
<b><i>ABSTRACT</i></b>	vi
<b>ISI KANDUNGAN</b>	vii
<b>SENARAI JADUAL</b>	ix
<b>SENARAI RAJAH</b>	x
<b>SENARAI SIMBOL/SINGKATAN</b>	xi
<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	xii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	1
1.1 Pengenalan	1
1.2 Objektif	3
<b>BAB 2 ULASAN KEPUSTAKAAN</b>	4
2.1 Modifikasi Fizikal Kanji	4
2.1.1 Kanji Tertehtur	4
2.1.2 Kanji Granular Cold Water Soluble (GCWS)	5
2.2 Modifikasi Kimia Kanji	6
2.2.1 Paut-silang	7
2.2.2 Agen paut-silang	9
2.3 Kanji Sagu	10
2.3.1 Sifat-sifat Fizikokimia Kanji Sagu	10
2.4 Metodologi Permukaan Respon (RSM)	12
2.4.1 Aplikasi RSM	13





<b>BAB 3 BAHAN DAN KAEDAH</b>	14
3.1 Bahan	14
3.2 Rekabentuk Eksperimen	14
3.3 Penyediaan Sampel	
3.3.1 Rawatan Paut-silang	14
3.3.2 Rawatan Alkohol-alkali	16
3.4 Keterlarutan Air Sejuk	16
3.5 Sifat Menggelembung Air Sejuk	17
3.6 Morfologi Kanji	17
3.7 Kalorimeter Pengimbas Pembezaan	17
3.8 Profil Pempesan	18
3.9 Analisis Statistik	18
<b>BAB 4 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	19
4.1 Kandungan Lembapan	19
4.2 Darjah Paut-silang	20
4.3 Kandungan Fosforus	20
4.4 Keterlarutan Air Sejuk Kanji GCWS	22
4.5 Kuasa Menggelembung Air Sejuk Kanji Sagu GCWS	23
4.6 Profil Pempesan	25
4.7 Rupabentuk Pes	27
4.8 Sifat Terma Kanji Sagu GCWS	29
4.9 Retrogradasi Kanji Sagu GCWS	32
4.10 Morfologi Kanji Sagu GCWS	36
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	38
5.1 Kesimpulan	38
5.2 Cadangan	39
<b>RUJUKAN</b>	40
<b>LAMPIRAN</b>	45

## SENARAI JADUAL

	<b>Halaman</b>
Jadual 2.1: Komposisi kimia kanji sagu	11
Jadual 3.1: Jumlah kombinasi rawatan yang dihasilkan oleh Rekabentuk Komposit Berpusat	15
Jadual 4.1: Kandungan lembapan bagi kanji sagu asli dan kanji sagu GCWS ( <i>Granular Cold Water Soluble</i> )	19
Jadual 4.2: Darjah paut silang bagi kanji sagu yang dirawat dengan reagen paut-silang.	20
Jadual 4.3: Kandungan fosforus bagi kanji sagu yang dirawat dengan reagen paut-silang	21
Jadual 4.4: Koefisien jangkaan untuk pembolehubah reagen paut-silang, etanol dan NaOH bagi keterlarutan air sejuk kanji sagu GCWS.	22
Jadual 4.5: Koefisien jangkaan untuk pembolehubah reagen paut-silang, etanol dan NaOH bagi kuasa menggelembung kanji sagu GCWS.	24
Jadual 4.6: Koefisien jangkaan untuk kelikatan puncak, masa puncak, suhu pempesan, <i>breakdown</i> , <i>setback</i> dan kelikatan akhir kanji sagu GCWS	28
Jadual 4.7: Suhu permulaan, suhu akhir, suhu puncak dan entalpi gelatinisasi kanji sagu GCWS.	30
Jadual 4.8: Suhu permulaan, suhu akhir, suhu puncak dan entalpi gelatinisasi kanji sagu GCWS .	34
Jadual 4.9: Suhu permulaan, suhu akhir, suhu puncak dan entalpi gelatinisasi kanji sagu GCWS selepas disimpan selama 7 hari pada suhu 5 °C	35

## SENARAI RAJAH

	<b>Halaman</b>
Rajah 2.1: Tindakbalas dan hasil paut-silang antara kanji dengan natrium trimetafosfat.	9
Rajah 2.2: Granul kanji sagu diperhati dibawah (A) mikroskopi cahaya (400X) dan (B) mikroskopi pengimbas electron (600X; skala bar = 20 $\mu\text{m}$ ).	12
Rajah 4.1: Permukaan respon bagi kesan nisbah NaOH: kanji dan paut-silang (%) ke atas keterlarutan air sejuk kanji sagu GCWS (%) pada 40% etanol.	23
Rajah 4.2: Permukaan respon bagi kesan nisbah NaOH: kanji dan paut-silang (%) ke atas kuasa menggelembung air sejuk kanji sagu GCWS (%) pada 40% etanol.	25
Rajah 4.3: Pes kanji, (A) kanji sagu asli; (B) kanji sagu GCWS dengan rawatan reagen paut-silang 0.05%, etanol 40% dan kanji:NaOH pada 1:1; (C) kanji sagu GCWS dengan rawatan reagen paut-silang 0.15%, etanol 40% dan kanji:NaOH pada 1:1; (D) kanji sagu GCWS dengan rawatan reagen paut-silang 0.05%, etanol 60%, kanji:NaOH pada 1:3; (E) kanji sagu GCWS dengan rawatan reagen paut-silang 0.18%, etanol 50% dan kanji:NaOH pada 1:2.	29
Rajah 4.4: Termogram DSC bagi kanji sagu GCWS dan kanji sagu asli	33
Rajah 4.5: Fotomikrograf kanji sagu asli dan kanji sagu GCWS dibawah pembesaran x 400 menggunakan mikroskopi cahaya.	37

## SENARAI SINGKATAN/SIMBOL

%	-	Peratus
°C	-	Suhu
DSC	-	<i>Differential Scanning Calorimeter</i>
GCWS	-	<i>Granular Cold Water Soluble</i>
RSM	-	<i>Respond Surface Methodology</i>
RVA	-	<i>Rapid Visco Analyzer</i>
µm	-	Berat jisim



## SENARAI LAMPIRAN

Lampiran A:	Keterlarutan air sejuk bagi sampel dengan modifikasi berbeza.	45
Lampiran B:	Kuasa menggelembung bagi sampel dengan modifikasi berbeza.	46
Lampiran C:	Kelikatan puncak bagi sampel dengan modifikasi berbeza.	47
Lampiran D:	Trough bagi sampel dengan modifikasi berbeza.	48
Lampiran E:	<i>Breakdown</i> bagi sampel dengan modifikasi berbeza.	49
Lampiran F:	Kelikatan akhir bagi sampel dengan modifikasi berbeza.	50
Lampiran G:	<i>Setback</i> bagi sampel dengan modifikasi berbeza.	51
Lampiran H:	Masa puncak bagi sampel dengan modifikasi berbeza.	52
Lampiran I:	Suhu pempesan bagi sampel dengan modifikasi berbeza.	53

## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Pengenalan

Perkembangan teknologi makanan telah membawa kepada peningkatan dalam penghasilan makanan segera. Makanan segera yang mudah disediakan atau tidak memerlukan penyediaan kini mendapat permintaan tinggi terutamanya daripada golongan remaja dan bekerja. Seiring dengan itu, permintaan terhadap ramuan yang digunakan untuk menyediakan makanan segera seperti kanji segera turut meningkat.

Kanji segera merupakan kanji yang telah digelatin dan dikeringkan. Kanji segera mengembang dalam air tanpa memerlukan penggunaan haba (Vaclavik & Christian, 2003). Kanji segera digunakan dalam penghasilan sup segera, puding and topping pizza. Walau bagaimanapun, kualiti makan kanji segera masih tidak dapat mencapai kualiti kanji yang dimasak dari segi rasa dalam mulut, kelikatan dan kekilauan (Chen & Jane, 1994). Kanji segera terbahagi kepada dua jenis iaitu; kanji bertekstur dan kanji GCWS (*granular cold water soluble*). Kanji bertekstur merupakan kanji segera yang mengandungi granul kanji yang pecah manakala granul kanji GCWS kekal tidak pecah selepas pemrosesan. Pemecahan granul menyebabkan



pengurangan kelikatan bagi kanji bertekstur. Di samping itu, penghasilan kanji bertekstur melalui kaedah pengeringan dram (*drum drying*) membawa kepada penampilan yang kurang memuaskan dan tidak licin (Rajagopalan & Seib, 1991).

Kanji GCWS yang mempunyai granul kanji yang sempurna memberikan kelikatan yang lebih tinggi, rasa mulut yang licin dan mempunyai toleransi yang lebih terhadap pemprosesan (Light, 1990). Terdapat pelbagai cara untuk menghasilkan kanji GCWS, rawatan alkohol-alkali merupakan salah satunya. Rawatan alkohol-alkali digunakan untuk menghasilkan kanji GCWS daripada kanji yang berlilin dan beramilosa tinggi (Jane & Seib, 1991). Oleh kerana kanji GCWS memberi kualiti makan yang lebih tinggi daripada kanji bertekstur, ia lebih digemari sebagai ramuan dalam makanan segera (Chen & Jane, 1994).

Modifikasi kimia biasanya dijalankan untuk mengatasi sifat-sifat tidak stabil kanji sago dan untuk meningkatkan sifat-sifat fizikalnya (Wattanachant *et al.*, 2003). Kanji sago mengalami pengurangan kelikatan yang banyak semasa pemanasan dan pemecahan, lebih-lebih lagi dalam keadaan asid. Selain itu, kanji menunjukkan retrogradasi tinggi yang membawa kepada peningkatan sinerisis. Paut silang merupakan salah satu modifikasi kimia bertujuan untuk mengatasi kekurangan yang terdapat pada kanji. Paut silang merupakan pembentukan ikatan kovalent antara dua molekul kanji untuk membentuk satu molekul yang lebih besar (Kulp & Ponte, 2000). Paut silang dapat mengelakkan pemecahan granul kanji semasa pemasakan, oleh itu ia memberi kelikatan yang lebih baik (Stephen & William, 2006).

Dalam kajian ini, kanji sago akan dikaji. Kanji sago diguna kerana sago dihasilkan dengan banyak di negara kita. Negeri Sarawak merupakan pengeksport sago terbesar ke Semenanjung Malaysia, Jepun, Singapura, dan Taiwan (Aziz, 2002). Kanji sago mempunyai kandungan amilosa yang tinggi iaitu sebanyak 27% berbanding jagung berlilin (*waxy corn*) 2%, ubi kayu 17%, beras 17% dan gandum 25% (Wattanachant *et al.*, 2002). Jane & Seib (1991) melaporkan bahawa rawatan alkohol-alkali boleh digunakan untuk menghasilkan kanji GCWS daripada kanji yang berlilin dan beramilosa tinggi. Oleh itu, rawatan alkohol-alkali adalah sesuai digunakan dengan kanji sago untuk menghasilkan kanji GCWS. Dalam rawatan alkohol-alkali, alkohol berfungsi untuk menghalang pemecahan granul kanji

manakala alkali berfungsi untuk meningkatkan pengembangan granul kanji (Chen & Jane, 1994).

Berdasarkan kajian lepas, kanji GCWS yang dihasilkan daripada kanji sagu melalui rawatan alkohol-alkali hanya mempunyai keterlarutan sebanyak 52% tanpa pemecahan granul kanji (Lee *et al.*, 2008). Oleh itu kajian lanjutan diperlukan untuk meningkatkan peratus keterlarutan tanpa pemecahan granul di samping mempunyai sifat-sifat fizikokimia yang diingini. Penggabungan rawatan paut silang dipercayai dapat mengelakkan pemecahan granul kanji semasa penghasilan kanji GCWS melalui rawatan alkohol-alkali.

## **1.2 Objektif**

Kajian ini dijalankan untuk mendapatkan kanji segera yang mempunyai keterlarutan yang lebih tinggi serta integriti granul yang sempurna daripada kajian-kajian lepas. Objektif-objektif kajian ini ialah:

- Mengkaji kesan gabungan paut silang dan rawatan alkohol-alkali ke atas sifat fizikokimia dan integriti granul kanji sagu.
- Untuk mengenalpasti satu gabungan rawatan paut silang dan alkohol-alkali yang dapat menghasilkan kanji sagu GCWS dengan keterlarutan air sejuk tinggi dan mempunyai granul kanji sempurna.



## BAB 2

### ULASAN KEPUSTAKAAN

#### 2.1 Modifikasi Fizikal Kanji

Kanji boleh dimodifikasi secara fizikal untuk memperbaiki keterlarutan dan untuk mengubah saiz partikel. Keperluan rawatan haba dan kimia untuk menyuraikan granul mungkin merupakan masalah bagi beberapa aplikasi. Contohnya, penyuraian kanji jagung beramilosa tinggi memerlukan suhu pemprosesan yang tinggi, yang mungkin memerlukan rekabentuk peralatan yang spesifik dan tidak sesuai untuk ramuan yang lain dalam campuran (Albertsson & Huang, 1995). Beberapa ramuan aktif yang terdapat dalam campuran kanji tersebut adalah peka kepada haba dan mudah meruap. Ramuan tersebut mungkin termusnah disebabkan pemprosesan haba yang bertujuan untuk menyuraikan kanji. Dalam kes-kes sebegini, kanji larut air sejuk (*cold-water soluble*) adalah alternatif yang sesuai. Terdapat dua jenis kanji larut air sejuk, iaitu kanji bertekstur dan kanji GCWS.

##### 2.1.1 Kanji Tertekstur

Kanji bertekstur merupakan salah satu jenis kanji segera yang telah digelatin dan kemudian dikeringkan. Ia boleh mengembang kemudiannya tanpa penggunaan haba. Kanji bertekstur wujud dalam pelbagai jenis makanan, seperti pudding segera. Kanji bertekstur boleh larut dalam air sejuk dan boleh memekat tanpa penggunaan haba. Granul kanji boleh dimasak dan dikeringkan dan menyerap air tanpa



memerlukan pemanasan semula. Granul kanji bertekstur mengalami perubahan yang tidak boleh berbalik (*irreversible*) dan tidak boleh kembali kepada keadaan asal selepas rawatan (Vaclavik & Christian, 2003). Oleh kerana peruntuhan granul berlaku semasa proses pengelatinan dan pengeringan, kanji bertekstur dalam berat yang lebih diperlukan untuk memekatkan sejenis cecair.

Kanji bertekstur boleh disediakan melalui pra-pemasakan dan pengering dram (*drum-drying*) (Rajagopala & Seib, 1991). Kanji bertekstur, setelah dihidratkan, menunjukkan pengurangan dalam kelikatan, kurang kilau dan pes yang lebih berbintil berbanding pes kanji yang segar. Ini menunjukkan degradasi dan penggabungan semula berlaku semasa pemprosesan.

### **2.1.2 Kanji *Granular Cold Water Soluble* (GCWS)**

Bagi meningkatkan kelikatan and sifat-sifat fizikal, banyak teknologi telah dimajukan untuk menghasilkan kanji *granular cold water soluble* (GCWS). Kanji GCWS merupakan kanji segera yang mempunyai granul yang tidak terjejas. Kanji GCWS membekalkan kelikatan yang lebih tinggi, segera, dan tekstur yang lebih licin apabila dibanding dengan kanji bertekstur (Chen & Jane, 1994).

Struktur molekul dan sifat-sifat kanji GCWS telah dikaji. Berdasarkan kajian Jane *et al.* (1986) kanji GCWS yang disediakan melalui rawatan suhu tinggi pada akues kanji beralkohol mempamerkan corak pembelauan sinar-X jenis-V. Mekanisma ini mencadangkan bahawa apabila kanji semulajadi dirawat dengan alkohol akues pada suhu tinggi, struktur gandaan helix kanji menjadi satu helix. Apabila alkohol disingkirkan melalui pengeringan, ia meninggalkan kaviti kosong pada pertengahan helix. Ini menyebabkan granul kanji metastabil dan larut air-sejuk.

Rajagopalan dan Seib (1992) melaporkan corak sinar-X jenis-V bagi kanji GCWS yang disediakan melalui pemanasan kanji dalam propan-1,2-diol akues pada tekanan atmosferic. Akan tetapi, corak sinar-X bagi kanji gandum terpaut silang dan hidropropilasi adalah amorfus. Sifat-sifat pemekatan dan pengelatan kanji GCWS yang disediakan melalui pemanasan kanji dalam propan-1,2-diol akues pada tekanan atmosferic adalah sama dengan kanji asli tersebut.

## a) Penyediaan Kanji GCWS

Kanji GCWS boleh disediakan melalui beberapa kaedah. Pitchon *et al.* (1981) menerangkan proses menyediakan kanji GCWS menggunakan pengering-semburan (*spray-dryer*) yang dipasang dengan dua muncung bendalir. Sluri kanji diatomkan ke dalam ruangan tertutup melalui satu muncung dan stim daripada muncung yang satu lagi pada masa yang sama untuk memasak kanji tersebut. Granul kanji yang masak bergerak dengan laju dan meninggalkan ruangan itu dengan proses pengeringan-sembur

Kanji GCWS juga boleh dihasilkan melalui rawatan suhu tinggi bagi akues kanji beralkohol (Eastman & Moore, 1984). Kanji yang terhasil menunjukkan sekurang-kurangnya 50% keterlarutan dalam air sejuk. Cara ini tidak dapat digunakan untuk menghasilkan kanji GCWS daripada kanji berlilin kerana ia cenderung tergelatin semasa rawatan. Rajagopalan dan Seib (1992) menerangkan cara menyediakan kanji GCWS melalui pemanasan sluri kanji dalam campuran air dan polihidrik alkohol pada tekanan atmosfera. Produk yang terhasil mempunyai keterlarutan dalam air sejuk sebanyak 70-95%.

Kaedah-kaedah diatas tidak boleh digunakan untuk menghasilkan kanji GCWS daripada kanji beramilosa tinggi atau kanji berlilin (Chen & Jane, 1994). Rawatan alkohol-alkali oleh Jane dan Seib (1991) dalam penghasilan kanji GCWS didapati boleh diaplikasi bagi kanji berlilin dan beramilosa tinggi. Kaedah ini menggunakan campuran etanol dan alkali untuk merawat kanji dan mengembangkan granul kanji. Chen dan Jane (1994) melaporkan keterlarutan dalam lingkungan 11.7 dan 93.3% bagi kanji jagung berlilin dan amilosa yang tinggi disediakan dengan rawatan alkohol-alkali berbeza. Kesimpulan yang dicapai adalah keberkesanan kaedah rawatan alkohol-alkali bergantung terutamanya kepada jenis kanji yang diguna, kepekatan etanol dan natrium hidroksida dan suhu tindak balas.

## 2.2 Modifikasi Kimia Kanji

Kanji semulajadi dimodifikasi secara kimia untuk menghasilkan perubahan fizikal yang menderma kepada kestabilan penyimpanan, penampilan, dan prestasi semasa penyediaan makanan. Sifat tidak stabil semasa pemprosesan oleh kanji asli

merupakan satu faktor yang menghadkan penggunaan kanji asli dalam industry makanan. Antara sifat kanji asli yang tidak diingini ialah retrogradasi yang tinggi, peka kepada suhu, pH, dan senang terurai semasa pemprosesan (Hermansson & Svegmarm, 1996).

Secara umumnya, terdapat tiga sebab kanji modifikasi digunakan. Pertama, kanji modifikasi membekalkan atribut berfungsi dalam aplikasi makanan yang tidak dapat dibekalkan oleh kanji asli. Dalam campuran pudin, kanji memberikan keupayaan untuk memekat, tekstur pendek berkrim dan kesenangan jika ia adalah sistem segera. Kedua, kanji didapati dengan banyak dan sedia ada. Ketiga, kanji mempunyai kelebihan dari segi ekonomi dalam banyak aplikasi di mana ramuan yang lebih mahal seperti gam mungkin digunakan (Light, 1990).

### 2.2.1 Paut-silang

Paut silang dalam modifikasi kanji adalah bertujuan untuk mengukuhkan dengan cara ikatan kimia, ikatan hidrogen yang bertanggungjawab untuk integriti granul. Kanji fosfat ester yang dipaut silang mempunyai sifat-sifat yang sesuai untuk kegunaan industry. Kanji terpaut silang mempunyai lebih daya tahan terhadap pengelatinan dan pes yang dihasil daripadanya mempamerkan peningkatan kestabilan termal berbanding kanji tidak terubahsuai (Muhammad *et al.*, 2000). Apabila kanji asli dipanaskan dalam air melebihi suhu pengelatinan, ikatan hidrogen yang mengekalkan granul akan menjadi lemah. Ini membolehkan granul kanji mengembang dan tidak akan kembali ke bentuk asal. Apabila kanji dimasak berterusan granul yang mengembang akan pecah dan melepaskan molekul. Kelikatan akan menurun dan sol akan menjadi jelekatan dan bertekstur '*rubbery*' yang tidak sesuai untuk sistem makanan.

Sejauhmana dan bagaimana perubahan ini berlaku bergantung kepada beberapa faktor. Kanji berlilin dan akar mengembang dan memberi kelikatan yang lebih tinggi berbanding kanji bijirin seperti gandum dan jagung. Tetapi kelikatan kanji-kanji ini jatuh mendadak apabila dimasak berterusan dan mempunyai kecenderungan untuk membentuk tekstur '*rubbery*' jelekatan. Keasidan pemasakan juga memberi kesan yang nyata. Keadaan berasid mempercepat pengembangan

awal, menurunkan puncak kelikatan, meninggikan keruntuhan had kelikatan, dan menurunkan kelikatan muktamad.

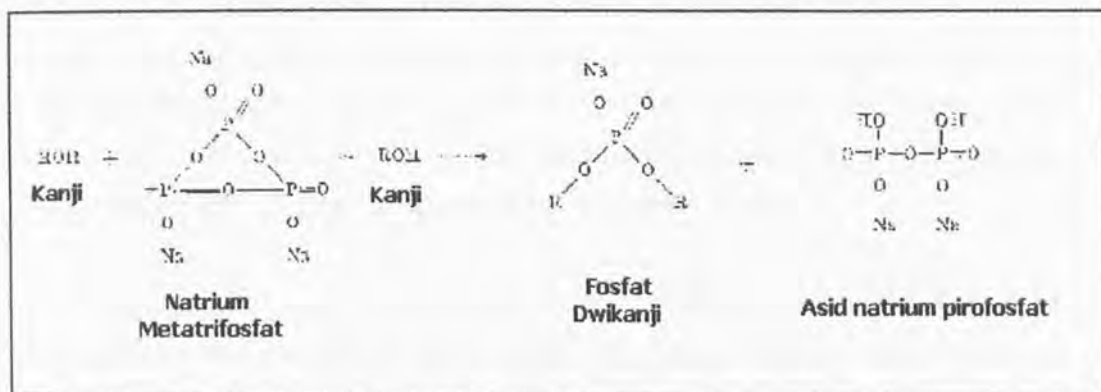
Kanji terpaut silang dimajukan untuk mengurangkan atau mengelakkan keruntuhan granul kanji semasa proses pemasakan. Ia membantu kanji memperoleh kelikatan muktamad yang lebih baik dan tekstur pes yang tidak kelekatan berbanding kepada kanji tidak termodifikasi. Objektif paut silang ialah menambah tindakan ikatan hidrogen yang bertanggungjawab untuk integriti granul, dengan menghasilkan ikatan kimia menghubungkan hidroksil molekul (Ratnayake & Jackson, 2008). Antara ikatan kimia yang terbabit ialah ikatan eter, ikatan fosfo-diester dan ikatan ester organik.

Terdapat dua jenis paut silang bagi kanji makanan iaitu adipate dwikanji (distarch adipate) dan fosfat dwikanji (distarch phodosphate). Adipate dwikanji terhasil dengan merawat sluri akues kanji dengan campuran asetik-adipik anhidrida untuk membentuk dwikanji adipate. Setelah tahap rawatan yang diinginkan telah dicapai, sluri akan dineutralkan dan kanji akan dicuci, dan dikeringkan. Satu lagi jenis kanji paut silang ialah fosfat dwikanji. Ia dihasilkan dengan merawat sluri akues granul kanji dalam keadaan berkali menggunakan oksiklorida fosfat atau natrium trimetafosfat. Seperti dengan adipate dwikanji, apabila tahap rawatan yang diinginkan telah dicapai, sluri akan dineutralkan dan kanji akan dicuci, dan dikeringkan (Stephen, 1995). Agent paut silang akan dimusnahkan melalui tindakbalas dengan hidroksil pada kanji atau hidrolisis oleh air dan alkali. Keluaran sampingan (*byproducts*) tindak balas seperti adipate, asetate atau garam fosfat dan natrium klorida disingkirkan apabila kanji dicuci.

Tahap paut silang yang berlaku dalam kanji makanan terubahsuai dikawal oleh regulasi. Dalam penyediaan adipate dwikanji, rawatan dihadkan kepada 0.12% adipik anhidrida, berat kanji. Adipate bebas dan kombinasi dalam kanji secara umumnya kurang daripada 0.09%. dalam penyediaan fosfat dwikanjim rawatan dihadkan kepada maximum 1% natrium trimetafosfat, berat kanji atau 0.1% fosfat oksiklorida. Fosfat kombinasi dan bebas, dikira sebagai fosforus, tidak boleh lebih daripada 0.04% dari berat dwikanji fosfat yang terhasil daripada kanji bijirin selain gandum (Stephen, 1995).

Had yang ditetapkan oleh regulasi menunjukkan rawatan atau tahap paut silang maximum yang diperlukan untuk mencapai sifat-sifat yang diinginkan dalam aplikasi makanan. Tahap paut silang dalam kanji makanan terubahsuai adalah sangat rendah. Dalam kebanyakan produk, mungkin hanya terdapat satu paut silang dalam setiap 1000-2000 atau lebih unit anhidraglukosa. Tahap yang rendah ini adalah disebabkan kerana hanya beberapa paut silang diperlukan untuk mencapai kesan yang nyata dalam sifat reologikal kanji masak (Light, 1990).

Kerr dan Cleveland (1958) menerangkan mekanisma paut silang dalam penghasilan kanji ester fosfat. Pada peringkat awal tindak balas paut silang, kelikatan pes meningkat dengan nyata. Apabila tindak balas paut silang berterusan, kelikatan mencapai satu puncak dan kemudiannya menurun ke nilai yang sangat rendah. Ini disebabkan pengurangan progresif dalam keupayaan menjadi lebih terpaut silang. Pada peringkat akhir paut silang kanji menjadi tidak terlarut. Kanji dalam granul kanji mempunyai bilangan kumpulan fosfat dwikanji yang mencukupi untuk tidak mengelatin walaupun dididih dalam air. Rajah dibawah menunjukkan tindak balas antara kanji dengan natrium trimetafosfat.



Rajah 2.1: Tindakbalas dan hasil paut-silang antara kanji dengan natrium trimetafosfat.

(Sumber: Stephen, 1995)

### 2.2.2 Agent Paut-silang

Kanji gred makanan dipaut silang menggunakan agent seperti fosforus oksiklorida, natrium trimetafosfat, natrium tripolifosfat, epiklorohidrin, dan campuran adipik dan asetik anhidrida (Ratnayake & Jackson, 2008). Lim dan Seib (1993) mengkaji penyediaan kanji fosfat dan mendapati campuran garam fosfat (natrium

trimetafosfat (STMP) dan natrium tripolifosfat (STPP)) memberi hasil yang lebih memuaskan berbanding penggunaan STMP sahaja.

Kajian oleh Wattanachant *et al.* (2002) mendapati campuran garam fosfat pada 2% STMP dan 5% STPP adalah lebih efisien dalam paut silang berbanding fosforus oksiklorida atau epiklorohidrin dalam penyediaan kanji sago hidropropilasi-paut silang. Kajian oleh Muhammad *et al.* (2000) pula mendapati paut silang kanji dengan 2% STMP sahaja adalah tidak disyorkan kerana tindak balas paut silang susah dikawal pada pH 9 ke atas. Apabila 5% STPP digunakan untuk fosforilasi kanji sago, ia perlu ditindak balas pada pH 9. Pada tahap pH ini, kanji terfosforilasi mengandungi kurang daripada 0.4% P. Dengan campuran 2% STMP dan 5% STPP, fosforilasi kanji sago pada pH 9.5 ke atas adalah tidak disyorkan. Ini disebabkan tindak balas paut silang amat sensitif dibawah keadaan tersebut. Tindak balas pada pH 9.0-9.5 adalah paling optimal.

### 2.3 Kanji Sagu

Pokok sagu (*Metroxylon spp.*) merupakan pokok dengan ketinggian 6-14 meter. Habitat pokok sagu adalah di kawasan berpaya dan bertanah asid (Flach & Schuilling, 1989). Kandungan kanji pada pit pokok kanji adalah antara 18.8% dan 38.8% (berat bersih) bagi *M.sagu* (Wina *et al.*, 1986). Kanji boleh terkumpul pada batang pokok sagu sehingga 250 kg (berat kering) (Flach & Schuilling, 1989).

Berdasarkan kajian Aziz (2002), sagu merupakan tanaman minor di Semenanjung Malaysia, iaitu kurang daripada 1% jumlah tanah pertanian. Kawasan penanaman sagu terbesar di Malaysia terletak di Sarawak. Sarawak kini merupakan pengeksport terbesar bagi sagu. Sebanyak 25,000 hingga 40,000 tan produk sago dieksport setiap tahun ke Semenanjung, Taiwan, Singapura dan Jepun.

#### 2.3.1 Sifat-Sifat Fizikokimia Kanji Sagu

Ahmad *et al.* (1999) menyimpulkan bahawa komposisi proximat dan sifat-sifat fizikokimia kanji sagu daripada berlainan asal tidak menunjukkan perbezaan yang ketara, kecuali berat molekul dalam pechan amilosa dan juga kandungan amilosa. Jadual 2.1 dibawah menunjukkan komposisi kimia kanji sagu.

Jadual 2.1: Komposisi kimia kanji sagu.

Unsur-unsur	Berat Kering (%)
Amilosa	27
Amilopektin	73
Lipid	0.1
Protein (kandungan nitrogen x 6.25)	0.1
Abu	0.2
Fosforus	0.02

Sumber: Singh *et al.*, 2007.

Granul kanji sagu mempunyai lingkungan saiz yang luas, antara 10 dan 50  $\mu\text{m}$  diameter. Purata diameter granul ialah 32  $\mu\text{m}$  (Wang *et al.*, 1995). Granul kanji sagu secara umumnya lebih besar daripada beras (3 hingga 10  $\mu\text{m}$ ), jagung (5 hingga 20  $\mu\text{m}$ ), gandum (22 hingga 36  $\mu\text{m}$ ) atau ubi kayu (5 hingga 25  $\mu\text{m}$ ), tetapi lebih kecil berbanding ubi kentang (15 hingga 85  $\mu\text{m}$ ). Permukaan granul adalah licin tetapi Sim *et al.* (1991) memerhati terdapat pit pada beberapa granul kanji sagu. Granul adalah berbentuk bujur atau poligonal seperti ditunjukkan pada Rajah 2.2.

Kanji sagu menunjukkan corak pembelauan sinaran-X jenis C (campuran 65% jenis A dan 35% jenis B). Kandungan fosforus dalam kanji sagu adalah dalam lingkungan 86 dan 97 bahagian per juta (*parts per million, ppm*) (Takeda *et al.*, 1989). Kandungan amilosa berbeza antara 24% dan 31%. Berdasarkan kepada keputusan Ahmad *et al.* (1999), perbezaan dalam kandungan amilosa berkemungkinan besar timbul kesan daripada sagu diproses pada peringkat pertumbuhan yang berbeza. Suhu pengelatinan kanji sagu yang diperoleh menggunakan kalorimetri pengimbas pembezaan berada dalam lingkungan 69.5 hingga 70.2°C. Suhu pengelatinan kanji sagu agak tinggi berbanding dengan jagung, kacang, dan ubi kentang, tetapi rendah apabila dibanding kepada keledak dan keladi (Ahmad *et al.*, 1999).

Beberapa kajian (Takeda *et al.*, 1989; Sim *et al.*, 1991; Ahmad *et al.*, 1999) terhadap sifat-sifat pempesan dan reologi kanji sagu telah dijalankan. Dua jenis sifat pempesan telah diperhati bagi kanji sagu (Ahmad *et al.*, 1999). Pemerhatian oleh Lee *et al.* (2008) mendapati kanji sagu mempunyai profil pempesan yang sama



## Rujukan

- Abdul-Aziz, S. 2002. Sago starch and its utilization. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. **94** (6): 526-529.
- Ahmad, F. B., Williams, P. A., Doublier, J. L., Durand, S. and Buleon, A. 1999. Physico-chemical characterisation of sago starch. *Carbohydrate Polymers*. **38**: 361-170.
- Albertsson, A. C. and Huang, S. J. 1995. *Degradable polymers, recycling, and plastics waste mangement*. New York: CRC Press.
- Aziz, A., Daik, R., Ghani, M.A., Daud, N,I,N. and Yamin, B. M. 2004. Hydroxypropylation and acetylation of sago starch. *Malaysian Journal of Chemistry*. **6** (1):48-54.
- Bas, D. and Boyaci, I.H. 2007. Modeling and optimization I: usability of response surface methodology. *Journal of Food Engineering*. **78**: 836-845.
- Bello-Perez, L. A., Acapulco, R.R.M. and Irapuato, O. P. 2000. Preparation and properties of physically modified banana starch prepared by alcoholic-alkaline treatment. *Starch/starke*. **52** (5): 154-159.
- Branen, A. L., Davidson, P.M. and Salminen, S. 2002. *Food Additives*. New York: Marcel Dekker.
- Box, G. E. P. and Wilson, K.G. 1951. On the experimental attainment of optimum conditions. *Journal of the Royal Statistical Society*. **13** (1): 618-622.
- Chen, J. and Jane, J. 1994. Properties of granular cold-water-soluble starches prepared by alcoholic-alkaline treatments. *Cereal Chemistry*. **71** (6): 623-626.
- Chung, H.J., Woo, K.S., Lim, S.T. 2004. Glass Transition and Enthalpy Relaxation of Cross-Linked Corn Starches. *Journal of Carbohydrate Polymers*. **55**: 9-15.
- Corzo, O. and Gomez, E.R. 2004. Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology. *Journal of Food Engineering*. **64**:213-219.

- Cowpe, J.S., Astin, J.S., Pilkington, R.D. and Hill, A.E. 2007. Application of Response Surface Methodology to laser induced breakdown spectroscopy: influence of hardware configuration. *Spectrochimica Acta Part B*. **62**: 1335-1342.
- Eastman, J.E. 1987. *Cold water swelling starch composition*. US Patent 4,634,596.
- Eastman, J.E. and Moore, C. O. 1984. *Cold-water-soluble granular starch for gelled food compositions*. US Patent 4,465,702.
- Fennema, O.R. 1996. *Food chemistry*. New York: Marcel Dekker.
- Flach, M. and Schuilling, D. L. 1989. Revival of an ancient starch crop: a review of the agronomy of the sago palm. *Agroforestry Systems*. **7**: 259-281.
- Gobbetti, M., Lanciotti, R., Angelis, M.D., Corbo, M.R., Massini, R. and Fox, P.F. 1999. Study of the effects of temperature, pH and NaCl on the peptidase activities of non-starter lactic acid bacteria (NSLAB) by quadratic response surface methodology. *International Dairy Journal*. **9**:865-875.
- Hamanishi, T., Hirao, K., Nishizawa, Y., Sorimachi, H., Kainuma, K. and Takahashi, S. 2002. Physicochemical properties of sago starch compared with various commercial starches. Tokyo: Universal Academy Press Inc.
- Hermansson, A. M. and Svegmak, K. 1996. Developments in the understanding of starch functionality. *Trends in Food Science and Technology*. **7**: 345-353.
- Hui, Y.H. 2006. *Handbook of food science, technology, and engineering*. Florida: CRC Press.
- Jane, J., Craig, S.A.S., Seib, P.A. and Hosney, R.C. 1986. Characterization of granular cold water soluble starch. *Starch/starke*. **38**: 258-263.
- Jane, J.L. and Seib, P.A. 1991. *Preparation of granular cold water swelling/soluble starches by alcoholic-alkali treatments*. US Patent 5,057,157.
- Jyothi, A. N., Moorthy, S.N. and Rajasekharan, K.N. 2006. Effect of cross-linking with epichlorohydrin on the properties of cassava (*Manihot esculenta Crantz*) starch. *Starch/ Stärke*. **58**: 292-299.

- Karim, A.A., Nadiha, M.Z., Chen, F.K., Phuah, Y.P., Chui, Y.M. and Fazilah, A. 2008. Pasting and retrogradation properties of alkali-treated sago (*Metroxylon sagu*) starch. *Food Hydrocolloids*. **22**(6): 1044-1053.
- Karim, A. A., Tie, A.P.L., Mananm D.M.A. and Zaidul, I.S.M. 2008. Starch from the sago (*Metroxylon sagu*) palm tree-properties, prospects, and challenges as a new industrial source for food and other uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. **7**: 215-228.
- Kerr, R.W. and Cleveland, F.C. 1958. *Food composition*. US Patent 2,852,393.
- Kulp, K. and Ponte, J. G. 2000. *Handbook of cereal science and technology*. New York: Marcel Dekker.
- Lai, L.N., Karim, A.A., Norziah, M.H. and Seow, C.C. 2004. Effects of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> and NaOH on pasting properties of selected native cereal starches. *Journal of Food Science*. **69**: 249-256.
- Lancaster, E.B. and Conway, H.F. 1968. Alkali sorption and swelling of starch. *Cereal Science Today*. **13**: 248-253.
- Lee, J. S., Kuan, Y.H. and Bujang, A. 2008. *Optimization of GCWS sago starch Prepared by alcoholic alkaline treatment*. Paper presented in International Conference on Food Science & Technology-The Challenge of Universal Food Quality and Safely Regime.
- Lee, J.S., Kumar, R.N., Rozman, H.D., Azemi, B.M.N. 2005. Pasting, swelling and solubility properties of UV initiated starch-graft-poly(AA). *Food Chemistry*. **91**: 203-211.
- Light, J.M. 1990. Modified food starches: why, where, and how. *Cereal Foods World*. **35**: 1081-1084.
- Lim, S. and Seib, P.A. 1993. Preparation and pasting properties of wheat and corn starch Phospate. *Cereal Chemistry*. **70** (2): 137-144.
- Lionetto, F., Maffezzoli, A., Ottenhof, M.A., Farhat, I.A., Mitchell, J.R. 2006. Ultrasonic investigation of wheat starch retrogradation. *Journal of Food Engineering*. **75**: 258-266.

- Muhammad, K., Hussin, F., Man, Y.C., Ghazali, H.M. and Kennedy, J.F. 2000. Effect of pH on phosphorylation of sago starch. *Carbohydrate Polymers*. **42**: 85-90.
- Oosten, B.J. Substantial rise of gelatinization temperature of starch by adding hydroxide. *Starch/Starke*. **31**: 228-236.
- Pathama, C., Saiyavit, V., Pavinee, C. 2000. Effect of Crosslinking on Thermal and Microscopic Transitions of Rice Starch. *LWT-Food Science and Technology*. **33**: 276-284.
- Pitchon, E., O'Rourke, J. D. and Joseph, T. H. 1981. *Process for cooking or gelatinizing materials*. US Patent 4,280,851.
- Rajagopalan, S. and Seib, P.A. 1991. *Process for the preparation of granular cold water soluble starch*. US Patent 5037929.
- Rajagopalan, S. and Seib, P.A. 1992. Granular cold-water soluble starches prepared at atmospheric pressure. *Journal of Food Science*. **16**: 13
- Rani, S.M.R. and Bhattacharya, K.R. 1995. Rheology of rice flour pastes: Relationship of paste breakdown to rice quality, and a simplified brabender viscograph test. *Journal of Textural Studies*. **26**: 587-598
- Ratnayake, W.S. and Jackson, D.S. 2008. Phase transition of cross-linked and hydroxypropylated Corn (*Zea mays* L.) Starches. *LWT*. **41**: 346-358.
- Sim, S.L., Oates, C.G. and Wong, H.A. 1991. Studies on sago starch part 1: characterization and comparison of sago starches obtained from *Metroxylon sagu* processed at different times. *Starch/Starke*. **43** (12): 459-466.
- Singh, J., Kaur, L. and McCarthy, O, J. 2007. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications-a review. *Food Hydrocolloids*. **21**: 1-22.
- Stephen, A.M. 1995. *Food polysaccharides and their applications*. New York: Marcel Dekker.
- Stephen, A.M. and Williams, P.A. 2006. *Food polysaccharides and their applications*. Florida: CRC Press.



- Takeda, Y., Takeda, C., Suzuki, A. and Hizukuri, S. 1989. Structures and properties of sago starches with low and high viscosities on amylography. *Journal of Food Science* **54**(1):177–82.
- Vaclavik, V.A. and Christian, E.W. 2003. *Essentials of food science*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Vandeputte, G.E., Vermeylen, R., Geeros, J. and Delcour, J.A. 2003. Rice starches. III. Structural aspects provide insight in amylopectin retrogradation properties and gel texture. *Journal of Cereal Science*. **38**: 61-68
- Wina, E., Evans, A.J. and Lowry, J.B. 1986. The composition of pith from the sago palms *Metroxylon sagu* and *Arenga pinna*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. **37**(4): 352–358.
- Wang W.J., Powell A.D. and Oates, C.G. 1995. Pattern of enzyme hydrolysis in raw sago starch: effects of processing history. *Carbohydrate Polymer*. **26**:91–97.
- Wattanachant, S., Muhammad, K., Hashim, D.M. and Rahmam, R.A. 2003. Effect of crosslinking reagents and hydroxypropylation levels on dual modified sago starch properties. *Food Chemistry*. **80**: 463-471.
- Wattanachant, S., Muhammad, S.K.S., Hashim, D. M. and Rahman, R.A. 2002. Suitability of sago starch as a base for dual-modification. *Songklanakarin Journal Science Technology*. **24**(3): 421-437.