

**PENGARUH SUHU FOSFORILASI TERHADAP
SIFAT FISIKOKIMIA PATI TAPIOKA
TERMODIFIKASI**

Oleh

**NUR AZIZAH AMIN
G311 09 262**



**PROGRAM STUDI ILMU DAN TEKNOLOGI PANGAN
JURUSAN TEKNOLOGI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

**PENGARUH SUHU FOSFORILASI TERHADAP
SIFAT FISIKOKIMIA PATI TAPIOKA
TERMODIFIKASI**

Oleh

**NUR AZIZAH AMIN
G31109262**

SKRIPSI
Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN
pada
Jurusan Teknologi Pertanian

**PROGRAM STUDI ILMU DAN TEKNOLOGI PANGAN
JURUSAN TEKNOLOGI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Pengaruh Suhu Fosforilasi Terhadap Sifat Fisikokimia Pati Tapioka Termodifikasi
Nama : Nur Azizah Amin
Stambuk : G311 09 262
Program Studi : Ilmu dan Teknologi Pangan

Disetujui :

1. Tim Pembimbing

Februadi Bastian, S.TP., M.Si
Pembimbing I

Prof. Dr. Ir. Hj. Meta Mahendradatta
Pembimbing II

Mengetahui :

2. Ketua Jurusan Teknologi Pertanian

3. Ketua Panitia Ujian Sarjana

Prof. Dr. Ir. Hj. Mulyati M. Tahir, MS
NIP. 19570923 198312 2 001

Ir. Nandi K. Sukendar, M.AppSc
NIP.19571103 198406 1 001

Tanggal Lulus : Agustus 2013

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar STP (Sarjana Teknologi Pertanian). Terima kasih yang tak terkira kepada Allah SWT, yang telah memberikan penulis kesempatan untuk mampu menjalani hidup ini dengan sebaik-baiknya dan memberikan warna yang indah di hati orang-orang yang menyayangi penulis dan penulis sayangi.

Skripsi ini dapat penulis rampungkan berkat kesediaan pembimbing untuk meluangkan waktunya guna memberikan petunjuk dan arahan demi menghasilkan sesuatu yang lebih baik dalam penulisan skripsi ini, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada **Februadi Bastian, S.TP., M.Si**, selaku pembimbing I dan **Prof. Dr. Ir. Hj. Meta Mahendradatta**, Tak lupa pula ucapan terima kasih kepada **Prof. Dr. Ir. Amran Laga, MS** dan **Dr. Ir. Jumriah Langkong, MS** selaku penguji yang telah meluangkan waktunya guna memberikan masukan dan petunjuk menuju kesempurnaan dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis juga menghaturkan terima kasih kepada Ketua Jurusan, Staf Dosen, dan seluruh karyawan Jurusan Teknologi Pertanian yang telah membantu dan memberi pengetahuan kepada penulis selama menempuh pendidikan. Tak lupa pula penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Ketua Panitia Ujian Sarjana **Ir. Nandi K. Sukendar, M. App. Sc** untuk waktu luangnya dalam penyelesaian berkas-berkas

ujian sarjana dan kepada laboran Ibu **Hj. Nurhayati** yang senantiasa membantu penulis selama menjalankan penelitian.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Untuk itu penulis sangat menanti saran dan kritik yang membangun agar skripsi ini dapat menjadi lebih baik. Semoga skripsi ini dapat memberikan sumbangan bagi pengembangan ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang pangan. Amin.

Makassar, Agustus 2013

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Melalui ini, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tuaku, **Muh. Amin Magga** dan **Djumrah**. Terima kasih atas semua do'a, perhatian, kasih sayang, bantuan dan dukungan baik materi maupun moril yang tak pernah henti-hentinya hingga penulis mampu berdiri sampai saat ini.
2. Kakak-kakakku **Munadira, Rahma zakiah, Hamka, Abdul Hafid, Anshar, Ali Amin, Syarifuddin, Akbar Amin**, serta buat keponakan saya **Muh. Icshan** yang senantiasa membantu dan memberi semangat selama penyusunan skripsi ini. Maaf jika pernah berbuat yang tak mengenakkan hati, tetapi ketahuilah bahwa saya sangat menyayangi kalian.
3. Teman-teman saya selama penyusunan skripsi ini, **uphy, irha, acha, mahe, nira, hikma, amma, rahma, tariq, mustar, khusnul, surya, fisher, vano, yolan** dan buat adikku **ilmi** dan **evhy**. Terima kasih telah memberikan warna dan menjadi salah satu bagian indah dalam hidupku, terima kasih atas segala bantuan dan semangatnya, atas semua moment lucu, gembira, ataupun sedih yang telah kita lalui bersama. Semoga hubungan yang indah ini akan tetap terjalin sampai aku menutup mata. Serta buat **Kk Yulianti Bora**, terima kasih telah bersedia berbagi

ilmu dengan saya sehingga mempermudah saya selama penyusunan skripsi ini.

4. Untuk rekan-rekanku **ITP 09, kanda-kanda, dan dinda-dinda se-KMJ TP UH**, terima kasih atas semua kisah seru yang takkan terlupakan selama penulis mengenyam pendidikan di Teknologi Pertanian. Kalian merupakan bagian dari perjalanan hidup penulis. Dan penulis juga mengucapkan terima kasih untuk semua pihak yang tak mampu penulis jabarkan, atas segala do'a dan bantuannya yang telah ikhlas diberikan untuk penulis hingga penulis mendapatkan gelar sarjana ini.
5. Dan kepada pihak-pihak yang telah membantu Penulis dalam hal apapun selama menyelesaikan studi, penelitian dan skripsi.

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Nur Azizah Amin merupakan anak ke-9 dari 9 bersaudara dari pasangan Muhammad Amin Magga dan Djumrah. Penulis lahir di Palopo tepatnya pada tanggal 18 November 1991.

Pendidikan formal yang pernah dijalani adalah :

1. SDN 69 Binturu, Palopo. Tahun 1997-2003.
2. MTsN Model Palopo, Palopo. Tahun 2003-2006
3. SMA Negeri 3 Palopo, Palopo. Tahun 2006-2009
4. Pada tahun 2009, penulis diterima di Perguruan Tinggi Universitas Hasanuddin Makassar, Program Strata Satu (S1) sebagai mahasiswa Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian.

Selama menjalani studinya di Universitas Hasanuddin, penulis pernah menjadi asisten Mikrobiologi Pangan, Aplikasi Perubahan Kimia Pangan, dan Aplikasi Biokimia Pasca Panen. Penulis juga aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknologi Pertanian Universitas Hasanuddin (HIMATEPA UH).

Nur Azizah Amin (G31109262). **Pengaruh Suhu Fosforilasi Terhadap Sifat Fisikokimia Pati Tapioka Termodifikasi** (Dibawah Bimbingan Februdi Bastian dan Meta Mahendradatta).

RINGKASAN

Pati alami tapioka memiliki sifat fungsional yang dapat tergelatinisasi. Namun sifat gelatinisasi pati alami tapioka tidak dapat mempertahankan viskositasnya jika diberikan pemanasan yang lebih lama. Oleh karena itu dilakukan modifikasi pati untuk dapat mempertahankan viskositas dari pati alami tapioka. Modifikasi pati secara kimia menggunakan reagen sodium tripolyphosphat (STPP) menghasilkan pati yang lebih stabil terhadap proses pemanasan, pengasaman, dan pengadukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan sifat fisikokimia pati alami (tepung tapioka) dan pati modifikasi, dan untuk mengetahui perbedaan sifat fisikokimia pati modifikasi dengan berbagai suhu fosforilasi yang diberikan. Parameter pengamatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kadar air, daya kembang, kelarutan, kejernihan gel dan sifat-sifat amilograph. Pengolahan data yang digunakan yaitu Analisa Sidik Ragam 1 faktor dan menggunakan pengujian lanjut metode duncan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat fisikokimia pati modifikasi lebih baik dibandingkan dengan pati alami. Semakin tinggi suhu fosforilasi (110°C-140°C) yang digunakan, maka daya kembang pati akan semakin meningkat, kelarutan pati semakin menurun, kejernihan pasta semakin meningkat serta kestabilan pasta pada suhu tinggi semakin meningkat.

Kata Kunci : Pati, Tapioka, Modifikasi pati, Sodium tripolyphosphat (STPP), Suhu fosforilasi.

Nur Azizah Amin (G31109262). **Effect Of Phosphorylation Temperatures That Physico-Chemical Properties Of Modified Tapioca Starch** (Supervised by Februadi Bastian and Meta Mahendradatta).

ABSTRACT

Native tapioca starch has functional properties that can be gelatinized. However, the gelatinization of native tapioca starch cannot sustain the viscosity if it was given a longer heating. Therefore, it was conducted a modification of the tapioca starch to produce the starch that can maintain viscosity. Chemically modified starches using reagent sodium tripolyphosphat (STPP) is produced the starch that has functional properties that more stable against heating process, acidification, and stirring. The aims of this research were to determine the differences of physico-chemical properties of native starch (tapioca) and modification starch, and to know the effect of phosphorylation temperature range on the physico-chemical properties of modified starch. The observation parameters were water content, swelling power, solubility, gel clarity and amilograph properties. The processing data was using analysis of variance with one factor and was used the duncant test. The results showed that the physico-chemical properties of modified starch was better than native starch. The higher phosphorylation temperature (110°C-140°C) showed that the swelling power of starch increased, the solubility of starch decreased, the pasta clarity increased and pasta stability at high temperature increased.

Key Word: Starch, Tapioca, modification starch, Sodium tripolyphosphat (STPP), Phosphorylation Temperatures.

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
I. PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah	2
I.3 Tujuan dan Kegunaan Penelitian.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Tepung Tapioka	4
II.2 Pati	6
II.3 Gelatinisasi	11
II.4 Daya Kembang (<i>Swelling Power</i>) dan Kelarutan Pati	13
II.5 Retodgradasi dan <i>Syneresis</i> Pati	15
II.6 Modifikasi Pati	18
III. METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Waktu dan Tempat	26
III.2 Alat dan Bahan	26
III.3 Prosedur Penelitian	26
III.4 Parameter Pengamatan	28

	Halaman
III.5 Rancangan Percobaan	31
IV.HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Kadar Air	32
IV.2 Daya Kembang (<i>Swelling Power</i>) Pati.....	34
IV.3 Kelarutan (<i>Solubility</i>) Pati	36
IV.4 Kejernihan Pasta/Gel (<i>Paste Clarity</i>) Pati	39
IV.5 Pola Gelatinisasi	42
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan	49
V.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN	55

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
1.	Komposisi Kimia Tepung Tapioka.....	4
2.	Syarat Mutu Tepung Tapioka Menurut SNI 01-3451-1994	5
3.	Standard Sifat-sifat Psikokimia dan Rheologi Tapioka.....	23

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
1.	Struktur Amilosa.....	7
2.	Struktur Amilopektin	7
3.	Perubahan Bentuk Granula Pati Selama Proses Gelatinisasi.....	12
4.	Perubahan Granula Pati Selama Pemanasan dan Pendinginan ...	17
5.	Reaksi Pembentukan Ikatan Silang pada Pati Gandum dengan STPP (Sodium Tripolyphosphat).....	20
6.	Sifat Amilografh Pati Gandum dan Pati Jagung pada Berbagai Perlakuan pH	22
7.	Diagram Alir Pembuatan Pati Phospat.....	27
8.	Hubungan antara Perlakuan Suhu Fosforilasi dan Kadar Air Pati Termodifikasi	33
9.	Hubungan antara Perlakuan Suhu Fosforilasi dan Daya Kembang Pati Termodifikasi	35
10.	Hubungan Antara Perlakuan Suhu Fosforilasi dan Kelarutan Pati Termodifikasi	37
11.	Hubungan Antara Perlakuan Suhu Fosforilasi dan Tingkat Kejernihan Gel Pati Termodifikasi dengan Spektrofotometer (λ 650nm).....	39
12.	Pola Gelatinisasi Pati Alami Tapioka	42
13.	Pola Gelatinisasi Pati Modifikasi dengan Suhu Fosforilasi yang Berbeda-Beda.....	45

DAFTAR LAMPIRAN

No. Lampiran	Judul	Halaman
1a.	Data Hasil Analisa Kadar Air Pati dengan Berbagai Perlakuan Suhu Fosforilasi.....	55
1b.	Hasil Analisa Sidik Ragam Kadar Air Pati dengan Berbagai Perlakuan Suhu Fosforilasi.....	55
2a.	Data Hasil Analisa Daya Kembang (<i>Swelling Power</i>) Pati dengan Berbagai Perlakuan Suhu Fosforilasi	55
2b.	Hasil Analisa Sidik Ragam Daya Kembang (<i>Swelling Power</i>) Pati dengan Berbagai Perlakuan Suhu Fosforilasi	55
2c.	Hasil Uji BNJD Pengaruh Perlakuan Terhadap Daya Kembang (<i>Swelling Power</i>) Pati	56
3a.	Data Hasil Analisa Kelarutan (<i>Solubility</i>) Pati dengan Berbagai Perlakuan Suhu Fosforilasi.....	56
3b.	Hasil Analisa Sidik Ragam Kelarutan (<i>Solubility</i>) Pati dengan Berbagai Perlakuan Suhu Fosforilasi	56
3c.	Hasil Uji BNJD Pengaruh Perlakuan Terhadap Kelarutan (<i>Solubility</i>) Pati	56
4a.	Data Hasil Analisa Kejernihan Gel (<i>Paste Clarity</i>) dengan Berbagai Perlakuan Suhu Fosforilasi	57
4b.	Hasil Analisa Sidik Ragam Kejernihan Gel (<i>Paste Clarity</i>) dengan Berbagai Perlakuan Suhu Fosforilasi	57
4c.	Hasil Uji BNJD Pengaruh Perlakuan Terhadap Kejernihan Gel (<i>Paste Clarity</i>).....	57
5a.	Data Hasil Pengukuran Sifat-Sifat Amilografh Pati Alami.....	58
5b.	Data Hasil Pengukuran Sifat Amilografh Pati Modifikasi pada Suhu Fosforilasi 110°C.....	60
5c.	Data Hasil Pengukuran Sifat Amilografh Pati Modifikasi pada Suhu Fosforilasi 120°C	62
5d.	Data Hasil Pengukuran Sifat Amilografh Pati Modifikasi pada Suhu Fosforilasi 130°C.....	64
5e.	Data Hasil Pengukuran Sifat Amilografh Pati Modifikasi pada Suhu Fosforilasi 140°C.....	66
6.	Dokumentasi Gambar	68

I. PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki hasil pertanian berupa umbi-umbian yang cukup tinggi, diantaranya ubi kayu. Jumlah produksi ubi kayu Indonesia mencapai 24,04 juta ton pada tahun 2011 dan produksi untuk Sulawesi Selatan mencapai 370 ribu ton pada tahun 2011 (BPS, 2012). Pemanfaatan hasil pertanian ini di kalangan masyarakat digunakan sebagai sumber karbohidrat dengan cara mengolahnya secara sederhana untuk dikonsumsi langsung. Dalam industri pangan, komoditi ubi kayu ini telah diolah dengan teknologi lebih tinggi untuk meningkatkan nilai ekonomis dari hasil pertanian ini. Ubi kayu dalam industri pangan, dapat diolah menjadi tepung atau patinya diekstrak untuk digunakan sebagai bahan pengisi, pengental, dan pembuatan gel, pembentuk *film* dan sebagai agen penstabil makanan. Namun pati alami yang berasal dari ubi kayu memiliki keterbatasan fungsi karena sifat pati yang tidak tahan terhadap panas, kondisi asam dan tidak tahan terhadap pengadukan sehingga fungsinya sebagai pengental atau pengisi tidak akan maksimal.

Keterbatasan yang dimiliki oleh pati alami memaksa industri membuat pati termodifikasi untuk menutupi kekurangan dari pati alami. Pada pati alami, amilopektin dan amilosa yang terdapat pada granula pati dihubungkan oleh ikatan hidrogen yang sangat rentan mengalami pemutusan selama proses gelatinisasi. Hal inilah yang menyebabkan pati tidak tahan terhadap pemanasan, pH rendah atau pengadukan. Oleh

karena itu, pati dapat dimodifikasi untuk mengantisipasi kelemahan dari sifat pati alami. Salah satu teknik modifikasi pati yang banyak digunakan yaitu dengan modifikasi kimia. Modifikasi ini dilakukan dengan menggunakan reagen, misalnya sodium tripolyphosphat (STPP). Pati modifikasi ini dapat menghasilkan pati yang lebih stabil terhadap proses pemanasan, pengasaman, dan pengadukan. Pembuatan pati termodifikasi menggunakan sodium tripolyphosphat akan mengalami proses fosforilasi yang dimana akan menghasilkan produk akhir berupa pati fosfat. Proses fosforilasi dipengaruhi beberapa faktor diantaranya suhu fosforilasi yang diberikan saat proses tersebut berlangsung. Perbedaan suhu fosforilasi ini akan menyebabkan sifat fisikokimia dari pati yang dihasilkan akan berbeda pula. Berdasarkan uraian di atas maka dilakukan kajian tentang perbedaan pati modifikasi dari tepung tapioka menggunakan reagen sodium tripolyphosphat (STPP) untuk mengetahui pengaruh suhu pemanasan yang digunakan selama proses fosforilasi berlangsung terhadap jenis tepung yang digunakan.

I.2 Perumusan Masalah

Tepung tapioka mengandung pati alami yang dapat diaplikasi pada beberapa produk, misalnya sebagai bahan pengisi, pengental, dan penstabil makanan. Namun, penggunaan pati alami jika diaplikasikan pada suatu produk memiliki kelemahan, antara lain tidak dapat mempertahankan kekentalannya jika dipanaskan pada suhu lebih tinggi (90° - 100° C) dan tidak tahan terhadap kondisi asam dan pengadukan.

Modifikasi pati secara kimia merupakan salah satu metode untuk menghasilkan pati termodifikasi yang memiliki sifat lebih tahan terhadap proses pemanasan, kondisi asam dan pengadukan. Salah satu jenis reagen yang dapat digunakan yaitu sodium tripolyphosphat (STPP). STPP mengandung senyawa fosfat yang dapat menggantikan ikatan hidrogen yang menghubungkan antara amilosa dan amilopektin pada pati. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan kajian untuk mengetahui pengaruh suhu fosforilasi terhadap sifat fisikokimia dari tepung tapioka.

I.3 Tujuan Dan Kegunaan Penelitian

Tujuan umum yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan pati modifikasi dari tapioka menggunakan reagent sodium tripolyphosphat (STPP) pada berbagai kondisi suhu fosforilasi.

Tujuan khusus yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui perbedaan sifat fisikokimia pati alami dan pati modifikasi
2. Untuk mengetahui perbedaan sifat fisikokimia pati modifikasi dengan berbagai suhu fosforilasi yang diberikan.

Kegunaan dari penelitian ini adalah menghasilkan pati termodifikasi yang dapat diaplikasi dalam industri makanan sehingga menghasilkan produk yang lebih tahan terhadap proses pemanasan, kondisi asam dan pengadukan. Selain itu, sebagai referensi bagi industri untuk menghasilkan pati termodifikasi dengan menggunakan tepung tapioka.

II. TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Tepung Tapioka

Tapioka merupakan pati yang diekstrak dari singkong. Dalam memperoleh pati dari singkong (tepung tapioka) harus dipertimbangkan usia atau kematangan dari tanaman singkong. Usia optimum yang telah ditemukan dari hasil percobaan terhadap salah satu varietas singkong yang berasal dari Jawa yaitu San Pedro Preto adalah sekitar 18-20 bulan (Grace, 1977).

Singkong (*Manihot utilissima*) disebut juga ubi kayu atau ketela pohon merupakan salah satu komoditas tanaman pangan yang termasuk penting setelah komoditas padi dan jagung sebagai bahan pangan karbohidrat, bahan baku industri makanan, kimia dan pakan ternak. Jumlah produksi ubi kayu Indonesia mencapai 24,04 juta ton pada tahun 2011, dan produksi untuk Sulawesi Selatan mencapai 370 ribu ton pada tahun 2011 (BPS, 2012). Singkong memiliki beberapa kandungan gizi yaitu karbohidrat 36,8%; lemak 0,3%; serat 0,9%; abu 0,5%; air 61,4% (Rahmasari, dkk., 2011), sedangkan komposisi kimia tapioka dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Tepung Tapioka.

Komposisi	Jumlah
Serat (%)	0,5
Air (%)	15
Karbohidrat (%)	85
Protein(%)	0,5-0,7
Lemak (%)	0,2
Energi (kalori/100g)	307

Sumber: Grace (1977).

Standar Nasional Indonesia (SNI), nilai pH tepung tapioka tidak dipersyaratkan. Namun demikian, beberapa institusi mensyaratkan nilai pH untuk mengetahui mutu tepung tapioka berkaitan dengan proses pengolahan. Salah satu proses pengolahan tepung tapioka yang berkaitan dengan pH adalah pada proses pembentukan pasta (Rahman, 2007). Syarat mutu tepung tapioka menurut SNI 01-3451-1994 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Syarat Mutu Tepung Tapioka Menurut SNI 01-3451-1994

No	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan		
			Mutu I	Mutu II	Mutu III
1.	Kadar air	%	Maks. 15,0	Maks. 15,0	Maks. 15,0
2.	Kadar Abu	%	Maks. 0,60	Maks. 0,60	Maks. 0,60
3.	Serat dan benda asing	%	Maks. 0,60	Maks. 0,60	Maks. 0,60
4.	Derajat putih (BaSO ₄ =100%)	%	Min. 94,5	Min. 92,0	<92
5.	Derajat asam	Volume NaOH 1N/100g	Maks. 3	Maks. 3	Maks. 3
6.	Cemaran logam			Maks. 1.0	Maks. 1.0
	- Timbal	mg/kg	Maks. 1.0	Maks. 10.0	Maks. 10.0
	- Tembaga	mg/kg	Maks. 10,0	Maks. 40.0	Maks. 40.0
	- Seng	mg/kg	Maks. 40,0	Maks. 0.05	Maks. 0.05
	- Raksa	mg/kg	Maks. 0,05	Maks. 0,5	Maks. 0,5
	- Arsen	mg/kg	Maks. 0,5		
7.	Cemaran mikroba				
	- Angka lempeng total	Koloni/g	Maks. 1x10 ⁶	Maks. 1x10 ⁶	Maks. 1x10 ⁶
	- <i>E. Coli</i>	Koloni/g	-	-	-
	- Kapang	Koloni/g	Maks. 1x10 ⁴	Maks. 1x10 ⁴	Maks. 1x10 ⁴

Sumber: Badan Standarisasi Nasional (BSN), 2013a.

Penelitian yang dilakukan oleh Rahman (2007), melaporkan perbedaan kadar air setiap jenis tepung tapioka dapat dipengaruhi oleh proses pengolahan, khususnya pada saat pengeringan. Pada industri rumah tangga, biasanya pengeringan dilakukan secara tradisional yaitu dengan penjemuran di bawah sinar matahari, sedangkan pada industri

besar, pengeringan biasanya dilakukan dengan menggunakan alat pengering (*dryer*).

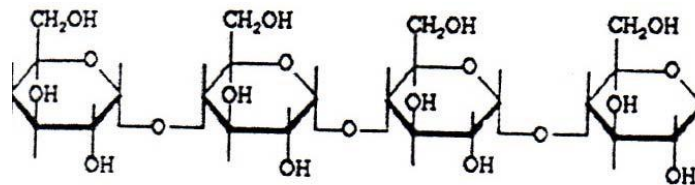
Komponen pati dari tapioka secara umum terdiri dari 17% amilosa dan 83% amilopektin. Granula tapioka berbentuk semi bulat dengan salah satu dari bagian ujungnya mengerucut dengan ukuran 5-35 μm . Suhu gelatinisasi berkisar antara 52-64°C, kristalinisasi 38%, kekuatan pembengkakan sebesar 42 μm dan kelarutan 31%. Kekuatan pembengkakan dan kelarutan tapioka lebih kecil dari pati kentang, tetapi lebih besar dari pati jagung (Rickard dkk., 1992).

II.2 Pati

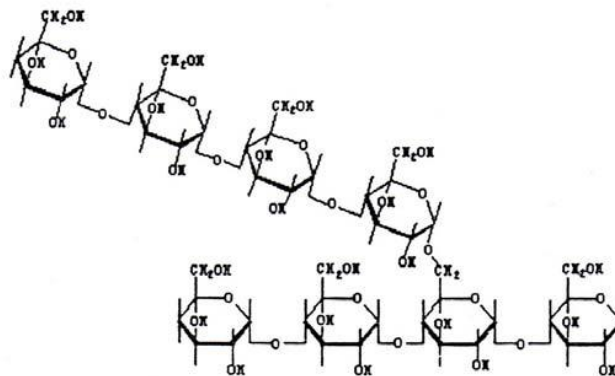
Pati atau amilum adalah karbohidrat kompleks yang tidak larut dalam air, berwujud bubuk putih, tawar dan tidak berbau. Pati tersusun dari dua macam karbohidrat, amilosa dan amilopektin, dalam komposisi yang berbeda-beda. Amilosa memberikan sifat keras (pera) sedangkan amilopektin menyebabkan sifat lengket. Amilosa memberikan warna ungu pekat pada tes iodin sedangkan amilopektin tidak bereaksi (Anonim, 2011).

Pati merupakan homopolimer glukosa dengan ikatan α -glikosidik. Berbagai macam pati tidak sama sifatnya, tergantung dari panjang rantai C-nya, serta apakah lurus atau bercabang rantai molekulnya. Pati terdiri dari dua fraksi yang dapat dipisahkan dengan air panas. Fraksi terlarut disebut amilosa dan fraksi tidak larut disebut amilopektin. Amilosa mempunyai struktur lurus dengan ikatan α -(1,4)-D-glukosa (Gambar 1),

sedangkan amilopektin mempunyai cabang dengan ikatan α -(1,6)-D-glukosa (Gambar 2) sebanyak 4-5% dari berat total (Winarno, 2004).



Gambar 1. Struktur Amilosa (Cui, 2005)



Gambar 2. Struktur Amilopektin (Cui, 2005)

Menurut Taggart (2004), amilosa memiliki kemampuan membentuk kristal karena struktur rantai polimernya yang sederhana. Strukturnya yang sederhana ini dapat membentuk interaksi molekular yang kuat. Interaksi ini terjadi pada gugus hidroksil molekul amilosa. Pembentukan ikatan hidrogen ini lebih mudah terjadi pada amilosa daripada amilopektin. Pada dasarnya, struktur amilopektin sama seperti amilosa, yaitu terdiri dari rantai pendek α -(1,4)- D-glukosa dalam jumlah yang besar. Perbedaannya ada pada tingkat percabangan yang tinggi dengan ikatan α -(1,6)-D-glukosa dan bobot molekul yang besar. Amilopektin juga dapat

membentuk kristal, tetapi tidak sereaktif amilosa. Hal ini terjadi karena adanya rantai percabangan yang menghalangi terbentuknya kristal.

Kadar amilosa yaitu banyaknya amilosa yang terdapat di dalam granula pati. Amilosa sangat berperan pada saat proses gelatinisasi dan lebih menentukan karakteristik pasta pati. Pati yang memiliki amilosa yang tinggi mempunyai kekuatan ikatan hidrogen yang lebih besar karena jumlah rantai lurus yang besar dalam granula, sehingga membutuhkan energi yang besar untuk gelatinisasi (Sunarti dkk., 2007). Sedangkan amilopektin memiliki rantai cabang yang panjang memiliki kecenderungan yang kuat untuk membentuk gel. Viskositas amilopektin akan meningkat apabila konsentrasinya dinaikkan (0 - 3 %). Akan tetapi hubungan ini tidak linier, sehingga diperkirakan terjadi interaksi atau pengikatan secara acak diantara molekul-molekul cabang (Jane dan Chen, 1992).

Bentuk asli pati secara alami merupakan butiran-butiran kecil yang sering disebut granula. Bentuk dan ukuran granula merupakan karakteristik setiap jenis pati, karena itu digunakan untuk identifikasi. Pati tersusun paling sedikit oleh tiga komponen utama yaitu amilosa, amilopektin dan material antara seperti, protein dan lemak. Umumnya pati mengandung 15–30% amilosa, 70–85% amilopektin dan 5–10% material antara. Struktur dan jenis material antara tiap sumber pati berbeda tergantung sifat-sifat botani sumber pati tersebut (Greenwood *et al.*, 1979). Pada umumnya amilosa dari umbi-umbian mempunyai berat molekul yang lebih besar dibandingkan dengan berat molekul amilosa

serealia, dengan rantai polimer lebih panjang daripada rantai polimer amilosa serealia (Moorthy, 2004).

Pati memegang peranan penting dalam industri pengolahan pangan non pangan, seperti pada industri kertas, lem, tekstil, permen, glukosa, dekstrosa, sirup fruktosa, dan lain-lain. Pati alami seperti tapioka, pati jagung, sagu dan pati-patian lain mempunyai beberapa kendala jika dipakai sebagai bahan baku dalam industri pangan maupun non pangan. Jika dimasak pati membutuhkan waktu yang lama (hingga butuh energi tinggi), juga pasta yang terbentuk keras dan tidak bening. Disamping itu sifatnya terlalu lengket dan tidak tahan perlakuan dengan asam. Padahal sumber dan produksi pati-patian di negara kita sangat berlimpah, yang terdiri dari tapioka (pati singkong), pati sagu, pati beras, pati umbi-umbian selain singkong, pati buah-buahan (misalnya pati pisang) dan banyak lagi sumber pati yang belum diproduksi secara komersial (Koswara, 2006).

Pati alami secara umum memiliki kekurangan yang sering menghambat aplikasinya di dalam proses pengolahan pangan (Pomeranz, 1985), di antaranya adalah:

- a. Kebanyakan pati alami menghasilkan suspensi pati dengan viskositas dan kemampuan membentuk gel yang tidak seragam (konsisten). Hal ini disebabkan profil gelatinisasi pati alami sangat dipengaruhi oleh iklim dan kondisi fisiologis tanaman, sehingga jenis pati yang sama belum tentu memiliki sifat fungsional yang sama.

- b. Kebanyakan pati alami tidak tahan pada pemanasan suhu tinggi. Dalam proses gelatinisasi pati, biasanya akan terjadi penurunan kekentalan suspensi pati (*viscosity breakdown*) dengan meningkatnya suhu pemanasan. Apabila dalam proses pengolahan digunakan suhu tinggi (misalnya pati alami digunakan sebagai pengental dalam produk pangan yang diproses dengan sterilisasi), maka akan dihasilkan kekentalan produk yang tidak sesuai.
- c. Pati tidak tahan pada kondisi asam. Pati mudah mengalami hidrolisis pada kondisi asam yang mengurangi kemampuan gelatinisasinya. Pada kenyataannya banyak produk pangan yang bersifat asam dimana penggunaan pati alami sebagai pengental menjadi tidak sesuai, baik selama proses maupun penyimpanan. Misalnya, apabila pati alami digunakan sebagai pengental pada pembuatan saus, maka akan terjadi penurunan kekentalan saus selama penyimpanan yang disebabkan oleh hidrolisis pati.
- d. Pati alami tidak tahan proses mekanis, dimana viskositas pati akan menurun adanya proses pengadukan atau pemompaan.
- e. Kelarutan pati yang terbatas di dalam air. Kemampuan pati untuk membentuk tekstur yang kental dan gel akan menjadi masalah apabila dalam proses pengolahan diinginkan konsentrasi pati yang tinggi namun tidak diinginkan kekentalan dan struktur gel yang tinggi.

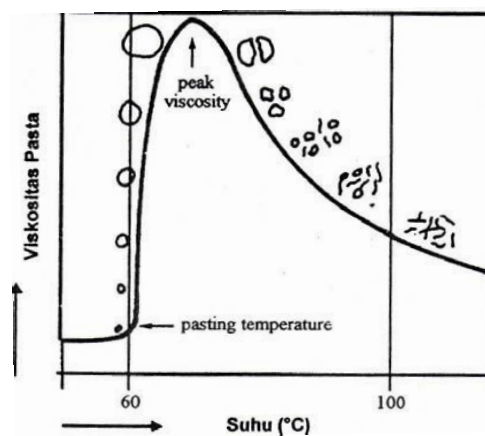
II.3 Gelatinisasi

Gelatinisasi merupakan proses pembengkakan granula pati ketika dipanaskan dalam media air. Granula pati tidak larut dalam air dingin, tetapi granula pati dapat mengembang dalam air panas. Naiknya suhu pemanasan akan meningkatkan pembengkakan granula pati. Pembengkakan granula pati menyebabkan terjadinya penekanan antara granula pati dengan lainnya. Mula-mula pembengkakan granula pati bersifat *reversible* (dapat kembali ke bentuk awal), tetapi ketika suhu tertentu sudah terlewati, pembengkakan granula pati menjadi *irreversible* (tidak dapat kembali). Kondisi pembengkakan granula pati yang bersifat irreversible ini disebut dengan gelatinisasi, sedangkan suhu terjadinya peristiwa ini disebut dengan suhu gelatinisasi. Suhu gelatinisasi tepung tapioka berada pada kisaran 52-64°C (Pomeranz, 1991).

Suhu gelatinisasi dipengaruhi oleh ukuran granula pati. Semakin besar ukuran granula memungkinkan pati lebih mudah dan lebih banyak menyerap air sehingga mudah membengkak menyebabkan pati lebih mudah mengalami gelatinisasi (suhu gelatinisasi relatif rendah) (Purnamasari dkk., 2010). Selain itu, suhu gelatinisasi tergantung juga pada konsentrasi pati. Makin kental larutan, suhu tersebut makin lambat tercapai, sampai suhu tertentu kekentalan tidak bertambah, bahkan kadang-kadang turun. Konsentrasi terbaik untuk membuat larutan gel pati jagung adalah 20%. Makin tinggi konsentrasi, gel yang terbentuk makin kurang kental dan setelah beberapa waktu viskositas akan turun. Suhu

gelatinisasi berbeda-beda bagi tiap jenis pati dan merupakan suatu kisaran. Dengan viskometer suhu gelatinisasi dapat ditentukan, misalnya pada jagung 62-70°C, beras 68-78 °C, gandum 54,5-64 °C, kentang 58-66 °C, dan tapioka 52-64 °C. Selain konsentrasi, pembentukan gel dipengaruhi oleh pH larutan. Pembentukan gel optimum pada pH 4-7. Bila pH terlalu tinggi, pembentukan gel makin cepat tercapai tapi cepat turun lagi, sedangkan bila pH terlalu rendah terbentuknya gel lambat dan bila pemanasan diteruskan, viskositas akan turun lagi. Pada pH 4-7 kecepatan pembentukan gel lebih lambat dari pada pH 10, tapi bila pemanasan diteruskan, viskositas tidak berubah (Winarno, 2002).

Proses gelatinisasi melibatkan peristiwa-peristiwa sebagai berikut: (1) hidrasi dan swelling (pengembangan) granula; (2) hilangnya sifat *birefringent*; (3) peningkatan kejernihan; (4) peningkatan konsistensi dan pencapaian viskositas puncak; (5) pemutusan molekul-molekul linier dan penyebarannya dari granula yang telah pecah (Pomeranz, 1991). Grafik perubahan pada granula pati dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perubahan Bentuk Granula Pati Selama Proses Gelatinisasi (Angela, 2001).

II.4 Daya Kembang (*Swelling Power*) dan Kelarutan Pati

Swelling power merupakan kenaikan volume dan berat maksimum pati selama mengalami pengembangan di dalam air. *Swelling power* menunjukkan kemampuan pati untuk mengembang dalam air. *Swelling power* yang tinggi berarti semakin tinggi pula kemampuan pati mengembang dalam air. Nilai *swelling power* perlu diketahui untuk memperkirakan ukuran atau volume wadah yang digunakan dalam proses produksi sehingga jika pati mengalami *swelling*, wadah yang digunakan masih bisa menampung pati tersebut (Suriani, 2008).

Faktor-faktor seperti rasio amilosa-amilopektin, distribusi berat molekul dan panjang rantai, serta derajat percabangan dan konformasinya menentukan *swelling power* dan kelarutan (Moorthy, 2004). Semakin besar *sweeling power* berarti semakin banyak air yang diserap selama pemasakan, hal ini tentu saja berkaitan dengan kandungan amilosa dan amilopektin yang terkandung dalam tepung. Semakin tinggi kadar amilosa maka nilai pengembangan volume akan semakin tinggi. Hal itu karena dengan kadar amilosa yang tinggi maka akan menyerap air lebih banyak sehingga pengembangan volume juga semakin besar (Murillo, 2008).

Sifat *swelling* pada pati sangat tergantung pada kekuatan dan sifat alami antar molekul di dalam granula pati, yang juga tergantung pada sifat alami dan kekuatan daya ikat granula. Berbagai faktor yang menentukan daya ikat tersebut adalah (1) perbandingan amilosa dan amilopektin, (2) bobot molekul dari fraksi-fraksi tersebut, (3) distribusi bobot molekul,

(4) derajat percabangan, (5) panjang dari cabang molekul amilopektin terluar yang berperan dalam kumpulan ikatan (Leach, 1959).

Swelling power dan kelarutan terjadi karena adanya ikatan non-kovalen antara molekul-molekul pati. Bila pati dimasukkan ke dalam air dingin, granula pati akan menyerap air dan membengkak. Namun demikian, jumlah air yang terserap dan pembengkakannya terbatas hanya mencapai 30% (Winarno, 2002). Ketika granula pati dipanaskan dalam air, granula pati mulai mengembang (*swelling*). *Swelling* terjadi pada daerah amorf granula pati. Ikatan hidrogen yang lemah antar molekul pati pada daerah amorf akan terputus saat pemanasan, sehingga terjadi hidrasi air oleh granula pati. Granula pati akan terus mengembang, sehingga viskositas meningkat hingga volume hidrasi maksimum yang dapat dicapai oleh granula pati (Swinkels, 1985). Ketika molekul pati sudah benar-benar terhidrasi, molekul-molekulnya mulai menyebar ke media yang ada di luarnya dan yang pertama keluar adalah molekul-molekul amilosa yang memiliki rantai pendek. Semakin tinggi suhu maka semakin banyak molekul pati yang akan keluar dari granula pati. Selama pemanasan akan terjadi pemecahan granula pati, sehingga pati dengan kadar amilosa lebih tinggi, granulanya akan lebih banyak mengeluarkan amilosa (Fleche, 1985). Selain itu, Mulyandari (1992) juga melaporkan selama pemanasan akan terjadi pemecahan granula pati, sehingga pati dengan kadar amilosa lebih tinggi, granulanya akan lebih banyak mengeluarkan amilosa.

Menurut Pomeranz (1991), kelarutan pati semakin tinggi dengan meningkatnya suhu, serta kecepatan peningkatan kelarutan adalah khas untuk tiap pati. Pola kelarutan pati dapat diketahui dengan cara mengukur berat supernatan yang telah dikeringkan dari hasil pengukuran *swelling power*. Solubilitas atau kelarutan pati tapioka lebih besar dibandingkan pati dari umbi-umbi yang lain.

Penelitian yang dilakukan Purnamasari dkk (2010) menyatakan bahwa kelarutan terkait dengan kemudahan molekul air untuk berinteraksi dengan molekul dalam granula pati dan menggantikan interaksi hidrogen antar molekul sehingga granula akan lebih mudah menyerap air dan mempunyai pengembangan yang tinggi. Adanya pengembangan tersebut akan menekan granula dari dalam sehingga granula akan pecah dan molekul pati terutama amilosa akan keluar.

II.5 Retrogradasi dan Syneresis Pati

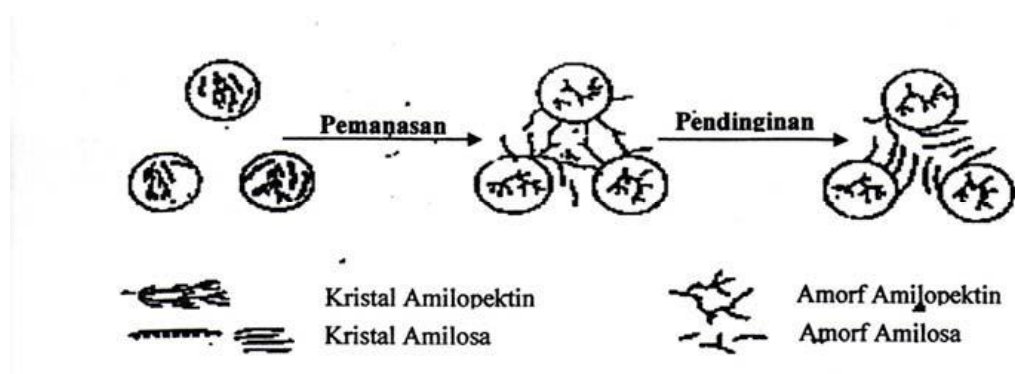
Retrogradasi adalah proses kristalisasi kembali pati yang telah mengalami gelatinisasi. Beberapa molekul pati, khususnya amilosa yang dapat terdispersi dalam air panas, meningkatkan granula-granula yang membengkak dan masuk ke dalam cairan yang ada di sekitarnya. Oleh karena itu, pasta pati yang telah mengalami gelatinisasi terdiri dari granula-granula yang membengkak yang tersuspensi ke dalam air panas dan molekul-molekul amilosa yang terdispersi ke dalam air. Molekul-molekul amilosa tersebut akan terus terdispersi, asalkan pati tersebut dalam kondisi panas. Dalam kondisi panas, pasta masih memiliki

kemampuan mengalir yang fleksibel dan tidak kaku. Bila pasta pati tersebut kemudian mendingin, energi kinetik tidak lagi cukup tinggi untuk melawan kecenderungan molekul-molekul amilosa untuk bersatu kembali. Molekul-molekul amilosa berikatan kembali satu sama lain serta berikatan dengan cabang amilopektin pada pinggir-pinggir luar granula, dengan demikian mereka menggabungkan butir-butir pati yang bengkak tersebut menjadi semacam jaring-jaring membentuk mikrokristal dan mengendap (Winarno, 2002).

Menurut Swinkels (1985), retrogradasi pasta pati atau larutan pati memiliki beberapa efek sebagai berikut: (1) peningkatan viskositas; (2) terbentuknya kekeruhan; (3) terbentuknya lapisan tidak larut dalam pasta panas; (4) terjadi presipitasi pada partikel pati yang tidak larut; (5) terbentuknya gel; dan (6) terjadinya sineresis pada pasta pati. Retrogradasi adalah proses yang kompleks dan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jenis dan konsentrasi pati, prosedur pemasakan, suhu, waktu penyimpanan, prosedur pendinginan, pH, dan keberadaan komponen lain.

Gel pati jika didiamkan beberapa lama, maka akan terjadi perluasan daerah kristal sehingga mengakibatkan pengkerutan struktur gel, yang biasanya diikuti dengan keluarnya air dari gel. Pembentukan kembali struktur kristal itu disebut retrogradasi. Sedangkan keluarnya air dari gel disebut sineresis (D'appolonia, 1971). Pada Gambar 4 menjelaskan proses gelatinisasi kemudian retrogradasi. Pada saat

dipanaskan granula mula-mula membengkak lalu pecah akibat sudah tidak dapat menampung air yang ada di sekitar granula.



Gambar 4. Perubahan Granula Pati Selama Pemanasan dan Pendinginan (Whistler *et al.*, 1984)

Viskositas pasta pati cenderung meningkat pada pendinginan dan penyimpanan. Pembentukan viskositas dan perubahan tekstur ini dapat menjadi ekstrim untuk jenis tertentu amilosa yang mengandung pati, proses ini juga dapat membentuk gel pati kaku yang disebabkan oleh reaksi antara molekul amilosa. Pada reaksi ini polimer pati biasanya disebut sebagai retrogradasi. Untuk meminimalkan atau mencegah retrogradasi, pati tersubstitusi atau distabilkan menggunakan bahan kimia monofungsional "*kelompok memblokir*" seperti asetil kelompok hidroksipropil. Substitusi dapat menurunkan suhu gelatinisasi dan menstabilkan pati dengan mencegah reaksi yaitu, retrogradasi dari polimer setelah pati dipanaskan. Substitusi sangat berguna untuk aplikasi makanan yang didinginkan dan dibekukan (Thomas *et al.*, 1997). Jika suhunya dibiarkan turun melalui pendinginan maka terjadi retrogradasi yaitu amilosa yang ada diluar granula kembali menyatu dengan cabang amilopektin melalui ikatan hidrogen (Sunarti dkk., 2007).

II.6 Modifikasi Pati

Modifikasi pati secara kimia dapat dilakukan dengan penambahan asam, oksidasi, *cross-linking*, *starch esters*, *starch ethers*, dan kationik. Modifikasi pati secara kimia dapat menyebabkan terjadinya *cross-linking* sehingga dapat memperkuat ikatan hidrogen dalam molekul pati (Yavuz, 2003). Metode substitusi menghasilkan pati tersubstitusi. Pati ini dibuat dari pati dalam bentuk granula dan substitusi tingkat rendah akan menginterupsi secara linier, mencegah retrogradasi, meningkatkan *water binding capacity* (kapasitas mengikat air), menurunkan suhu gelatinisasi dan mengubah kejernihan pasta. Terdapat dua kelompok dalam pati tersubstitusi, yang didasarkan pada senyawa yang mensubstitusinya yaitu pati ester (pati asetat, pati fosfat dan pati suksinat) dan pati ether yang meliputi carboxy methyl starch dan hydroxyl propyl starch. Pati asetat merupakan hasil asetilasi pati dimana granula pati diesterkan dengan grup asetat dengan mensubstitusi gugus hidroksil pati. Proses asetilasi dapat meningkatkan kestabilan pasta dan kejernihan, serta dapat mencegah retrogradasi. Tingkat asetilasi juga dapat dibatasi hingga dapat memperbaiki sifat-sifat yang diperlukan. Pati asetat banyak diaplikasikan pada persiapan produk-produk beku seperti es krim, cheese cake dan produk lainnya. Pati fosfat memiliki dua kelompok, yang pertama termasuk dalam pati tersubstitusi dan yang kedua termasuk dalam *cross linked starch*. Dalam kelompok pati tersubstitusi, pati fosfat memiliki fungsi yang hampir sama dengan pati asetat, dimana grup fosfat

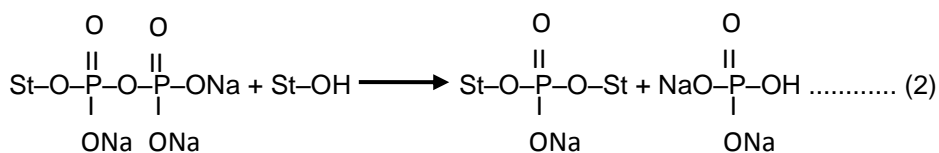
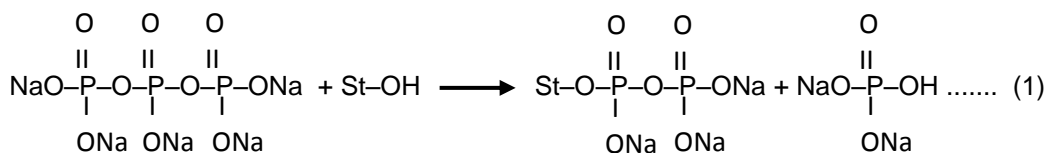
berfungsi untuk mencegah retrogradasi. Adapun pati fosfat dalam kelompok *cross linked starch* dapat digunakan untuk menstabilkan viskositas (Anonim, 2010).

Modifikasi pati metode *cross-linking*, salah satu pereaksi yang dapat digunakan adalah STPP (Sodium Tri Poli Phosphat). Sodium triphosphate (STP, kadang-kadang STPP atau natrium tripolifosfat atau TPP) merupakan senyawa anorganik dengan rumus $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$. Ini adalah garam natrium polifosfat dari panca-anion, yang merupakan basis konjugat asam triphosphor. STPP merupakan salah satu garam fosfat yang bersifat basa yang berasal dari reaksi anorganik. Karakteristik STPP adalah berupa butiran serbuk berwarna putih, higroskopis, larut dalam air tetapi dengan kelarutan rendah. STPP merupakan bahan tambahan pangan yang memiliki batas maksimal penggunaan (Anonim, 2013).

STPP (Sodium triphosphate) umumnya digunakan sebagai bahan pengemulsi, penstabil dan pengental pada susu evaporasi, susu kental manis, krim, susu bubuk, krim bubuk, es krim dan sejenisnya dengan kadar penggunaan maksimal 2-9 g STPP /Kg bahan, bergantung dari jenis produk makanannya (Badan Standarisasi Nasional, 2013b). Sedangkan untuk penggunaan pada pati modifikasi, jumlah residu phosphor pada pati tidak lebih dari 0,4% (kecuali pada pati gandum dan kentang sebesar 0,5%) (Food and Drug Administration, 2012).

Pembentukan ikatan silang dipengaruhi oleh jenis dan konsentrasi senyawa polifungsional yang dapat membentuk ikatan dengan gugus OH

pada rantai pati, kondisi pH dan suhu tertentu (Kusnandar, 2010). Penelitian yang dilakukan oleh Lim, *et all* (1993) melaporkan modifikasi pati gandum menggunakan sodium tripolyphosphat dengan pH > 10, semua bagian asam pada STPP bermuatan negatif sehingga sulit bereaksi dengan gugus hidroksil pada pati. Dalam kondisi suhu tinggi, hidroksil pati sedikit terionisasi oleh basa dan dapat menyerang fosfat pusat yang hanya membawa satu hidroksil terionisasi, daripada fosfat terminal yang sepenuhnya terionisasi (Reaksi 1 dalam Gambar 5). Melalui reaksi biomolekuler, pati pirofosfat dibentuk dengan membentuk ortofosfat. Pati pirofosfat kemudian dapat diserang oleh pati kedua hidroksil dan membentuk ikatan silang (Reaksi 2 dalam Gambar 5).



Gambar 5. Reaksi Pembentukan Ikatan Silang pada Pati Gandum Menggunakan STPP(Sodium Tripolyphosphat) (Lim, *et all.*, 1993)

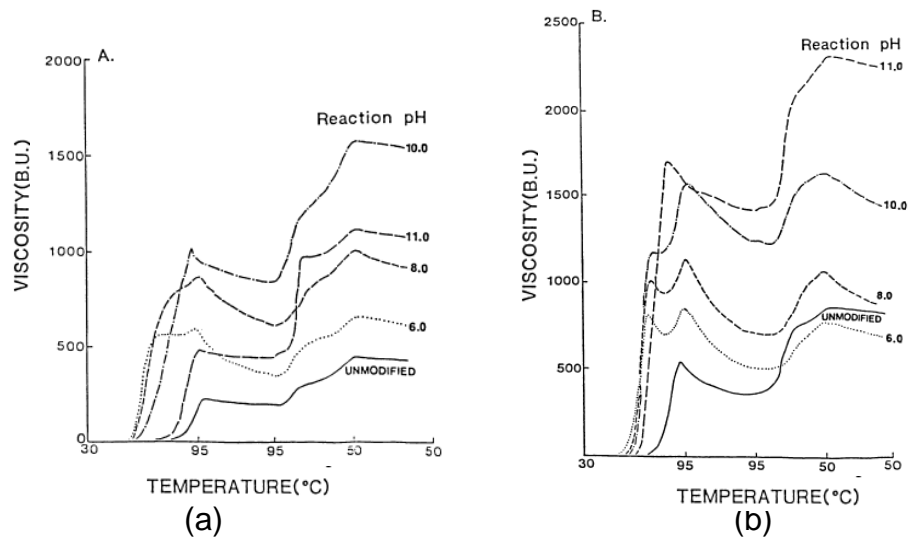
Hasil penelitian yang dilakukan Lim, *et al.*, (1993) menggunakan reagen sodium tripolyphosphat berbahan baku tepung terigu dan tepung jagung menunjukkan bahwa nilai/kandungan phosphor pada pati phosphat semakin berkurang dengan bertambahnya nilai pH. pH yang digunakan pada penelitian yaitu pada pH 6-11. Kandungan phosphor pada pati

menurun secara bertahap dari pH 6-10 namun pada pH 11 kandungan phosphor menurun drastis/sangat rendah.

Metode *cross-linking* bertujuan menghasilkan pati yang tahan tekanan mekanis, tahan asam dan mencegah penurunan viskositas pati selama pemasakan. *Cross-linking* dipakai apabila dibutuhkan pati dengan viskositas tinggi atau pati dengan ketahanan geser yang baik seperti dalam pembuatan pasta dengan pemasakan kontinu dan pemasakan cepat pada injeksi uap. Pati ikatan silang dibuat dengan menambahkan *cross-linking agent* dalam suspensi pati pada suhu tertentu dan pH yang sesuai. Dengan sejumlah *cross-linking agent*, viskositas tertinggi dicapai pada temperatur pembentukan yang normal dan viskositas ini relatif stabil selama konversi pati. Peningkatan viskositas mungkin tidak mencapai maksimum tapi secara perlahan-lahan meningkat sampai pemasakan normal, dan ini tidak untuk semua pati karena ada bahan lain terdapat dalam pati yang dapat mempercepat dan memperluas pengembangan misalnya gula (Koswara, 2006).

Cross-linking menguatkan ikatan hidrogen dalam granula dengan ikatan kimia yang berperan sebagai jembatan diantara molekul-molekul. Sebagai hasilnya, ketika pati *cross-linked* dipanaskan dalam air, granula-granulanya akan mengembang sehingga ikatan hidrogennya akan melemah (Miyazaki, 2006). Hasil penelitian Lim, *et al.*, (1993), menunjukkan sifat fisikokimia pati berbeda dengan perbedaan nilai pH yang diberikan. Semakin tinggi nilai pH yang diberikan maka akan

semakin banyak pula ikatan silang yang terbentuk. Hal ini dapat terlihat pada pH diatas pH 10, pati lebih stabil pada suhu 95°C selama 30 menit (Gambar 6).



Gambar 6. Sifat Amilografh Pati Gandum (a) dan Pati Jagung (b) pada Berbagai Perlakuan pH (Lim, *et al.*, 1993).

Swelling power adalah kekuatan tepung untuk mengembang. Faktor-faktor yang mempengaruhi antara lain: perbandingan amilosa-amilopektin, panjang rantai dan distribusi berat molekul. Tepung tapioka memiliki *swelling power* medium dibanding dengan tepung kentang dan sereal (James N. Be Miller, *et al.*, 1997). Sifat-sifat psikokimia dan rheologi produk tapioka termodifikasi seperti: *swelling power*, kelarutan, gugus karbonil, dan gugus karboksil memiliki standard tertentu berdasarkan pada penelitian yang sudah dilakukan terdahulu, seperti yang terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Standard Sifat-sifat Psikokimia dan Rheologi Tapioka.

Sifat Psikokimia	Nilai
Swelling Power (g/g)	28,70 ± 1,5
Kelarutan (%)	29,71 ± 1,3
Gugus Karbonil (%)	0,03
Gugus Karboksil (%)	0,07
Viskositas (cP)	400

Sumber: Numfor *et al.*, (1994).

Menurut Kusnandar (2010), dalam beberapa proses pengolahan pangan, bukan saja sifat-sifat ketahanan terhadap kondisi pemanasan suhu tinggi, pengadukan dan pengasaman yang diinginkan, tetapi juga kemampuan pati untuk tidak mengalami sineresis selama penyimpanan produk. Pati ikatan silang dapat menghasilkan pati yang tahan terhadap suhu tinggi, pengadukan dan pengasaman, tetapi tidak mampu menghambat laju retrogradasi.

Balogopalan *et al.*, (1988) menyatakan bahwa pati alami yang memiliki *swelling power* tinggi dan kecenderungan retrogradasinya rendah memiliki kejernihan pasta yang lebih tinggi. Suspensi pati alami dalam air berwarna buram (*opaque*), namun proses gelatinisasi pada granula pati dapat meningkatkan transparansi larutan tersebut. Pati dengan warna buram dapat digunakan untuk produk sejenis *salad dressing*. Disamping itu kejernihan dipengaruhi oleh kandungan ISSP (*insoluble starch particles*) dalam pati (Stoddard, 1999). ISSP ialah partikel-partikel pati yang tersusun atas sejumlah besar amilosa yang saling bergandengan membentuk rantai lurus.

Semakin lama waktu penyimpanan menyebabkan semakin kecilnya nilai absorbansi pada pasta pati sagu. Hal ini disebabkan oleh turunnya

suhu gelatinisasi akibat modifikasi yang diikuti retrogradasi (Varavinit, 2008). Mekanisme ini dapat dijelaskan sebagai berikut: pasta pati yang dipanaskan sampai melampaui suhu gelatinisasinya akan menyebabkan terlarutnya amilosa dari bagian pati ke bagian air. Pati yang tidak dimodifikasi memiliki suhu gelatinisasi yang paling tinggi diikuti dengan pati terasetilasi. Apabila kedua jenis pati ini dipanaskan hingga melampaui suhu gelatinisasi pati asalnya, maka amilosa yang terlarut pada pati yang dimodifikasi lebih banyak dibandingkan pati yang tidak dimodifikasi. Dalam hal ini pati terasetilasi memiliki amilosa terlarut paling banyak. Bila suhu pasta pati kemudian diturunkan hingga 25°C, amilosa terlarut cenderung berestrukturisasi/saling bergabung dengan amilosa yang lain (dikenal sebagai proses retrogradasi). Oleh karena itu, saat dianalisa dengan spektrofotometer, pada pasta pati yang dimodifikasi terdapat lebih banyak partikel-partikel amilosa sehingga menyerap lebih banyak sinar. Akibatnya adalah pasta pati yang dimodifikasi memiliki tingkat kekeruhan yang lebih tinggi daripada pati yang tidak termodifikasi (Teja dkk., 2008).

Penelitian Suriani (2008) melaporkan bahwa nilai kejernihan pasta pati garut termodifikasi yang tertinggi adalah 1 siklus 15 menit 32,99 %. Pati yang memiliki nilai kejernihan pasta tinggi menghasilkan pasta pati dengan warna yang bening atau transparan, sehingga jika digunakan sebagai bahan baku akan menghasilkan produk dengan warna yang jernih atau transparan. Nilai terendah untuk kejernihan pasta pati didapatkan dari perlakuan 5 siklus 30 menit sebesar 12,27 %. Kejernihan pasta pati

garut termodifikasi 1 siklus, 3 siklus dan 5 siklus terlihat semakin menurun. Proses pemanasan yang dilakukan berulang-ulang dapat mempengaruhi kejernihan pasta. Semakin banyak pemanasan yang terjadi menyebabkan kejernihan pasta pati cenderung menurun. Pati garut tanpa modifikasi memiliki tingkat kejernihan pasta yang lebih tinggi dibandingkan dengan pati garut termodifikasi.