

KAJIAN PERBANDINGAN SIFAT-SIFAT FIZIKAL SEPERTI SORPSI
AIR, KETUMPATAN PUKAL DAN PEMAMPATAN BAGI KANJI BERAS
SEMULAJADI DAN KANJI BERAS HIDROKSIPROPIL.

OLEH

M A N J U L A M U N I A N D Y

DISERTASI UNTUK MEMENUHI SYARAT-SYARAT BAGI
PENGANUGERAHAN IJAZAH SARJANA MUDA TEKNOLOGI INDUSTRI
DENGAN KEPUJIAN (TEKNOLOGI INDUSTRI MAKANAN).

PUSAT PENGAJIAN
TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA
MAY 1988.

..... Dedicated to my parents
and
loved ones

PENGHARGAAN

Pada awalnya menulis disertasi ini merupakan suatu kesulitan bagi saya. Bantuan dan tunjuk ajar daripada beberapa orang telah memudahkan penulisan disertasi ini.

Mula-mula sekali saya ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada DR. C. C. SEOW. Beliau telah meluangkan banyak masa dan menasihati saya agar perjalanan projek saya licin. Beliau juga memberikan banyak bantuan dan ajaran semasa saya menulis disertasi saya ini.

Seterusnya saya ingin mengucapkan terima kasih kepada saudari THEVAMALAR dan saudara NAGINDRAN. Mereka telah banyak memberikan nasihat dan tunjuk ajar sepanjang masa projek ini dijalankan.

Bantuan yang diberikan oleh pembantu makmal Puan PEK SAIK dan saudara SADALI sangat saya hargai.

Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada KELUARGA SAYA dan saudara DAVETHU D. JACOB kerana segala bantuan dan tunjuk ajar yang diberikan.

Tanpa bantuan dari pihak-pihak ini saya tentu sekali tidak berinspirasi untuk menulis disertasi ini.

MANJULA MUNIANDY
MAC, 1988.

KANDUNGAN**MUKASURAT**

Ringkasan	i
1. Pengenalan	1
1.1 Granul Kanji	1
1.2 Kimia dan Penggunaan Kanji	5
1.3 Pengubahsuaian Kanji	11
1.3.1 Pengubahsuaian fizikal	11
1.3.2 Pengubahsuaian kimia	11
1.3.3 Pengubahsuaian genetik	15
1.4 Sifat-sifat Fizikal Serbuk Kanji	15
1.4.1 Aktiviti air dan isoterma sorpsi air bagi bahan makanan	15
1.4.2 Ketumpatan pukal	25
1.4.3 Pemampatan	32
1.4.4 Sifat-sifat fizikal yang lain	38
1.5 Objektif-objektif Kajian Ini	39
2. Bahan Dan Kaedah	40
2.1 Kanji Hidroksipropil	40
2.2 Penentuan Penukargantian Molar untuk Kanji Hidroksipropil	41
2.3 Prapengeringan untuk Mencapai Kandungan Lembapan Air	42
2.4 Isoterma Adsorpsi Air	43
2.5 Ketumpatan Pukal	45
2.6 Pemampatan	46
3 Keputusan Dan Perbincangan	47
3.1 Penukargantian Molar	47
3.2 Kelakuan Adsorpsi Air	49
3.2.1 Kadar adsorpsi air	49

3.2.2	Isoterma adsorpsi air	53
3.3	Ketumpatan Pukal	60
3.3.1	Kesan aktiviti air dan penukargantian molar terhadap ketumpatan pukal regang	61
3.3.2	Kesan aktiviti air dan penukargantian molar terhadap ketumpatan pukal padat	65
3.4	Pemampatan	69
3.4.1	Kesan aktiviti air terhadap pecahan penurunan isipadu maksimum (Y_{maks})	73
3.4.2	Kesan penukargantian molar terhadap pecahan penurunan isipadu maksimum (Y_{maks})	73
3.4.3	Kesan aktiviti air terhadap kebolehmampatan	76
3.4.4	Kesan penukargantian molar terhadap kebolehmampatan	78
4.	Kesimpulan	81
5.	Cadangan untuk kajian lanjutan	83
	Appendix 1	
	Appendix 2	

RINGKASAN

Kanji tepung beras boleh dikaji samada bila ia dalam keadaan semulajadi atau terubahsuaikan. Kaedah pengubahsuaian yang digunakan dalam kajian ini adalah kaedah penghidroksipropilan. Sifat-sifat fizikal yang dikaji adalah sorpsi air, ketumpatan pukal dan pemampatan. Kajian ini menunjukkan bahawa sifat adsorpsi air semakin meningkat dengan bertambahnya paras penukargantian molar. Sebagaimana yang dijangka nilai monolapisan dan luas permukaan penjerapan air turut meningkat dengan paras penukargantian molar. Ketumpatan pukal regang dan padat memberikan corak yang sama pada paras penukargantian dan aktiviti air yang berbeza. Ketumpatan pukal mengurang pada penukargantian molar 4% dan meningkat pada 8%. Pecahan penurunan isipadu maksimum memberikan hubungan linear dengan aktiviti air dan penukargantian molar. Kadar kebolehmampatan mencapai suatu nilai minimum bagi setiap penukargantian molar. Nilai minimum ini mengurang dengan bertambahnya penukargantian molar. Kadar kebolehmampatan lebih cepat bila penukargantian molar meningkat. Kanji beras boleh dimampatkan lebih cepat pada aktiviti air yang tinggi.

1. Pengenalan

1.1 Granul Kanji

Bila granul-granul kanji dibentuk di dalam tumbuh-tumbuhan, ianya akan terkumpul di dalam amiloplast sel. Ini akan membentuk granul-granul kanji. Granul kanji daripada tumbuh-tumbuhan yang berbeza mempunyai bentuk dan saiz yang berlainan. Diameternya berubah dari 2 hingga 150 mikrometer (Gaman, 1969).

Granul-granul daripada beras adalah lebih kecil daripada semua granul yang dihasilkan oleh tumbuh-tumbuhan; ia berpurata garis pusat 3-8 mikrometer dan berbentuk poligonal. Granul daripada ubi kayu dan jagung adalah bergaris pusat 12-25 mikrometer. Granul ubi kayu berbentuk bulat dan granul jagung adalah bulat atau poligonal.

Kanji gandum mempunyai dua jenis granul yang berbeza iaitu yang kecil berbentuk sfera dan bergaris pusat lebih kurang 10 mikrometer manakala granul yang lebih besar berbentuk diskus dan garis pusatnya adalah 35 mikrometer (Powell, 1973).

Granul kanji ubi kentang adalah besar dan boleh dicamkan dari bentuk tiramnya. Ia juga mempunyai bentuk "striation" yang spesifik. Granul kanji kebanyakan tumbuh-tumbuhan mempunyai lebih kurang seperempat molekul amilosa dan tiga perempat molekul amilopektin (Meyer & Bernfeld, 1940). Walau bagaimanapun ada setengah tumbuh-tumbuhan yang berkebolehan membina

granul kanji yang mengandungi kadaran yang tinggi sama ada dalam molekul amilosa atau amilopektin. Pengkupelan residu glukosa dengan ikatan 1-4, bergantung kepada kehadiran suatu jenis enzim yang spesifik di dalam tumbuh-tumbuhan dan ikatan 1-6, pula bergantung pada enzim yang lain tetapi spesifik juga (Sandstedt, 1965 ; Schoch, 1962). Jumlah relatif kedua-dua molekul amilosa dan amilopektin di dalam tumbuh-tumbuhan merujuk secara terus kepada kandungan nisbah kedua-dua jenis enzim yang spesifik itu, suatu sifat yang digenerasikan oleh gene-gene. Kadaran kandungan kedua-dua jenis kanji ini mempengaruhi sifat kedua-dua molekul ini semasa memasak (Sherrington, 1977).

Suatu jenis kanji jagung yang istimewa dalam pasaran mengandungi molekul amilopektin sahaja (Schopmeyer, 1962). Kanji jagung ini dikenali sebagai kanji berlilin atau kanji yang tidak bergel, dan dipasarkan di bawah nama Amioca dan Clearjel. Amilopektin bercabang adalah komposisi utama dalam padi glutinous Cina. Suatu jenis jagung telah dihasilkan melalui pembiakan selektif yang menghasilkan kanji, terutamanya amilosa. Kandungan amilosa yang tinggi dalam kanji jagung ini, membuatkan kanji ini membentuk bahan pembungkusan yang lutsinar dan boleh dimakan.

Pemeriksaan mikroskopik ke atas molekul kanji memberikan bukti kepada pengaturan molekul kanji di dalamnya. Untuk kajian mikroskopik, punca granul kanji

yang segar dan mudah diperolehi adalah suatu potongan ubi kentang. Granul kanji mudah dibasuh keluar daripada sel-sel yang dipotong. Untuk kajian mikroskop, granul kanji boleh direndam dalam air ataupun gliserina. Striasi konsentrik adalah jelas pada permukaan setengah-tengah granul (Badenhuizen, 1965). Bila cahaya polar dipancarkan melalui granul-granul nampaknya dibahagikan kepada empat bahagian yang berwarna cerah. Suatu pasangan bahagian bertentangan adalah satu warna, yang sepasangan lagi warna kedua. Ini adalah sifat bahan yang sangat rapi penyusunannya (Marrs, 1975).

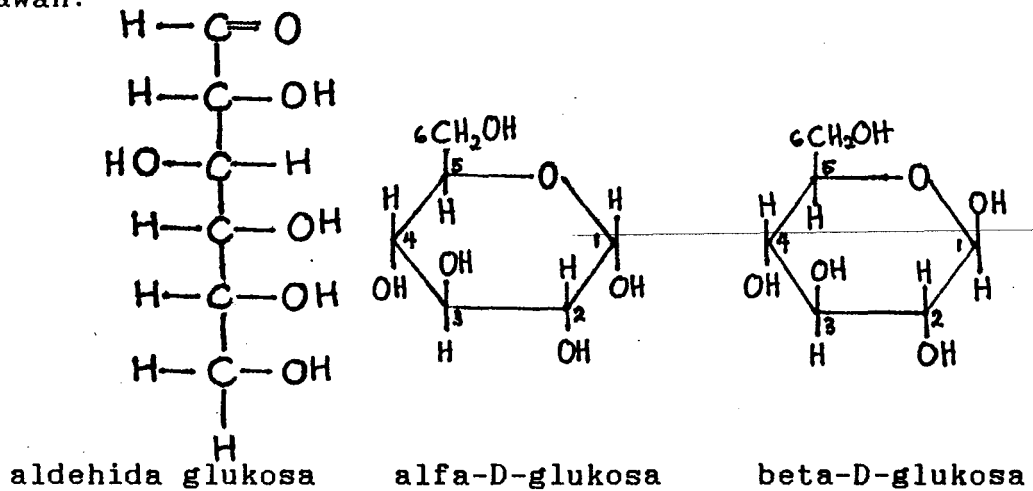
Granul kanji adalah separa dihadamkan oleh asid atau enzim dan menunjukkan bahawa bukan semua bahagian granul yang mempunyai kerintangan yang sama terhadap asid atau enzim. Striasi konsentrik dan retakan radial memberikan pembentuk rupa pai (Sandstedt, 1965; Schoch, 1962). Ini menunjukkan bahawa kanji di dalam granul tidak teratur secara seragam atau daya ikatan berbeza. Walaupun keadaan ini hadir, penyusunan di dalam granul adalah nyata. Granul-granul ini dipercayai dibina daripada molekul-molekul kanji yang diatitkan dalam cincin-cincin konsentrik yang mana bila dilihat keratan rentas kelihatan seperti sepotongan bawang (Osman, 1959).

Molekul-molekul kanji yang membentuk satu lapisan dikumpulkan dalam fesyen radial dan biasanya adalah selari kepada satu sama lain. Beberapa bahagian

daripada cincin itu dipercayai berada dalam keadaan mampat dan bentuk hablur yang tersusun baik. Ikatan-ikatan hidrogen dipercayai mengikat molekul-molekul kanji bersama di bahagian yang tersusun baik dan juga di kawasan lain. Pembungkusan yang rapat dan tersusun molekul-molekul kanji di dalam granul-granul akan memberikan sifat-sifat berfungsi untuk kanji dalam pemprosesan makanan. Di dalam granul, kanji memberikan sumber tenaga yang tak larut yang boleh diperolehi oleh tumbuh-tumbuhan melalui aktiviti enzim yang bertahap (Akazawa, 1965).

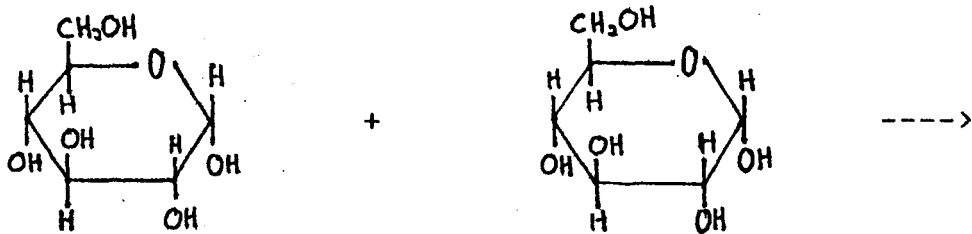
1.2 Kimia dan Penggunaan Kanji

Molekul-molekul kanji adalah polimer dari gula ringkas (atau monosakarida), yaitu glukosa. Glukosa adalah suatu heksosa, yaitu suatu gula dengan enam atom karbon di dalam molekulnya. Gumpalan atom yang membina setiap molekul glukosa adalah disusun ketat. Molekul glukosa di dalam larutan mempunyai kedua-dua struktur aldehyd dan piranosa, seperti yang digambarkan di bawah:



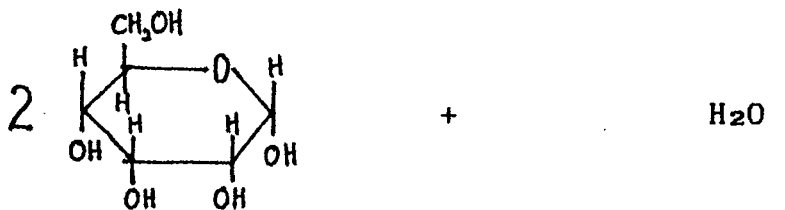
Struktur cincin glukosa adalah lebih apabila berbanding dengan struktur linear (Sanstedt, 1965). Dua struktur tertutup (cincin), alfa-D-glukosa dan beta-D-glukosa, berbeza hanya dalam orientasi kumpulan hidroksil pada atom karbon 1. Di dalam bentuk alfa, kumpulan hidroksil ini diorientasikan pada arah yang sama seperti hidroksil pada karbon 4. Di dalam bentuk beta, kumpulan hidroksil pada karbon-karbon 1 dan 4 diorientasikan pada arah yang bertentangan. Suatu molekul kanji adalah dibina daripada glukosa dengan

struktur piranosa, dan dalam bentuk alfa berbanding dengan bentuk beta. Dua molekul alfa-D-glukosa dihubungkan melalui karbon 1 pada satu molekul dan karbon 4 molekul lain (dengan ikatan glukosidik dan penghasilan satu molekul air), menghasilkan satu molekul disakarida, maltosa seperti digambarkan:



alfa-D-glukopiranososa

alfa-D-glukopiranososa



maltosa

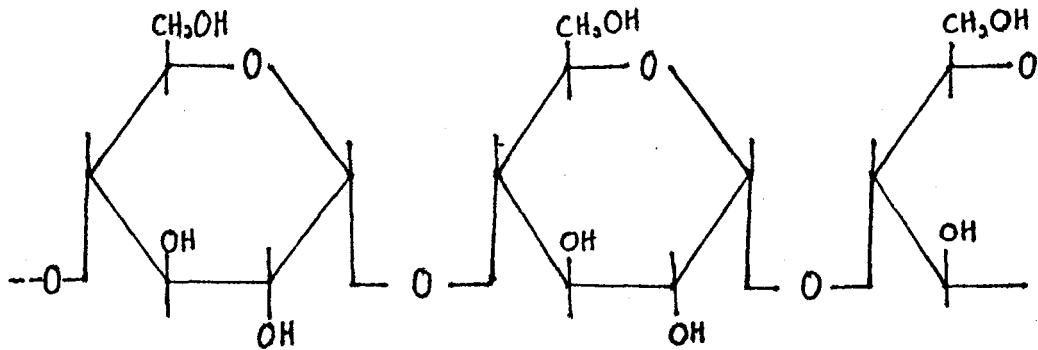
air

Tiga molekul glukosa dihubungkan melalui ikatan seperti maltosa untuk memberikan suatu triosa. Suatu rangkaian molekul glukosa yang diikat begini adalah dikenali sebagai dekstrin.

Bila unit-unit glukosa dalam suatu molekul melebihi suatu bilangan tertentu, polimer yang

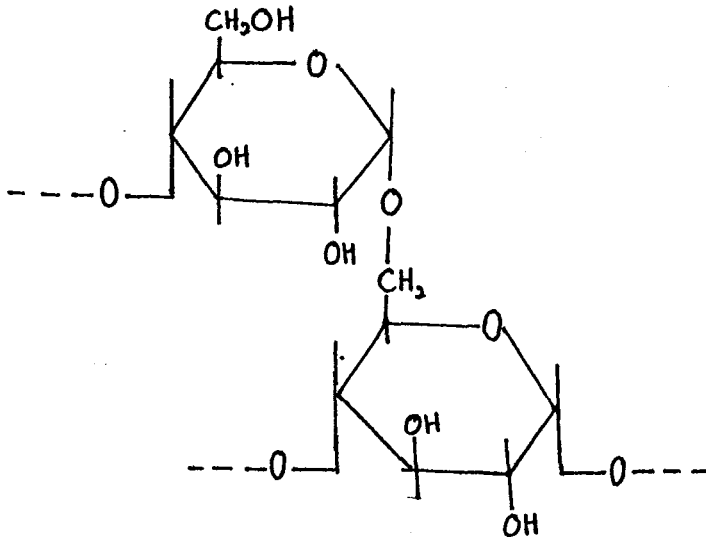
dihasilkan adalah dipanggil kanji. Anggaran bilangan unit glukosa di dalam molekul-molekul kanji berbeza dari empat ratus ke empat ribu di dalam setengah-setengah jenis kanji kepada beberapa ratus di dalam yang lain. Lebih kurang bilangan residu glukosanya, lebih larutlah sebatian tersebut. Maltosa dengan dua residu adalah boleh larut, begitu juga dengan dekstrin. Tetapi bila polimer adalah panjang, seperti dalam kanji, molekul terlalu besar untuk membentuk larutan sebenar (Marrs, 1975).

Dua jenis molekul kanji dihasilkan oleh tumbuh-tumbuhan. Di dalam beberapa molekul residu glukosa disatukan melalui ikatan 1-4 seperti dalam maltosa. Molekul kanji yang linear sebegini dikatakan sebagai amilosa (Foster, 1965). Sebahagian darinya ditunjukkan:



Bukan seperti amilosa, molekul amilopektin adalah bercabang-cabang (Powell, 1973). Pencabangan berlaku pada selang lima belas hingga tiga puluh residu glukosa. Ikatan antara karbon 1 dan karbon 6 residu

glukosa adalah seperti di bawah:



Pencabangan sebegini memberikan kesan bercabang kepada molekul-molekul amilopektin dan membuatkan kanji kurang lagi kelarutannya dalam air (Osman, 1959).

Molekul-molekul kanji terutamanya amilosa hadir di dalam air sebagai lingkaran rawak (Banks, 1973). Di dalam kehadiran beberapa sebatian lemak atau molekul iodin, kanji menjadi bentuk heliks dengan enam hingga tujuh residu glukosa membentuk setiap lingkaran. Ruangan di dalam setiap lingkaran memberikan penempatan bagi molekul-molekul iodin, dan kompleks ini membolehkan penggunaan ujian iodin untuk kanji. Warna kompleks ini bergantung pada panjang heliks dan bilangan molekul iodin yang terlibat. Jika heliks adalah panjang warnanya biru, jika pendek warnanya adalah merah.

Nisbah amilosa kepada amilopektin adalah bertanggungjawab amnya bagi sifat-sifat fizikal kanji. Nisbah ini berubah dari dua puluh lima unit amilosa

kepada tujuh puluh lima unit amilopektin dalam gandum, jagung dan shorgum, satu unit amilosa kepada sembilan puluh sembilan unit amilopektin. Dalam kanji beras pula nisbah amilosa kepada amilopektin adalah tujuh belas kepada lapan puluh tiga.

Keperluan industri sejauh mana kanji dipentingkan adalah berbagai jenis tetapi secara umum ia melibatkan tugas spesifik kanji dalam sesuatu hasilan yang tertentu. Terdapat empat tujuan menggunakan kanji iaitu sebagai pemekat dan pengel, pengisi, pengikat dan penstabil. Kanji digunakan sebagai agen pemekat dalam sup yang dikaleng atau sup berbentuk serbuk. Keperluan yang utama disini adalah kelikatan yang betul serta tekstur dan kestabilan jangka panjang. Serbuk kustad juga mempunyai keperluan yang sama. Kanji juga digunakan bagi pai daging sebagai pengangkut komponen kuah. Pengisian di dalam pai buah-buahan memerlukan kanji sebagai pemekat dan kejernihan yang baik. Kud limau menggunakan kanji sebagai pemekat dan suatu kelikatan yang rendah juga diperlukan.

Kanji digunakan sebagai agen pengikat dalam produk seperti sosej dan daging terproses di mana sifat kohesif adalah keperluan asas. Tanpa agen pengikat, hasilan akan berkecai dan terurai semasa memasak. Bila diguna sebagai pengisi, kanji yang rendah kelikatannya pada takat kepejalan yang tinggi diperlukan.

Fungsi utama kanji adalah untuk menentukan keadaan kepejalan yang tinggi dikekalkan bila menggunakan bahan yang kurang harganya dan kelikatan yang rendah membenarkan terbentuk hasilan dengan kerja mekanikal yang rendah sekali.

Tekstur yang lebih baik dan sifat "handling" yang dibaiki boleh dicapai bila kanji digunakan sebagai suatu ramuan dalam formulasi.

Kanji memainkan peranan penting dalam hasilan makanan bayi. Di sini ia biasanya digunakan sebagai pemekat. Keperluan termasuklah keseirasan, hasilan menarik dan kestabilan jangka panjang. Kanji boleh digunakan untuk banyak lagi industri makanan sebagai ganti bahan mentah tradisi, dan terutamanya untuk hasilan yang memerlukan kombinasi sifat-sifat fizikal yang tertentu.

1.3 Pengubahsuaian Kanji

1.3.1 Pengubahsuaian fizikal

Pengubahsuaian fizikal boleh dilakukan pada granul kanji yang akan mengubah sifat-sifat kanji. Disrupsi fizikal granul kanji adalah asas bagi kaedah ini yang termasuk pemilan, penyembur kering, pemasakan jet dan pengeringan putaran (Radley, 1976)

1.3.2 Pengubahsuaian kimia

Sifat-sifat fizikal kanji boleh diubahsuai secara kimia untuk menghasilkan hasilan yang lebih memuaskan untuk aplikasi spesifik bagi makanan. Kelakuan kelikatan kanji semasa memasak boleh diubahsuaikan untuk menyesuaikan kehendak dan kestabilan jangka panjang serta keadaan sinresis boleh dibaiki (Knight, 1969). Walau bagaimanapun harga kanji yang terubasuaikan akan meningkat dan ini merupakan suatu kelemahan. Harganya meningkat lagi bila kaedah pengubahsuaian menjadi lebih kompleks, melibatkan mungkin beberapa tahap interaksi kimia (Marrs, 1975).

Pengubahsuaian kimia yang kini dipraktikkan pada skala industri termasuklah hidrolisis asid, pengoksidanan, pengikatan silang, pengesterifikasian dan pengeterifikasian (Tsai, 1983).

a) hidrolisis asid

Hidrolisis separa kanji dengan asid biasanya

dijalankan pada suatu suspensi kanji semulajadi dan dibentukkan untuk mengurangkan berat molekul dan juga kelikatan pasta kanji bila dimasak. Kanji yang digelar sebagai kanji mendidih nipis ini adalah digunakan dalam proses-proses di mana kelikatan pemasakan yang tinggi tidak diterima tetapi produk diperlukan untuk set. Kanji ini adalah sesuai sebagai bahan pelapis. Dekstrin kanji adalah produk dari degradasi asid pada kanji asli dalam keadaan kering. Suatu julat bahan dihasilkan bergantung pada suhu pemanggangan, kualiti asid, dan kandungan lembapan yang awal. Terdapat tiga jenis dekstrin iaitu jenis putih, kuning dan gum British. Hanya dekstrin putih digunakan dalam formulasi makanan (Marrs, 1975).

b) pengoksidanan

Kanji yang teroksida dalam bentuk sluri, di bawah suhu gelatinasi, juga menghasilkan degradasi karbohidrat dan pada masa yang sama mengubah kumpulan hidroksil kepada karboksil. Kanji teroksida ini menunjukkan rintangan yang jelas terhadap sifat mengel dan pembentukkan pasta berbanding dengan kanji pendidihan nipis. Kanji teroksida ini diguna dalam hasil-hasil yang tinggi kandungan pepejalnya (Radley, 1976).

c) pengikatan silang

Keinginan kanji, terutamanya jenis berlilin,

untuk kehilangan kelikatan awalnya yang tinggi dengan masakan yang melampaui dan pengacauan atau keadaan berasid boleh dikurangkan dengan memperkenalkan pengikatan silang kimia diantara molekul pada permukaan granul-granul. Kanji pengikatan silang ini membuka pasaran untuk makanan dengan kanji diubahsuai sebagai penstabil, pemekat untuk suatu kumpulan makanan retot dan beku yang luas (Radley, 1976).

d) pengesterifikasian dan pengeterifikasian

Penukargantian yang paling penting sejauh mana perindustrian makanan terlibat adalah pengesterifikasian pada tahap yang rendah akan membantu menyatukan molekul kanji (Knight, 1969).

Amilosa terutamanya, adalah distabilkan pada tahap penukargantian yang rendah dan kebolehannya beragregasi boleh dikurangkan, serta sifat-sifat gelatinasinya dihadkan. Penukargantian merendahkan suhu gelatinasi bagi kanji dan menambahkan kadar pemasakkan (Radley, 1976).

Dalam projek ini kanji beras dimodifikasikan secara penukargantian hidroksipropil. Penyediaan kanji eter hidroksipropil boleh dikesankan oleh reaksi propilana oksida ke atas kanji mentah atau tergelatinisasi. Untuk menghasilkan penukargantian yang tinggi dalam kanji reaksi harus dilakukan

dalam pelarut organik (Knight, 1969).

Kanji eter komersial disediakan dengan reaksi kanji dengan propilina oksida. Reaksi ini boleh diterangkan sebagai penukargantian kumpulan hidroksipropil ke dalam rangkaian kanji sebagai ganti molekul hidroksil. Walaupun rupa luar fizikal granul kanji tidak berubah pada tahap penukargantian yang rendah, tetapi sifat-sifat asas kanji terubah dengan banyaknya (Marrs, 1975). Kehadiran kumpulan eter alkil hidroksil sepanjang rangkaian kanji adalah sangat berkesan dalam mengelakkan perhubungan rangkaian kanji yang selari. Pasta kanji eter menunjukkan pengurangan kebolehan untuk retrogradasi dan membentuk gel yang pejal. Ini juga bermakna bahawa pasta dibaiki kestabilan dengan penyejukan dan jika selapisan pasta dikeringkan retrogradasi yang kurang berlaku dan lapisan boleh di dispersikan semula di dalam air. Lapisan pasta ini akan berwarna jernih, mempunyai sifat keregangannya yang baik, pembentukan lapisan dibaiki dan mengelakkan pembinaan dalam rangkaian molekul kanji. Molekul kanji yang diubahsuaikan dengan kaedah ini boleh menghasilkan suatu julat hasilan dari larut dalam air sejuk dan tidak menjel kepada separa larut dan yang boleh menghasilkan gel yang berkrim. Hasilan ini adalah sesuai bagi diguna dalam sup, sos salad

"dressing", puding dan pelapis gula-gula (Marrs, 1975).

1.3.3 Pengubahsuaian genetik

Pengubahsuaian genetik ini adalah untuk mengubah suatu strain bijian berkanji yang tidak baik kualitasnya kepada suatu hibrid yang sesuai bagi penghasilan komersial. Ini melibatkan suatu proses pembiakan yang mana keadaan genetik asal bahan mentah diubah untuk membaiki kualiti bahan mentah tersebut (Wurzburg, 1972). Pengubahsuaian genetikal dapat digunakan untuk mengawal nisbah amilosa kepada amilopektin dalam molekul kanji. Kanji jagung yang tinggi kandungan amilosanya dihasilkan melalui kaedah ini. Kanji ini dapat merintang pembengkakan pada suhu tinggi.

Kanji yang mengalami pengubahsuaian genetik ini digunakan dengan luasnya dalam hasilan makanan, seperti makanan bayi, buah-buahan kaleng, pengisian pai dan makanan ringan (Wurzburg, 1972).

1.4 Sifat-sifat Fizikal Serbuk Kanji

1.4.1 Aktiviti air dan isoterma sorpsi air bagi bahan makanan.

Air adalah agen yang sering hadir dalam bahan-bahan makanan kita; dalam bahan makanan mentah ia adalah konstituen yang paling tinggi kepekatanannya (Heiss, 1968).

Kehadiran air dalam bahan makanan dan kepekatannya menentukan tahap tinggi pemakanan, struktur fizikal dan kebolehan pemegangan dari segi teknikal bahan makanan (Rockland, 1957). Paling mustahak adalah semua proses pemerosotan yang berlaku dalam bahan makanan dipengaruhi dengan satu cara atau lain oleh kepekatan dan keadaan air dalam bahan makanan (Labuza, 1967). Sebagai orientasi am, bolehlah dinyatakan, kemerosotan makanan pada kandungan air yang tinggi kemerosotan adalah diakibatkan oleh tumbesaran dan pembiakan mikroorganisma dalam dan pada bahan makanan, dan secara reaksi enzimatik atau bukan enzimatik; pada kepekatan air yang rendah kehilangan kualiti adalah disebabkan terutamanya oleh reaksi autoksidatif serta pemerosotan fizikal (Christian, 1963).

Kadar kemerosotan berbagai proses kemerosotan adalah berbeza pada kepekatan air yang berbeza. Secara am, bahan makanan adalah lebih stabil pada kepekatan air yang rendah berbanding dengan kepekatan air yang tinggi (Acker, 1962). Potensi air mengambil bahagian dalam proses pemerosotan adalah disifatkan sebagai aktiviti air di dalam hasilan, yang mana, perhubungan antara tekanan wap air hasilan pada suatu suhu yang sama diberikan oleh persamaan :

$$a = \frac{P}{P_0} = \% \frac{\text{Kelembapan relatif}}{100}$$

di mana,

a = aktiviti air,

P = tekanan wap air yang dikeluarkan oleh bahan makanan, dan,

P_0 = tekanan wap air tulin pada suhu tertentu.

Aktiviti air kebanyakan bahan makanan bergantung pada komposisi kimianya, keadaan aggregasi komponen-komponennya, kandungan air dan suhu hasilan. Suatu plot kandungan lembap melawan aktiviti airnya pada suatu suhu tertentu adalah digelar sebagai isoterma sorpsi (Gal, 1972).

Beberapa sifat makanan dan bagaimana air bereaksi dengan komponen-komponen makanan menghasilkan darjah pengikatan air yang berlainan. Lebih ketat air diikat, lebih kurang aktiviti airnya. Darjah pengikatan ini boleh mempengaruhi kualiti hasilan makanan (Labuza, 1984).

Isoterma sorpsi air kebanyakan hasilan makanan adalah biasanya berbentuk sigmoid, manakala bentuk-bentuk berlainan adalah juga mungkin (Labuza, 1984). Memandangkan kelakuan sorpsi air makanan dibentukkan dari komposisi kimianya dan keadaan fiziko-kimia konstituennya, sistem sorpsi berbagai jenis makanan berbeza dalam bentuknya (Heiss, 1968). Hasilan-hasilan yang serupa juga boleh menunjukkan deviasi pada bentuk

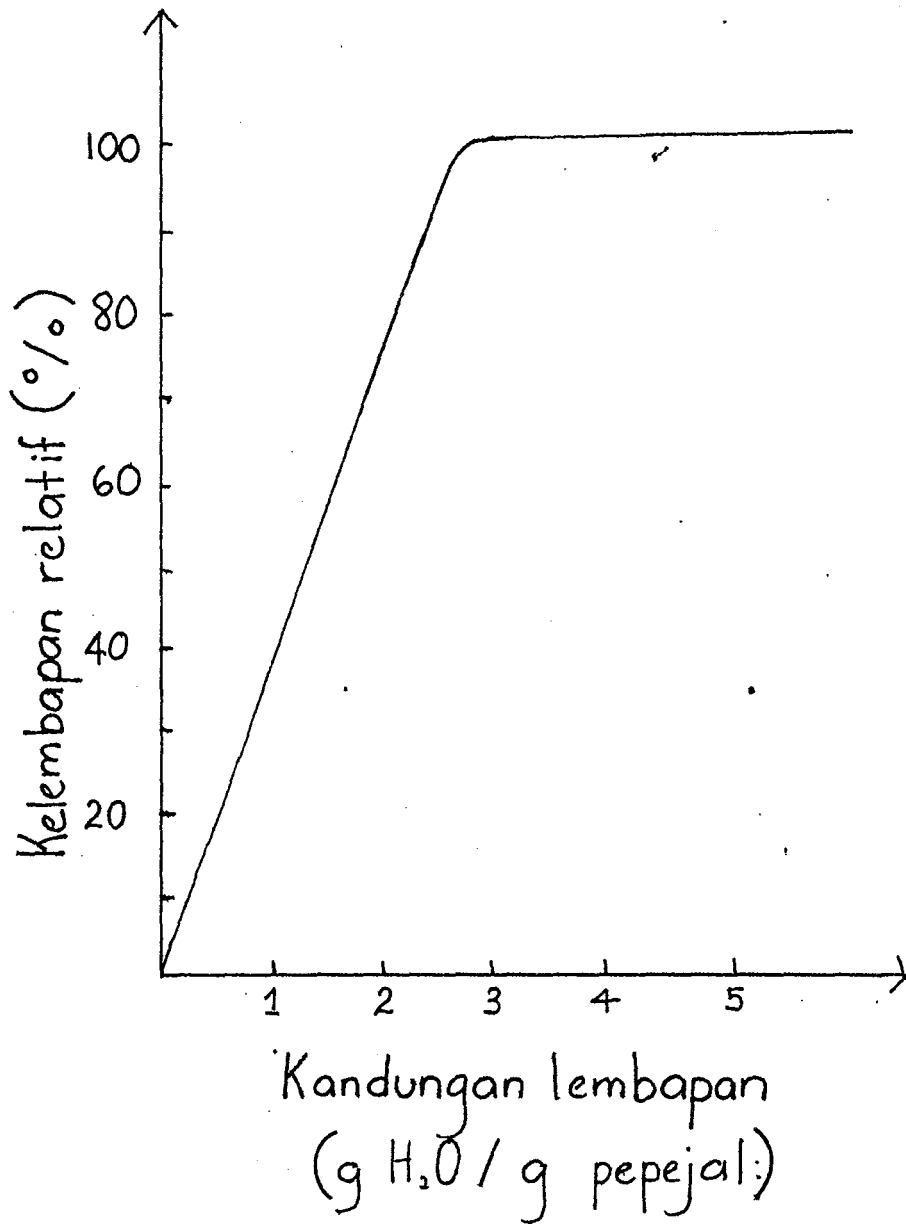
isoterm sorpsinya bila ianya daripada asas yang berlainan. Kanji menyerap lebih air pada keaktifan air yang rendah berbanding dengan bahan makanan yang kaya protin, bahan seperti daging (Nemitz, 1961).

Kurva isoterma boleh didapati dalam dua arah. Isotherma adsorpsi adalah didapati apabila bahan yang kering sepenuhnya ditempatkan dalam berbagai atmosfera dengan kelembapan relatif yang berbeza. Penambahan berat akibat pengambilan air diukur (Labuza, 1984).

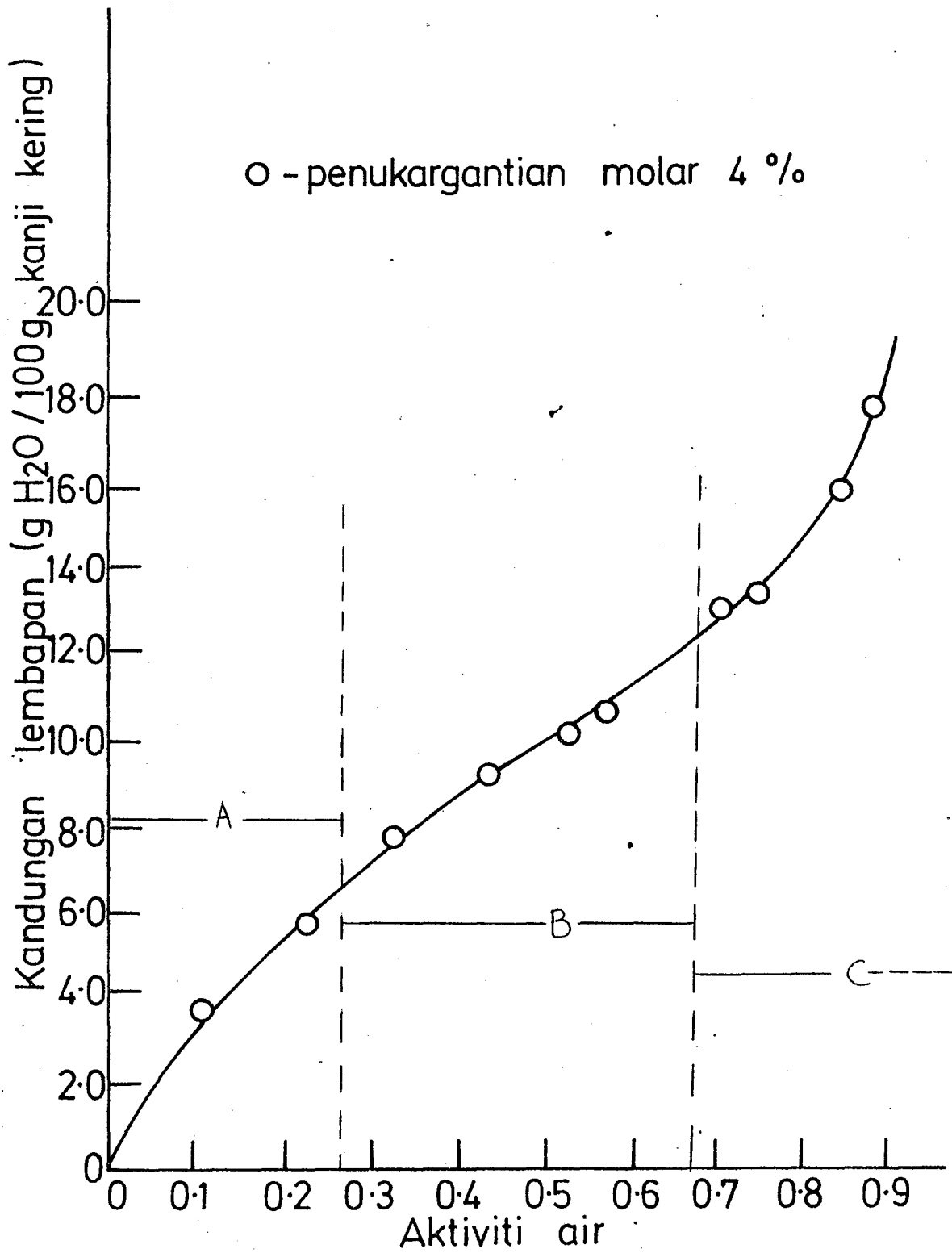
Isotherma desorpsi pula didapati dengan menempatkan bahan yang lembap pada asalnya pada kelembapan relatif tertentu, tetapi bagi kes ini mengukur kehilangan berat akibat air (Labuza, 1968).

Secara am, keseimbangan wap bahan makanan boleh diterangkan oleh Gambarajah 1.1. Sebagaimana yang boleh diperhatikan dari gambarajah ini lapan puluh hingga sembilan puluh peratus dari jumlah wap air yang hadir dalam makanan memberikan suatu tekanan wap hampir sama dengan air tulin ($a_w = 1.0$). Hanya sepuluh hingga dua puluh peratus air yang akhir yang menyumbang kepada kestabilan makanan dan kesan masa pengeringan.

Isotherma boleh dibahagikan kepada beberapa segmen bergantung pada keadaan air yang hadir. Seperti ditunjukkan dalam Gambarajah 1.2 (Labuza, 1968). Segmen A berhubungan dengan lapisan air monomolekular; segmen B berhubungan dengan adsorpsi lapisan-lapisan tambahan



Gambarajah 1.1 Hubungan kandungan lembapan dan kelembapan relatif.



Gambarajah 1.2. Kurva isoterma adsorpsi am.
(Labuza, 1968).

ke atas lapisan mono dan segmen C berhubungan dengan kondensasi air dalam bukaan-bukaan ("pores") bahan diikuti dengan pelarutan bahan larut yang hadir.

Tiada suatu kelembapan relatif yang boleh dianggap sebagai persimpangan bagi segmen-segmen ini dan ada kemungkinan segmen-segmen ini bertindih akibat kurva desorpsi.

Fakta-fakta ini menghadkan kebolehan menggunakan model matematik untuk menerangkan isoterma dengan seluruhnya. Terdapat empat kegunaan data-data sorpsi yang utama dalam perindustrian makanan iaitu, untuk pengeringan, pencampuran, pembungkusan dan penstoran (Gal, 1972).

Pandangan yang paling terkenal bagi sorpsi air untuk makanan adalah persamaan BET (Brunauer et al., 1938). Model BET menggambarkan suatu sifat adsorpsi yang fizikal bagi kebanyakan bahan makanan (van den Berg, 1985). Walaupun asas teori ini, di mana kebanyakan jangkaan dalam teori ini tidak boleh diterima bagi bahan makanan, pemahaman masalah ini adalah terlibat.

Teori BET adalah dihasilkan daripada pemerhatian ke atas adsorpsi gas-gas tak polar pada permukaan agen pemangkinan; jangkaan yang asas adalah:

a) Sorpsi hanya berlaku pada tempat-tempat

spesifik pada permukaan hasilan.

b) Haba sorpsi untuk lapisan pertama (dipanggil monolapisan) adalah tetap dan bersamaan dengan haba pengewapan dicampur dengan haba pada tempat interaksi.

c) Haba sorpsi untuk lapisan kedua dan seterusnya di atas lapisan pertama adalah sama dengan haba pengewapan.

Persamaan am bagi isoterma BET adalah derivasi dari mekaniks termodinamik, kinetik dan statistik. Nilai monolapisan dihitungkan daripada persamaan ini :

$$\frac{a}{(1-a) M} = \frac{1}{M_1 c} + \frac{(c-1) a}{M_1 c}$$

di mana,

a = aktiviti air,

M = kandungan lembapan,

M₁ = nilai monolapisan, dan,

c = suatu angkatap.

Angkatap c bolehlah diberikan oleh persamaan berikut :

$$c = k \exp (E_1 - E_2) / RT,$$

di mana,

k = angkatap bergantung pada entropi dan dianggap bersamaan dengan satu,

penstoran.

Teori adsorpsi BET adalah penting dalam menyelidik perhubungan antara sorpsi lembapan dan kestabilan (Salwin, 1963). Adalah munasabah bahawa pada amnya kandungan lembapan yang berhubungan dengan lapisan monolapisan teoretikal untuk air terjerap menurut persamaan BET akan menunjukkan jumlah air minuman yang diingini (Brunauer *et al.*, 1938).

Persamaan BET sering mengalami pengkritikan tetapi ramai penyelidik mendapati ia mudah dan berguna sebagai kajian asas (van den Berg, 1985).

Air bertindakbalas dengan kumpulan kimia melalui ikatan tertentu seperti ikatan ionik dan hidrogen. Molekul-molekul air ini disebabkan terikat, memerlukan lebih banyak tenaga untuk dipindahkan dari fasa cecair ke fasa wap, dan ini mengurangkan aktiviti air. Nilai yang mempunyai kepentingan kritikal adalah nilai monolapisan. Ini adalah kandungan lembapan pada mana setiap kumpulan polar dan ionik mempunyai air terikat padanya, untuk membentuk permukaan fasa cecair (Labuza, 1984).

Nilai monolapisan merupakan keadaan kandungan lembapan di mana kebanyakan makanan paling stabil (Salwin, 1956). Kandungan lembapan yang kurang daripada nilai monolapisan telah mengakibatkan banyak kemerosotan dalam hasilan makanan-makanan kering.