



**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOPOLIMER PATI SAGU
(*Sago starch*) DENGAN PEG 1000 MENGGUNAKAN
ASAM SITRAT SEBAGAI *CROSSLINKING AGENT***

SKRIPSI

**Oleh
Norma Amalia
NIM 071810301010**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2012**



**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOPOLIMER PATI SAGU
(*Sago starch*) DENGAN PEG 1000 MENGGUNAKAN
ASAM SITRAT SEBAGAI *CROSSLINKING AGENT***

SKRIPSI

diajukan untuk memenuhi persyaratan penyelesaian Program Sarjana Sains
Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

Oleh
Norma Amalia
NIM 071810301010

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2012**

PERSEMBAHAN

Sembah sujudku Kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, juga tidak lupa junjungan kepada Nabi Besar Muhammad SAW sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Skripsi ini saya persembahkan kepada :

Ibunda Sri Sunarti Ama.Pd dan Ayahanda Sucipto S.Pd, yang telah mencurahkan kasih sayang, mendo'akan, mendidik dengan penuh ketulusan serta kesabaran.

Kakak-kakakku tersayang Aries Mery Subekti S.Pd, Setyo Adi Laksono S.Pd dan Didit Satria S.Pd yang telah memberikan semangat serta dukungan selama ini.

Semua Bapak Ibu guru TK Brawijaya Blitar, SDN Plosokerep 3, SMPN 2 Blitar, dan SMAN 3 Blitar. Serta Bapak Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA.

Almamaterku tercinta Universitas Jember

MOTTO

Allah SWT akan meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.
(terjemahan Surat *Al-Mujadalah* ayat 11)^{*)}

Siapa yang bersungguh-sungguh akan sukses, siapa yang bersabar akan beruntung
Man jadda wa jada, man shabara zhafira.^{*)}

^{*)} Departemen Agama Republik Indonesia, 1998. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang : PT Kumudasmoro Grafindo.

^{*)} Pepatah Arab

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Norma Amalia

NIM : 071810301010

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul *Sintesis dan Karakterisasi Kopolimer Pati Sagu (Sago starch) dengan PEG 1000 Menggunakan Asam Sitrat Sebagai Crosslinking Agent* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 28 Februari 2012

Yang menyatakan,

Norma Amalia

NIM 071810301010

SKRIPSI

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOPOLIMER PATI SAGU
(*Sago starch*) DENGAN PEG 1000 MENGGUNAKAN ASAM SITRAT
SEBAGAI *CROSSLINKING AGENT***

Oleh

Norma Amalia

NIM 071810301010

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Achmad Sjaifullah M.Sc, Ph.D
Dosen Pembimbing Anggota : drh. Wuryanti Handayani M. Si

PENGESAHAN

Skripsi berjudul *Sintesis dan Karakterisasi Kopolimer Pati Sagu (Sago starch) dengan PEG 1000 Menggunakan Asam Sitrat Sebagai Crosslinking Agent* telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Jember pada :

hari :
tanggal :
tempat : FMIPA

Tim Penguji

Ketua (DPU),

Sekretaris (DPA),

Drs. Achmad Sjaifullah M.Sc., Ph.D.
NIP. 195910091986021001

drh. Wuryanti Handayani M.Si.
NIP. 196008221985032002

Anggota Tim Penguji

Penguji I,

Penguji II,

I Nyoman Adi Winata S.Si., M.Si.
NIP. 197105011998021002

Ika Oktavianawati S.Si., M.Sc.
NIP. 198010012003122001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

Prof. Drs. Kusno DEA., Ph.D.
NIP. 1961101081986021001

RINGKASAN

Sintesis dan Karakterisasi Kopolimer Pati Sagu (*Sago starch*) dengan PEG 1000 Menggunakan Asam Sitrat Sebagai *Crosslinking Agent*; Norma Amalia, 071810301010; 2012; 49 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Pati sagu adalah salah satu jenis polimer alam yang pemanfaatannya masih terbatas pada pemenuhan sumber energi. Untuk itu, perlu adanya pemanfaatan jenis lain agar penggunaan pati sagu lebih optimal. Polietilenglikol (PEG) 1000 merupakan polimer sintetik yang disusun dari etilen oksida dan air, selain itu PEG tidak beracun sehingga aman untuk digunakan. Agen *crosslink* berupa asam sitrat diperlukan karena selain menghasilkan kopolimer yang memiliki sifat dan struktur yang lebih baik, juga menaikkan sifat mekanik serta ketahanannya terhadap air. Kopolimer yang dihasilkan diuji karakteristik kimia maupun fisiknya.

Penelitian dilakukan dalam tiga tahap, pada tahap pertama yaitu pencucian pati sagu sebelum digunakan untuk membentuk kopolimer. Tahap kedua adalah pembuatan kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat (gram) dengan komposisi 5,0/0,5/4,0; 5,0/0,5/5,0 dan 5,0/0,5/6,0. Selain itu dibuat 3 film kontrol untuk mengetahui perbedaannya yaitu 5,0/0,0/0,0 (tanpa PEG 1000 dan asam sitrat), 5,0/0,5/0,0 (tanpa asam sitrat) dan 5,0/0,0/4,0 (tanpa PEG 1000). Gel pati yang terbentuk setelah pemanasan, ditambahkan asam sitrat terlebih dahulu dan diaduk sebentar kemudian ditambahkan PEG 1000. Suspensi kopolimer tersebut kembali dipanaskan dan diaduk agar homogen. Suspensi kopolimer yang terbentuk didinginkan dan dilakukan pencucian, selanjutnya suspensi dicetak dalam plat kaca dan dioven pada temperatur 60°C selama 24 jam. Kopolimer yang terbentuk disimpan dalam desikator sebelum dikarakterisasi.

Tahap ketiga yaitu karakterisasi kimia dan fisika terhadap kopolimer yang terbentuk. Karakterisasi kimia yaitu dengan uji IR, hal tersebut dilakukan untuk

mengetahui gugus fungsi apa saja yang terdapat dalam kopolimer. Asam sitrat adalah asam trikarboksilat, yang memiliki 3 gugus karboksil yang diharapkan dapat bereaksi dengan gugus OH pada pati sagu maupun PEG 1000 yang membentuk ikatan ester di daerah bilangan gelombang $\sim 1740 \text{ cm}^{-1}$.

. Karakterisasi fisik dilakukan dengan uji derajat *swelling* dan kecepatan *swelling*, yang dilakukan dengan merendam kopolimer ke dalam berbagai pH yang disesuaikan dengan kondisi pH tubuh. Ikatan ester yang dihasilkan dalam kopolimer menyebabkan struktur jaringan kopolimer semakin rapat, sehingga difusi air ke dalam kopolimer lebih sulit jika dibandingkan dengan kopolimer kontrol yang tidak menghasilkan ester. Semakin banyak asam sitrat yang ditambahkan maka derajat *swelling* semakin rendah, dimana derajat *swelling* tertinggi berada di air. Kecepatan *swelling* menyatakan banyaknya pelarut yang terserap tiap menit. Sifat hidrofilik yang dimiliki kopolimer menyebabkan air akan terus berdifusi, dan untuk mencapai kesetimbangan dibutuhkan waktu yang lama. *Crosslink* pada kopolimer menyebabkan struktur jaringan kopolimer semakin rapat sehingga dibutuhkan waktu yang lebih lama agar air dapat berdifusi dalam kopolimer. Semakin banyak agen crosslink dan semakin lama waktu *swelling* menyebabkan kecepatan *swelling* akan menurun.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Sintesis dan Karakterisasi Kopolimer Pati Sagu (Sago starch) dengan PEG 1000 Menggunakan Asam Sitrat Sebagai Crosslinking Agent*. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Drs. Achmad Sjaifullah M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember serta Dosen Pembimbing Utama dan Ibu drh. Wuryanti Handayani M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam skripsi ini;
2. Bapak I Nyoman Adi Winata S.Si., M.Si., dan Ibu Ika Oktavianawati S.Si., M.Sc., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran serta masukan yang berharga dalam penyempurnaan penyusunan skripsi ini;
3. Bapak Ir. Neran M.Kes., selaku Dosen Pembimbing Akademik, seluruh dosen pengajar, staf dan teknisi laboratorium di Jurusan Kimia serta teknisi Laboratorium Instrumen Universitas Brawijaya;
4. Syaifia Rachmah dan Siti Aisyah Ika Yuniarti sebagai teman satu penelitian serta teman-teman kimia angkatan 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 dan 2011;
5. keluarga besar kos 'ALM 71 uye' dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Februari 2012

Norma Amalia

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pati Sagu	5
2.2 Polietilenglikol (PEG)	7
2.3 Asam Sitrat	9
2.4 Ikatan Silang (<i>Crosslinking</i>)	11
2.5 Esterifikasi	12

2.6 Kopolimer	14
2.7 Polimer Jaringan	15
2.8 Karakterisasi Kimia dan Fisika Kopolimer Pati Sagu/PEG 1000	
2.8.1 Spektroskopi Infra Merah (<i>Infrared Soectroscopy (IR)</i>).....	16
2.8.2 Derajat <i>Swelling</i> dan Kecepatan <i>Swelling</i>	17
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	19
3.2 Alat dan Bahan	
3.2.1 Alat	19
3.2.2 Bahan	19
3.3 Diagram alir penelitian	20
3.4 Prosedur Penelitian	
3.4.1 Pencucian tepung sagu.....	20
3.4.2 Preparasi kopolimer pati sagu/PEG 1000 terhadap asam sitrat sebagai agen <i>crosslink</i>	21
3.4.3 Kopolimer pati sagu/PEG 1000 terhadap asam sitrat sebagai agen <i>crosslink</i>	21
3.4.4 Pembuatan buffer.....	22
3.4.5 Uji struktur.....	22
3.4.6 Uji derajat <i>swelling</i> dan kecepatan <i>swelling</i>	23
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pembuatan Kopolimer Pati Sagu/PEG 1000 dengan Asam Sitrat sebagai Agen <i>Crosslink</i>	24
4.2 Karakteristik Kimia Kopolimer Pati Sagu/PEG 1000 dengan Asam Sitrat sebagai Agen <i>Crosslink</i>	28
4.3 Karakteristik Fisik Film Kopolimer Pati Sagu/PEG 1000 dengan Asam Sitrat sebagai Agen <i>Crosslink</i>	30
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	35

5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN	39

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Komposisi kimia pati sagu dalam 100 g bahan.....	7
2.2 Sifat fisik PEG 1000	9
3.1 Variasi konsentrasi awal kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat.....	21
3.2 Variasi konsentrasi kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat	21
3.3 Variasi pH buffer pada kopolimer.....	23

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Struktur amilosa (a) dan amilopektin (b)	6
2.2 Struktur PEG	9
2.3 Struktur asam sitrat	10
2.4 Mekanisme reaksi esterifikasi	12
2.5 Macam kopolimer	15
2.6 Struktur polimer jaringan	15
3.1 Diagram alir penelitian.....	20
4.1 Pati sagu sebelum (a) dan setelah pencucian (b).....	24
4.2 Kopolimer yang tidak homogen.....	25
4.3 Pencucian suspensi dengan aquades	26
4.4 Kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat (gram), 5/0/0 (a); 5/0,5/0 (b) 5/0/4 (c); 5/0,5/4 (d); 5/0,5/5 (e) dan 5/0,5/6 (f)	27
4.5 Serapan FTIR kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat	29
4.6 Derajat <i>swelling</i> kopolimer	31
4.7 Derajat <i>swelling</i> selama 60 menit	31
4.8 Kecepatan <i>swelling</i> selama 15 menit (a); 30 menit (b) dan 60 menit (c).....	33

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A.1 Spektra FTIR Kopolimer 5,0/0,0/0,0	39
A.2 Spektra FTIR Kopolimer 5,0/0,5/0,0	39
A.3 Spektra FTIR Kopolimer 5,0/0,0/4,0	40
A.4 Spektra FTIR Kopolimer 5,0/0,5/4,0	40
A.5 Spektra FTIR Kopolimer 5,0/0,5/5,0	41
A.6 Spektra FTIR Kopolimer 5,0/0,5/6,0	41
B.1 Kopolimer 5,0/0,0/0,0	42
B.2 Kopolimer 5,0/0,5/0,0	43
B.3 Kopolimer 5,0/0,0/4,0	44
B.4 Kopolimer 5,0/0,5/4,0	45
B.5 Kopolimer 5,0/0,5/5,0	46
B.6 Kopolimer 5,0/0,5/6,0	47
E.1 Derajat <i>Swelling</i>	4°
E.2 Kecepatan <i>Swelling</i>	48
E.3 Standart Deviasi.....	49

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Polimer sangat berperan bagi kehidupan, yang tanpa disadari penggunaannya telah meluas di berbagai bidang. Plastik, karet dan kain merupakan sebagian kecil polimer yang paling sering digunakan. Bidang pertanian, farmasi dan biomedis merupakan bidang lain yang juga memanfaatkan polimer. Sebagian besar polimer, berasal dari bahan sintetik yang kurang ramah lingkungan karena nonbiodegradabel. Sehingga dapat mencemari lingkungan atau beracun bila digunakan manusia. Berbagai penelitian telah dikembangkan untuk memodifikasi polimer tersebut agar tidak menimbulkan dampak negatif dan ramah lingkungan. Penelitian yang dilakukan salah satunya yaitu modifikasi polimer alam dengan polimer sintetik, sehingga menghasilkan struktur yang biodegradabel dan tidak beracun. Penggunaan campuran polimer antara polimer alam dengan polimer sintetik (*blend* polimer) telah meluas di berbagai bidang, salah satunya bidang medis dan farmasi.

Polimer alam merupakan sumber bioteknologi dan biomedis telah diteliti secara luas karena sifatnya yang unik, yaitu tidak beracun, mudah didegradasi dan kompatibilitas biomedisnya (Peesan *et al*, 2003). Selain itu keberadaan polimer alam melimpah serta harganya relatif terjangkau. Pati adalah salah satu polimer alam yang banyak dikembangkan pada aplikasi medis dan farmasi. Bahan makanan yang banyak mengandung pati dan paling sering digunakan salah satunya adalah tepung sagu. Pati sagu berbentuk elips (*prolate ellipsoidal*), mirip pati kentang dengan ukuran 5–80 mm dan relatif lebih besar dari pati sereal. Pati sagu mengandung sekitar 27% amilosa dan sekitar 73% amilopektin (Wirakartakusumah, 1986). Rasio amilosa dan amilopektin akan mempengaruhi sifat-sifat pati itu sendiri. Apabila kadar amilosa tinggi maka pati akan bersifat kering, kurang lekat dan cenderung meresap air lebih banyak (higroskopis), jika kadar amilopektin lebih tinggi maka pati akan bersifat lebih lengket.

Polietilenglikol (PEG) merupakan polimer sintetik yang disusun dari etilen oksida dan air, dibuat menjadi bermacam-macam panjang rantainya. Pemberian nomor pada PEG menunjukkan berat molekul rata-rata dari masing-masing polimernya. Polietilenglikol (PEG) mempunyai beberapa keuntungan antara lain secara fisiologi inert, tidak terhidrolisis, tidak mendukung pertumbuhan jamur, mempunyai beberapa macam berat molekul (Sujono, 2003 dalam Astuti 2008).

Pati adalah biopolimer karbohidrat yang mudah mengalami degradasi. Sagu yang telah diolah menjadi pati, mengalami degradasi polimer akibat kerusakan ikatan rantai. Degradasi tersebut terjadi selama proses pengolahan, sehingga dapat mengubah sifat dan struktur kimia pati sagu. Perlu suatu agen *crosslink* untuk memperbaiki sifat dan struktur kimia pati sagu, salah satunya menggunakan asam sitrat. Asam sitrat termasuk asam trikarboksilat yang merupakan bahan kimia tidak beracun. Pertimbangannya adalah pati sagu yang penyusun utamanya berupa polisakarida sehingga memiliki banyak gugus hidroksil, jika direaksikan dengan suatu senyawa yang memiliki gugus karboksilat dapat membentuk poliester.

Pati sagu merupakan bahan makanan yang sering digunakan sebagai sumber energi. Penelitian ini dilakukan untuk membuat sifat lain dari pati sagu tersebut, selain sebagai sumber energi. Hal ini didukung oleh penelitian-penelitian sebelumnya, salah satunya Narendra *et.al*, telah melakukan pengujian terhadap penggunaan asam sitrat sebagai agen *crosslink* dengan pati yang komposisi amilopektinnya lebih sedikit daripada pati sagu, dimana menunjukkan kenaikan kuat tarik sebesar 150%. Pati sagu diharapkan dapat menghasilkan kopolimer dengan kekuatan ikatan lebih besar daripada pati lain. Kopolimer pati sagu dan asam sitrat yang terbentuk menunjukkan kestabilan, dibandingkan dengan tanpa menggunakan asam sitrat sebagai agen *crosslink*, serta asam sitrat dapat mencegah retrodegradasi (Yu *et al.*, 2009).

Oleh karena beberapa alasan diatas, digunakan tepung sagu dan PEG 1000 yang dikopolimerisasi dengan asam sitrat dan diharapkan dapat menghasilkan biopolimer yang sifatnya cocok pada suatu penggunaan, misalnya pada aplikasi medis

dan farmasi sebagai *drug delivery system*. Teknologi tersebut dirancang untuk menghantarkan komponen aktif obat-obatan agar sampai pada organ target yang akan diobati.

Penelitian ini difokuskan untuk mempelajari sintesis kopolimer pati sagu/PEG 1000 serta pengaruh komposisi PEG 1000 dan variasi komposisi asam sitrat sebagai agen *crosslink*. Penelitian ini juga mempelajari karakteristik fisika berupa derajat *swelling* kopolimer pati sagu/PEG 1000 pada berbagai variasi pH dan karakteristik kimia berupa uji struktur.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dipelajari dalam penelitian ini adalah :

- 1) Bagaimana mensintesis kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat ?
- 2) Bagaimana karakteristik kimia berupa uji struktur kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat ?
- 3) Bagaimana karakteristik fisik berupa uji derajat *swelling* dan kecepatan *swelling* kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- 1) Mempelajari sintesis kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat.
- 2) Mempelajari karakteristik kimia berupa uji struktur kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat.
- 3) Mempelajari karakteristik fisik berupa uji derajat *swelling* dan kecepatan *swelling* kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat.

1.4 Batasan Masalah

- 1) Pati sagu yang digunakan berasal dari tepung sagu komersil.

- 2) Agen *crosslink* yang digunakan untuk membentuk kopolimer adalah asam sitrat.
- 3) Asam sitrat yang digunakan adalah asam sitrat pro analisis (p.a).
- 4) Buffer yang digunakan adalah buffer phospat.
- 5) Analisa struktur/gugus fungsi kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat menggunakan FTIR.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

- 1) Memberi kontribusi dalam pengembangan potensi pati sagu dalam bidang yang lebih luas.
- 2) Memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu polimer dalam pengembangan material alam.
- 3) Informasi karakteristik hidrogel pati sagu/PEG 1000 dengan asam sitrat yang dihasilkan diharapkan dapat digunakan untuk aplikasi dalam bidang medis dan farmasi sebagai *drug delivery system*.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pati Sagu

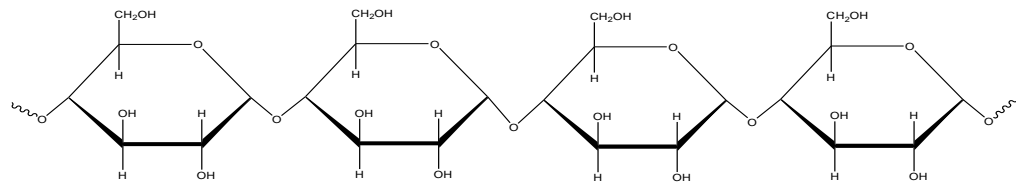
Sagu (*Metroxylon sagu* Rottb.) merupakan tanaman asli Asia Tenggara. Penyebarannya meliputi Melanesia Barat sampai India Timur dan dari Mindanao Utara sampai Pulau Jawa dan Nusa Tenggara bagian selatan. Tanaman sagu tumbuh secara alami terutama di daerah dataran atau rawa dengan sumber air yang melimpah (Oates dan Hicks, 2002 dalam Limbongan, 2007).

Sekitar 50% tanaman sagu dunia atau 1.128 juta ha tumbuh di Indonesia (Flach, 1983 dalam Limbongan 2007), dan 90% dari jumlah tersebut atau 1.015 juta ha berkembang di Provinsi Papua dan Maluku (Lakuy, 2003 dalam Limbongan 2007). Produk ini digunakan untuk pengolahan makanan, pakan, kosmetika, industri kimia dan pengolahan kayu (Dewan Ilmu Pengetahuan, Teknologi dan Industri Sumatera Barat, 2001).

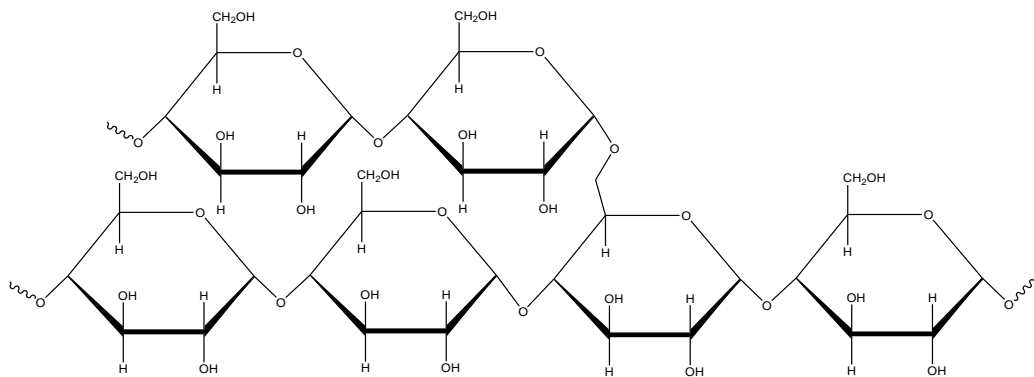
Sifat atau kualitas pati sagu dipengaruhi oleh faktor genetik serta proses ekstraksinya, seperti peralatan dan air yang digunakan, cara penyimpanan potongan batang sagu dan penyaringan (Flach, 1983 dalam Limbongan 2007). Pati sagu umumnya berwarna putih. Menurut Purwani dkk (2006), derajat putih pati sagu bervariasi dan dapat berubah selama penyimpanan.

Pati atau amilum adalah karbohidrat kompleks yang tidak larut dalam air, berwujud bubuk putih, tawar, dan tidak berbau. Pati merupakan bahan utama yang dihasilkan oleh tumbuhan untuk menyimpan kelebihan glukosa (sebagai produk fotosintesis dalam jangka panjang). Perbedaan sifat berbagai pati dihasilkan dari perbedaan proporsi amilosa (rantai pati linier) dan amilopektin (rantai panjang bercabang). Pati sagu berbentuk elips (*prolate ellipsoidal*), mirip pati kentang dengan ukuran 5–80 mm dan relatif lebih besar dari pati sereal. Pati sagu mengandung sekitar 27 % amilosa (α 1,4) dan sekitar 73 % amilopektin (α 1,6)

(Wirakartakusumah, 1986). Butiran pati dapat disertakan sebagai pengisi biodegradable ke dalam polimer sintetik non-biodegradable. Secara prinsip, pati sesuai untuk proses sebagai termoplastik. Struktur amilosa dan amilopektin tertera pada gambar 2.1.



(a)



(b)

Gambar 2.1 Struktur amilosa (a) dan amilopektin (b)

Sifat pati tidak larut dalam air namun bila suspensi pati dipanaskan akan terjadi gelatinasi setelah mencapai suhu tertentu (suhu gelatinasi). Hal ini disebabkan oleh pemanasan energi kinetik molekul-molekul air yang menjadi lebih kuat daripada daya tarik menarik antara molekul pati dalam granula, sehingga air dapat masuk ke dalam pati tersebut dan pati akan membengkak. Granula pati dapat membengkak luar biasa dan pecah sehingga tidak dapat kembali pada kondisi semula. Perubahan sifat inilah yang disebut gelatinasi. Suhu pada saat butir pati pecah disebut suhu gelatinasi (Winarno, 1986 dalam Hasibuan, 2009).

Terjadinya peningkatan viskositas selama gelatinasi disebabkan oleh yang sebelumnya berada di luar granula dan bebas bergerak sebelum suspensi dipanaskan, kini sebagian sudah berada dalam butir-butir pati dan tidak dapat bergerak bebas lagi karena terikat gugus hidroksil dalam molekul pati. Apabila suhu dinaikkan, maka viskositas pasta/gel berkurang. Menurut Knight (1986) suhu gelatinasi pati sagu sekitar 60-72°C, tetapi menurut Wirakartakusumah (1986) sekitar 72-90°C (Hasibuan, 2009).

Pati sagu atau yang biasa disebut tepung sagu oleh masyarakat, selama ini hanya digunakan sebagai bahan makanan sumber energi dan belum diketahui manfaat lainnya. Sehingga penelitian ini difokuskan untuk membuat atau mencari sifat lain dari pati sagu tersebut, selain sebagai sumber energi. Komposisi kimia pati sagu tertera pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Pati Sagu Dalam 100 g Bahan

Komponen	Satuan	Jumlah
Protein	g	0,7
Lemak	g	0,2
Karbohidrat	g	84,7
Air	g	14,0
Fosfor	mg	13,0
Kalsium	mg	11,0
Besi	mg	1,5
Kalori	Kal	353,0

Sumber : Direktorat Gizi, Dep. Kes. RI (1979)

2.2 Polietilenglikol (PEG)

Polietilena merupakan polimer sintetik yang merupakan hasil rekayasa manusia, polimer umumnya dikelompokkan berdasarkan perilaku mekanik dan

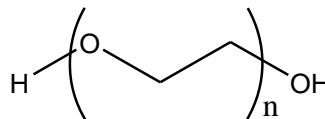
struktur rantai atau molekulnya. Polimer termoplastik, misalnya polietilena, adalah jenis polimer yang memiliki sifat-sifat termoplastik yang disebabkan oleh struktur rantainya yang linear (*linear*), bercabang (*branched*) atau sedikit bersambung (*cross linked*). Polimer dari jenis ini akan bersifat lunak dan kental (*viscous*) pada saat dipanaskan dan menjadi keras dan kaku (*rigid*) pada saat didinginkan (Saptono, 2008).

Polietilenglikol (PEG) merupakan polimer dari etilen oksida dan air, dibuat menjadi bermacam-macam panjang rantainya. Bahan ini terdapat dalam berbagai macam berat molekul dan yang paling banyak digunakan adalah polietilenglikol 200, 400, 600, 1000, 1500, 1540, 3350, 4000, dan 6000. Pemberian nomor menunjukkan berat molekul rata-rata dari masing-masing polimernya. PEG yang memiliki berat molekul rata-rata 200, 400 dan 600 berupa cairan bening tidak berwarna dan mempunyai berat molekul rata-rata lebih dari 1000 berupa lilin putih, padat. Macam-macam kombinasi dari PEG bisa digabung dengan cara melebur (Ansel, 1989 dalam Norvisari, 2008).

PEG merupakan polimer larut air, polimer ini tidak berwarna, tidak berbau dan kekentalannya berbeda-beda tergantung jumlah $n = 2, 3, 4$ dan maksimum n berjumlah 180. Polimer dengan berat molekul rendah ($n = 2$) disebut dietil glikol dan ($n = 4$) disebut tetra etil glikol. Polimer dengan berat molekul yang tinggi biasanya disebut poli (etilena glikol). Penggunaan PEG dapat dijumpai diberbagai industri. Area industri yang paling banyak menggunakan PEG adalah farmasi dan industri tekstil. Contoh berbagai produk yang menggunakan PEG adalah keramik, *metal-forming*, obat supositoria, krim kosmetik, lotion, deodoran, minyak pelumas (Barnes, 1992 dalam Norvisari, 2008).

Sifat PEG yang lunak dan rendah racun membuatnya banyak dipergunakan sebagai dasar obat salep, dan pembawa dari bahan obat. Sifat PEG yang larut dalam air menyebabkan bahan obat mudah terlepas dan terserap pada kulit lebih cepat dari minyak yang teremulsi dalam air. Daya larut dalam air memberi keuntungan lantaran memberi kemudahan pengeluaran formulasinya setelah mencapai tujuan (Mark *et al.*,

1966 dalam Safitri, 2010). PEG mempunyai beberapa keuntungan antara lain secara fisiologi inert, tidak terhidrolisis, tidak mendukung pertumbuhan jamur, mempunyai beberapa macam molekul (Sujono, 2003, dalam Astuti 2008). Struktur PEG tertera pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur PEG

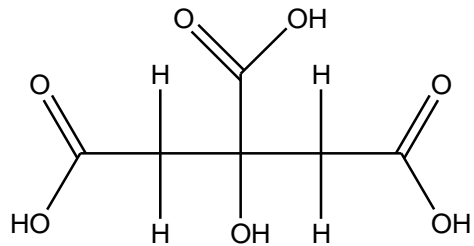
Tabel 2.2 Sifat Fisik PEG 1000

Sifat Fisik	Nilai Rata-rata
Keadaan fisik/penampilan	Padatan
Warna	Putih
Berat molekul (g/mol)	1000
Titik didih (°C)	200
Titik beku (°C)	37-40

Sumber : Merck (2010)

2.3 Asam Sitrat

Asam sitrat dapat ditemukan pada daun dan buah tumbuhan genus *Citrus* (jeruk-jerukan). Senyawa ini merupakan bahan [pengawet](#) yang baik dan alami, selain digunakan sebagai penambah rasa masam pada makanan dan [minuman ringan](#). Dalam [biokimia](#), asam sitrat dikenal sebagai senyawa antara dalam [siklus asam sitrat](#), yang penting dalam [metabolisme](#) makhluk hidup, sehingga ditemukan pada hampir semua [mahluk hidup](#). Zat ini juga dapat digunakan sebagai zat pembersih yang ramah [lingkungan](#) dan sebagai [antioksidan](#). [Rumus kimia](#) asam sitrat adalah $C_6H_8O_7$ (Raharjo, 2008 dalam Rahayu, 2009). Struktur asam sitrat tertera pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Struktur asam sitrat

Penggunaan utama asam sitrat saat ini adalah sebagai zat [pemberi cita rasa](#) dan [pengawet](#) makanan dan minuman, terutama [minuman ringan](#). Asam sitrat juga diaplikasikan oleh Coma, V. 2002 sebagai agen crosslinker pada derivat selulosa dan dihasilkan polimer yang lebih tahan terhadap uap air. Adanya asam sitrat ini dapat meningkatkan ketahanannya terhadap air hingga 34%.

Keasaman asam sitrat didapatkan dari tiga gugus karboksil COOH yang dapat melepas proton dalam larutan. Sitrat sangat baik digunakan dalam larutan penyangga untuk mengendalikan pH larutan. Penggunaan utama asam sitrat ini adalah sebagai zat pemberi cita rasa dan pengawet makanan dan minuman, terutama minuman ringan. Kode asam sitrat sebagai zat aditif makanan (*E number*) adalah E330. Sifat sitrat sebagai larutan penyangga digunakan sebagai pengendali pH pada larutan pembersih dalam rumah tangga dan obat-obatan (Lisensi Dokumentasi Bebas GNU, 2011).

Pada temperatur kamar, asam sitrat berbentuk serbuk kristal berwarna putih. Serbuk kristal tersebut dapat berupa bentuk *anhydrous* (bebas air), atau bentuk monohidrat yang mengandung satu molekul air untuk setiap molekul asam sitrat. Bentuk *anhydrous* asam sitrat mengkristal dalam air panas, sedangkan bentuk monohidrat didapatkan dari kristalisasi asam sitrat dalam air dingin. Bentuk monohidrat tersebut dapat diubah menjadi bentuk *anhydrous* dengan pemanasan di atas 74⁰C. Secara kimia, asam sitrat bersifat seperti asam karboksilat lainnya. Jika dipanaskan di atas 175⁰C, asam sitrat akan terurai dengan melepaskan karbondiosida dan air. Asam sitrat dikategorikan aman digunakan pada makanan oleh semua badan

pengawasan makanan nasional dan internasional. Senyawa ini secara alami terdapat pada semua jenis makhluk hidup, dan kelebihan asam sitrat dengan mudah dimetabolisme dan dihilangkan dari tubuh (Lisensi Dokumentasi Bebas GNU, 2011).

2.4 Ikatan Silang (*Crosslinking*)

Ikatan silang dapat digambarkan sebagai ikatan antara dua rantai polimer yang bergabung satu sama lain melalui suatu cabang (*branch*) (Odion, 1991). Ikatan silang antar polimer ini dapat terjadi dengan bantuan *crosslinking agent* yang jumlahnya 2-12 % dari jumlah masing-masing komponen polimer yang berikatan (Wenten, 1999).

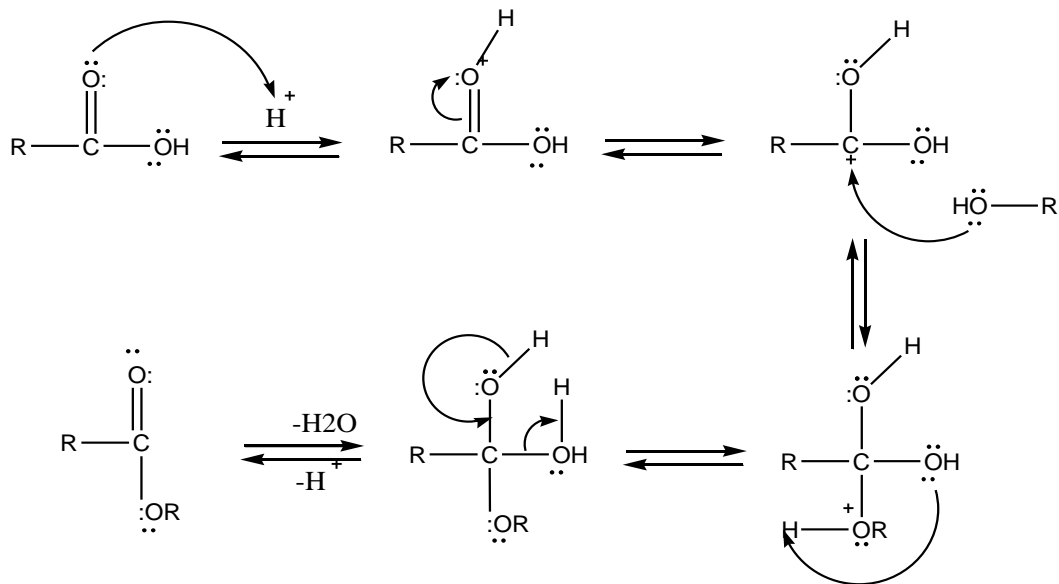
Secara umum ikatan silang dibedakan menjadi 2 yaitu, ikatan silang kimia (*chemical crosslinking*) dan ikatan silang fisika (*physical crosslinking*). Ikatan silang kimia dapat terjadi melalui ikatan kovalen maupun ion. Ikatan silang pada suatu polimer dapat mempengaruhi derajat pengembangan/pembengkakan (*swelling*). Ketika terdapat pelarut, suatu polimer ikat silang akan mengembang, pada saat molekul-molekul pelarut menembus jaringannya. Tingkat pengembangan atau pembengkakan (*swelling*) ini bergantung pada tingkat pengikat silangan dan afinitas antara pelarut dan polimer. Ikatan silang fisika terdiri dari ikatan-ikatan silang yang labil secara termal, yakni ikatan yang putus oleh pemanasan dan mengikat kembali setelah pendinginan (Stevens, 2007).

Crosslinking dalam polimer terjadi ketika ikatan valensi primer terbentuk antara molekul-molekul rantai polimer yang terpisah. Selain ikatan dimana monomer membentuk rantai polimer, ikatan polimer yang lain terbentuk diantara polimer tetangganya. Ikatan ini dapat terbentuk secara langsung diantara rantai tetangganya, atau dua rantai dapat terikat menjadi rantai yang lain. Walaupun tidak sekuat ikatan pada rantai, *crosslink* mempunyai peran yang sangat penting pada polimer. Ketika polimer diregangkan, ikatan *crosslink* mencegah rantai untuk berpisah. Ikatan ini memperkuat, namun ketika tegangan dihilangkan maka struktur akan kembali ke bentuk semula dan objek pun demikian (Umam *et al.*, 2008 dalam Rahayu, 2009).

Penelitian ini menggunakan asam sitrat sebagai *crosslinking agent*. Asam sitrat termasuk asam trikarboksilat yang merupakan bahan kimia tidak beracun. Pertimbangannya adalah gugus karboksilat pada asam sitrat dapat berikatan silang secara kimia (*chemical crosslinking*) dengan polimer alam (pati sagu), dimana polimer tersebut banyak memiliki gugus hidroksil yang selanjutnya dapat mengalami esterifikasi.

2.5 Esterifikasi

Esterifikasi merupakan mekanisme pembentukan ester dari asam karboksilat dan alkohol yang dikatalis oleh asam. Reaksi esterifikasi merupakan reaksi substitusi nukleofil dan bukan reaksi asam basa. Gugus OH dari asam karboksilat disubstitusi oleh gugus OR dari alkohol. Reaksi esterifikasi merupakan reaksi dapat balik, karena gugus OH sebagai gugus pergi juga merupakan suatu nukleofil. Untuk menggeser kesetimbangan ke kanan sehingga dihasilkan ester yang lebih banyak maka dapat dilakukan dengan mengurangi/membuang air sebagai hasil reaksi dalam kesetimbangan di atas. Mekanisme reaksinya tertera pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Mekanisme reaksi esterifikasi

Tahap-tahap esterifikasi :

1. Protonasi gugus karbonil, meningkatkan muatan positif atom C karbonil dan menambah keaktifannya terhadap nukleofil.
2. Serangan nukleofil dari alkohol, tahap yang paling menentukan pembentukan ikatan baru C-O.
3. Keseimbangan lepasnya dan terikatnya proton dari oksigen. Kedua gugus OH ekuivalen, salah satu diprotonasi.
4. Setelah OH⁻ diprotonasi berubah berubah menjadi leaving group yang baik dan lepas sebagai molekul H₂O.
5. Regenerasi katalis asam, H⁺ dilepaskan dan ester dihasilkan.

Ester-ester sederhana mudah dihidrolisis melalui reaksi dengan asam atau basa encer. Poliester diserang dengan mudah oleh basa, tetapi jauh lebih lambat oleh asam encer. Hidrolisis dengan air saja sangat lambat sehingga hampir tidak diperhitungkan (poliester tidak akan terurai menjadi bagian-bagian kecil jika terkena air hujan) (Lisensi Dokumentasi Bebas GNU, 2011).

Poliester adalah sebuah polimer (sebuah rantai dari unit yang berulang-ulang) dimana masing-masing unit dihubungkan oleh sebuah sambungan ester (Arifin, 2008). Poliester merupakan hasil polimerisasi kondensasi yaitu polimerisasi yang disertai dengan pembentukan molekul kecil (H₂O, NH₃).

Sintesis poliester pada umumnya dicapai dengan reaksi polikondensasi. Sebuah poliester dibuat dengan reaksi yang melibatkan sebuah asam dengan dua gugus -COOH, dan sebuah alkohol dengan dua gugus -OH (Lisensi Dokumentasi Bebas GNU, 2011).

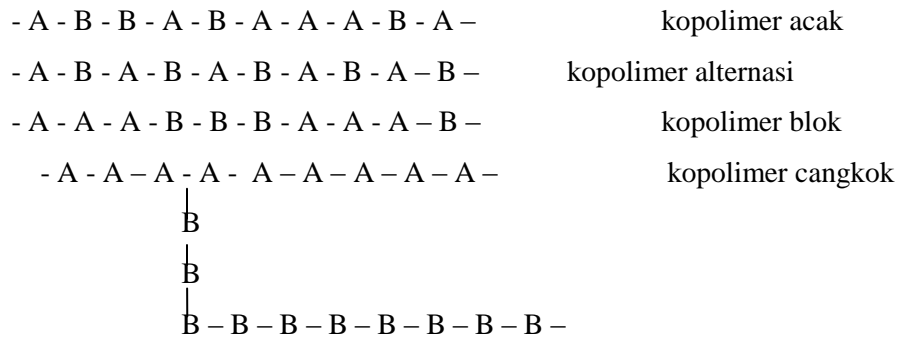
Pada penelitian ini digunakan pati sagu yang penyusun utamanya berupa polisakarida sehingga memiliki banyak gugus hidroksil, jika direaksikan dengan suatu senyawa yang memiliki gugus karboksilat dapat mengalami esterifikasi sehingga terbentuk senyawa poliester.

2.6 Kopolimer

Kopolimer adalah polimer yang terbentuk dari beberapa jenis monomer yang berbeda. Di samping homopolimer yang merupakan polimer dengan satu jenis monomer, polimer dapat pula dibuat dengan lebih dari satu jenis monomer dengan proses kopolimerisasi. Hal tersebut bertujuan untuk menghasilkan sifat-sifat yang lebih baik atau mencari sifat lain dari polimer yang dapat dimanfaatkan (Saptono, 2008).

Polimer yang paling sederhana ialah homopolimer yang kesatuan berulangnya mempunyai struktur sama. Homopolimer dapat diberi rumus umum $X(A)_nY$. X dan Y adalah gugus ujung, dan A adalah kesatuan berulangnya. Jadi, polimer seperti polietena dan polikloroetena (polivinil klorida atau PVC) adalah contoh homopolimer. Akan tetapi, jika dua macam atau lebih monomer mempolimer bersama dan menghasilkan polimer yang mengandung lebih dari satu macam kesatuan struktur, maka dapat terbentuk *kopolimer*. Dalam hal ini dapat memberikan rumus umum $X(A)_n(B)_m(C)_l\dots\dots Y$. A,B,C dst menyatakan berbagai kesatuan struktur, bergantung pada monomer yang dipakai. Jika monomer A dan B bereaksi satu sama lain membentuk kopolimer, maka kopolimer yang dihasilkan seringkali memperlihatkan sifat yang sangat berbeda dari campuran fisik homopolimer A dan B. kadang-kadang sifat baik tiap homopolimer dapat digabungkan atau dipertahankan dalam kopolimer. Hal ini yang menjadi salah satu keuntungan yang diberikan oleh kopolimerisasi (Cowd,1982).

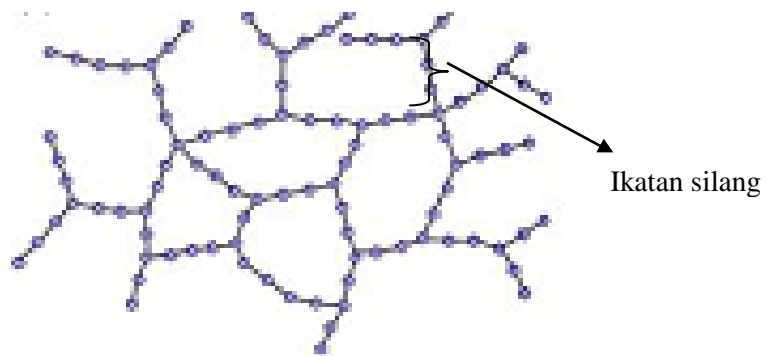
Homopolimer adalah polimer yang dipreparasi dari monomer tunggal, dan jika lebih dari satu jenis monomer yang dikerjakan maka produknya berupa kopolimer. Jika dua jenis monomer (A dan B) dipolimerisasi bersama maka empat jenis susunan akan mungkin terbentuk dalam struktur polimer tersebut, dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Macam kopolimer

2.7 Polimer Jaringan

Secara umum, polimer dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis berdasarkan struktur molekulnya yaitu polimer linear, polimer bercabang, serta polimer jaringan. Polimer jaringan terjadi ketika rantai-rantai polimer terikat bersama, secara umum polimer jaringan juga direferensikan sebagai polimer ikat silang. Hal tersebut dikarenakan terjadi pengikat silangan, rantai-rantai polimer tersebut kehilangan kemampuan untuk mengalir atau melewati satu rantai ke lainnya, serta memperlihatkan derajat stabilitas dimensi yang baik (Stevens, 2007). Struktur polimer jaringan yang dibentuk oleh pati sagu dengan asam sitrat tertera pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Struktur polimer jaringan (Saptono, 2007)

Polimer jaringan adalah polimer dengan ikatan kimianya terdapat antara rantai. Polimer ini biasanya dibengkakkan oleh pelarut tetapi tidak sampai larut. Ketaklarutan ini dapat digunakan sebagai kriteria dari struktur jaringan. Makin besar % *crosslink* makin kecil jumlah pembengkakannya (*swelling*). Jika derajat *crosslink* cukup tinggi, polimer dapat menjadi kaku, titik leleh tinggi, serta menjadi padat yang tak dapat dibengkakkan (Anonim, 2011). Polimer-polimer jaringan tidak dapat larut, tetapi biasanya membengkak oleh hadirnya pelarut (Stevens, 2007).

2.8 Karakterisasi Kimia dan Fisika Kopolimer Pati Sagu/PEG 1000

2.8.1 Spektroskopi Infra Merah (*Infrared Soectroscopy (IR)*)

Spektroskopi infra merah dapat digunakan untuk penentuan struktur, khususnya senyawa-senyawa organik dan polimer (Stevens, 2001). Walaupun spektrum infra merah suatu molekul poli atom sangat rumit untuk dianalisis, namun gugus fungsional suatu molekul tampak pada daerah spesifik (Hendayana dkk, 1994).

Radiasi *infrared* ditemukan pada tahun 1800 oleh Sir Willian Herschel. Identifikasi material meggunakan asorbsi *infrared* dimulai pada tahun 1900. Aplikasi pertama dari metode analisis menggunakan radiasi *infrared* digunakan untuk mempelajari polimer. *Infrared Spectroscopy (IR)* merupakan metode yang dapat digunakan dalam penyelidikan struktur polimer dan analisis gugus fungsi (Sandler, 1998 dalam Rahayu, 2009).

Infrared Spectroscopy (IR) adalah suatu metode analisis untuk mengidentifikasi senyawa kimia. Hal ini didasarkan pada fakta bahwa gugus fungsional kimia yang berbeda akan mengabsorb sinar infra merah pada panjang gelombang yang berbeda bergantung pada gugus fungsional kimia yang dimiliki. IR dapat digunakan untuk menganalisis padatan (serbuk), film atau blok, cairan baik murni maupun campuran dan gas. Terdapat tiga macam daerah IR yaitu daerah IR dekat antara 14.000-4.000 cm^{-1} , daerah IR menengah antara 4000-400 cm^{-1} dan daerah IR jauh antara 400-10 cm^{-1} . Menurut Sastrohamidjojo 1991, C=O ester

memiliki serapan pada frekuensi 1730-1750 cm^{-1} dan serapan C-O ester adalah 1000-1300 cm^{-1} .

Transformasi Fourier adalah suatu konversi matematika yang memungkinkan pemisahan seluruh spektrum sinar infra merah secara bersamaan, kemudian mengubah hasil scanning secara matematika menjadi sebuah panjang gelombang lawan spektra absorbansi. Kombinasi dua fungsi ini menjadikan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) sebagai suatu alat yang dapat digunakan dalam identifikasi dan karakterisasi senyawa organik (Anonim, 2011).

Sebagai metode analisis yang relatif sederhana, FTIR digunakan secara luas dalam analisis yang mencakup berbagai material yang berbeda. FTIR sering digunakan pada industri pengemasan untuk menganalisis kemurnian material monomerik, identifikasi polimer (polietena, poliester, nilon dan sebagainya) dan komposisinya (Razumovskiy, 1996 dalam Rahayu, 2009).

Spektroskopi infra merah sangat bermanfaat untuk meneliti *blend* polimer. Pada *blend* yang tidak dapat bercampur, menunjukkan suatu spektrum infra merah yang merupakan superposisi dari spektrum homopolimer. Sedangkan spektrum pada *blend* yang dapat bercampur, menunjukkan superposisi dari tiga komponen, yaitu dua spektrum homopolimer dan satu spektrum interaksi yang timbul dari interaksi kimia atau fisika antara homopolimer-homopolimer (Stevens, 2007).

2.8.2 Derajat *Swelling* dan Kecepatan *Swelling*

Derajat pembengkakan (*swelling*) didefinisikan sebagai kemampuan suatu gel untuk menyerap cairan sampai terjadi kesetimbangan. Derajat *swelling* memberikan informasi secara kualitatif seberapa daerah amorf pada membran. Semakin kecil derajat *swelling* semakin kecil persen daerah amorf dan semakin besar daerah kristalin (Setyabudi dkk, 2004).

Pengujian derajat *swelling* dilakukan dengan merendam membran atau film ke dalam air pada suhu ruang sampai tercapai kesetimbangan absorpsi air (berat konstan). Kemudian film diangkat dari air dan derajat pembengkakan (*degree of swelling*) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\% \text{ swelling} = \frac{\text{berat kesetimbangan} - \text{berat awal}}{\text{berat awal}} \times 100 \%$$

(Padmavathi dan Chatterji, 1996 dalam Piluharto, 2003)

Kecepatan *swelling* juga perlu dihitung, untuk mengetahui banyaknya pelarut yang terserap tiap waktu yang telah ditentukan. Menurut Lutfor (2001), kecepatan *swelling* dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Kecepatan swelling} = \frac{\text{berat kesetimbangan} - \text{berat awal}}{\text{waktu}}$$

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Mei sampai Desember, bertempat di Laboratorium Kimia Organik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Sedangkan untuk uji struktur dilakukan di Laboratorium Instrumen, Universitas Brawijaya.

3.2 Alat dan Bahan

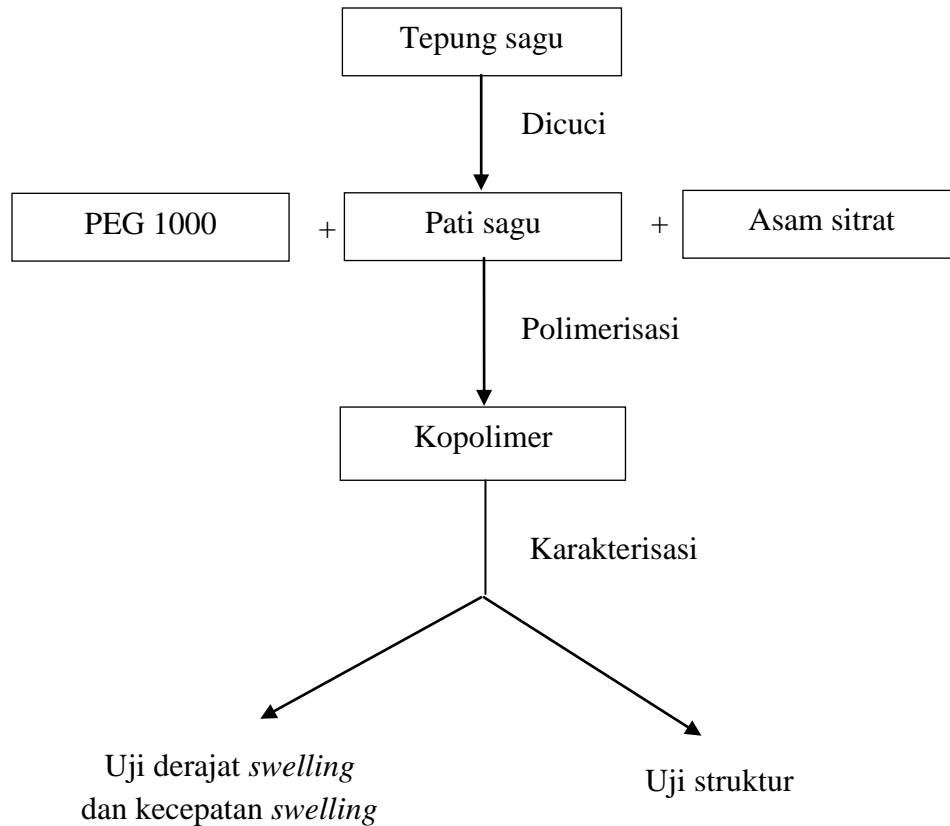
3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah beaker glass, gelas ukur, pipet volum, pipet mohr, hot plate, anak stirrer, neraca analitik, pH meter, dan FTIR SHIMADZU 8400 S.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pati sagu, PEG 1000, asam sitrat (p.a), buffer fosfat, buffer HCl/KCl, kertas saring dan aquades.

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pencucian pati sagu

Proses pencucian pati sagu yaitu dengan cara menimbang 10 gram tepung sagu, kemudian ditambah 100 mL aquades dalam beaker glass. Selanjutnya diaduk selama 1 jam dan didiamkan selama 30 menit. Endapan yang dihasilkan, kemudian dipisahkan dari larutan dengan proses penyaringan. Selanjutnya endapan dicuci berulang kali dengan 500 mL aquades. Residu yang dihasilkan tersebut dikeringkan dalam oven pada temperatur 60°C selama 24 jam kemudian disimpan dalam wadah

tertutup dan hasilnya digunakan untuk membuat kopolimer, seperti dilakukan dalam *Direct Acid Hydrolysis Methode*, AOAC (Sudarmadji, 1997).

3.4.2 Preparasi kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat

Variasi konsentrasi yang dilakukan pada kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat seperti ditunjukkan dalam tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variasi Konsentrasi Awal Kopolimer Pati Sagu/PEG 1000/Asam sitrat

Pati sagu/PEG 1000 (gram)	Asam sitrat (gram)
5,000/0,000	0,000
5,000/0,250	0,000
	0,125
	0,250
	0,375
	0,500
5,000/0,500	0,000
	0,125
	0,250
	0,375
	0,500

Variasi konsentrasi tersebut tidak menghasilkan kopolimer yang diinginkan, sehingga menggunakan variasi komposisi lain seperti pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Variasi Konsentrasi Kopolimer Pati Sagu/PEG 1000/Asam sitrat

Pati sagu/PEG 1000 (gram)	Asam sitrat (gram)
5,0/0,0	0,0
5,0/0,0	4,0
5,0/0,5	0,0
	4,0
	5,0
	6,0

3.4.3 Kopolimer pati sagu/PEG 1000 dengan asam sitrat sebagai agen *crosslink*

Seperti penelitian yang dilakukan oleh Reddy dan Yang (2010), pati sagu sebanyak 5 gram dimasukkan dalam bekker glass 100 mL dan ditambah 70 mL aquades, selanjutnya dipanaskan pada temperatur 90°C sambil diaduk menggunakan stirrer magnetik selama 20 menit. Kemudian ditambahkan 4 gram asam sitrat dan 0,5 gram PEG 1000 pada temperatur 65°C. Berikutnya suspensi kembali dipanaskan pada

temperatur 90°C selama 20 menit. Suspensi kemudian dicuci menggunakan aquades pada temperatur 50°C untuk menghilangkan asam sitrat yang tidak bereaksi, selanjutnya dituang dalam cetakan. Kopolimer yang dicetak dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam. Sehingga diperoleh kopolimer dengan variasi pati sagu/PEG 1000/asam sitrat (gram) adalah 5/0,5/4. Cara yang sama juga dilakukan pada variasi konsentrasi lainnya (Tabel 3.2).

3.4.4 Pembuatan Buffer

3.4.4.1 Buffer HCl/KCl

Larutan A : 0,2 M KCl (14,9 g dalam 1000 mL)

Larutan B : 0,2 M HCl

Sebanyak 2,982 g KCl (Mr. 74,55 g/mol) dilarutkan dalam ±200 mL akuades. Diperoleh larutan A. Selanjutnya sebanyak 1,66 mL HCl dilarutkan dalam ± 100 mL aquades. Diperoleh larutan B. Kedua larutan dicampurkan dengan perbandingan 50 mL larutan A dan ditambahkan larutan B hingga pH larutan dibuat menjadi 1,2 dengan penambahan HCl 0,2 M (Sudarmadji, 1997).

3.4.4.2 Buffer Fosfat

Sebanyak 0,25 g K₂HPO₄ dilarutkan dengan aquades dalam labu ukur 250 mL hingga tanda batas. Selajutnya ditambah H₃PO₄ dan KOH sedikit demi sedikit hingga mencapai pH yang diinginkan. Dalam hal ini pH yang akan dibuat menjadi 4,5 dan 7,4 (Sudarmadji, 1997).

Catatan : larutan stok dapat disimpan dalam suhu ruang

3.4.5 Uji struktur

Film yang dianalisis adalah film hasil kopolimerisasi dengan berbagai variasi. Analisis ini berguna untuk mengetahui struktur pati sagu/PEG 1000/asam sitrat yang telah di-*crosslink*. Dimana *crosslink* tersebut akan menghasilkan senyawa ester yang akan menunjukkan serapan gugus fungsi C=O ester pada 1750 cm⁻¹ - 1735 cm⁻¹, dan gugus OH pada daerah 3600 cm⁻¹ - 3000 cm⁻¹ (Silverstein, 1986).

3.4.6 Uji derajat *swelling* dan kecepatan *swelling*

Uji derajat pembengkakan (*swelling*) dilakukan dengan merendam kopolimer yang terbentuk ke dalam air, dan larutan buffer yang disesuaikan dengan kondisi pH tubuh (Shi et al, 2007) pada temperatur kamar sampai tercapai kesetimbangan penyerapan air (berat konstan). Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa optimal kopolimer yang terbentuk bekerja sebagai *drug delivery*, dimana variasi buffer yang digunakan seperti pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Variasi pH Buffer Pada Kopolimer

Pati sagu/PEG 1000/asam sitrat (gram)	Variasi pH buffer
5,0/0,0/0,0	1,2; 4,5; 7,4
5,0/0,5/0,0	1,2; 4,5; 7,4
5,0/0,0/4,0	1,2; 4,5; 7,4
5,0/0,5/4,0	1,2; 4,5; 7,4
5,0/0,5/5,0	1,2; 4,5; 7,4
5,0/0,5/6,0	1,2; 4,5; 7,4

Kecepatan *swelling* juga dihitung untuk mengetahui banyaknya pelarut yang terserap tiap menit. Derajat *swelling* (dinyatakan dalam %) dan kecepatan *swelling* dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\% \text{ swelling} = \frac{\text{berat kesetimbangan} - \text{berat awal}}{\text{berat awal}} \times 100 \%$$

$$\text{Kecepatan swelling} = \frac{\text{berat kesetimbangan} - \text{berat awal}}{\text{menit}}$$

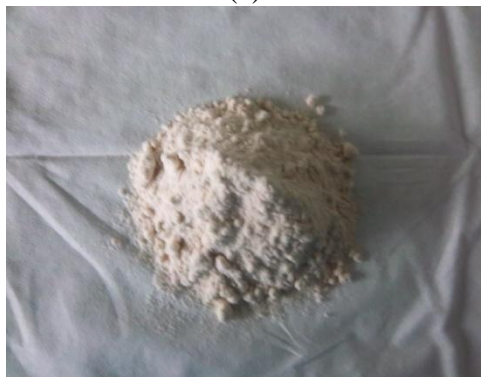
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kopolimer Pati Sagu/PEG 1000 dengan Asam Sitrat sebagai Agen *Crosslink*

Pati sagu yang digunakan untuk menghasilkan kopolimer berasal dari pati sagu komersial yang biasa digunakan masyarakat. Sebelum digunakan, terlebih dahulu dihilangkan pengotor-pengotor yang terdapat dalam tepung sagu. Pengotor tersebut dapat terjadi selama proses pembuatan pati. Penghilangan pengotor dilakukan dengan pencucian pati menggunakan aquades berulang kali, dimana hasil pencucian tersebut seperti pada gambar 4.1 (b).



(a)



(b)

Gambar 4.1 Pati sagu sebelum (a) dan setelah pencucian (b)

Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa pati sebelum pencucian masih terdapat pengotor serta butiran pati terlihat kasar. Setelah pencucian butiran pati terlihat bersih daripada sebelum pencucian. Butiran pati tampak lebih halus karena setelah dioven dan sebelum dimasukkan dalam desikator, pati diayak terlebih dahulu untuk menghilangkan pengotor yang masih lolos selama proses pencucian agar pati benar-benar bersih.

Kopolimer yang dihasilkan untuk variasi konsentrasi awal (Tabel 3.1) ternyata menghasilkan kopolimer yang rapuh, dan tidak dapat dikarakterisasi sifat kimia maupun fisiknya, dikarenakan komposisi kopolimer yang tidak tepat sehingga tidak terbentuk *crosslink* berupa ikatan ester. Jika dilihat dari ukuran molekulnya, asam sitrat merupakan molekul kecil sehingga kereaktifannya lebih tinggi daripada PEG 1000 maupun pati sagu. PEG 1000 lebih reaktif dibandingkan pati sagu, sehingga asam sitrat akan bereaksi lebih dahulu dengan PEG 1000 sebelum bereaksi dengan pati sagu. Komposisi asam sitrat yang sedikit, menyebabkan asam sitrat hanya bereaksi dengan PEG 1000. Hal tersebut dapat dilihat ketika kopolimer yang dihasilkan tidak homogen (keruh) atau terdapat pati di salah satu sisi kopolimer, seperti pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Kopolimer yang tidak homogen

Untuk menghasilkan kopolimer yang dapat dikarakterisasi, maka diperlukan komposisi yang tepat agar sifat dan struktur kopolimer yang dihasilkan lebih baik

daripada kopolimer dengan komposisi awal. Penambahan asam sitrat sebanyak 4g, 5g dan 6g terhadap pati sagu/PEG 1000 (gram) yaitu 5,0/0,5 menghasilkan kopolimer yang homogen karena tidak terlihat adanya pati sagu di salah satu sisi kopolimer. Sebagai perbandingan dibuat kopolimer kontrol dengan komposisi 5,0/0,0/0,0 (tanpa PEG 1000 dan asam sitrat), 5,0/0,5/0,0 (tanpa asam sitrat) dan 5,0/0,0/4,0 (tanpa PEG 1000).

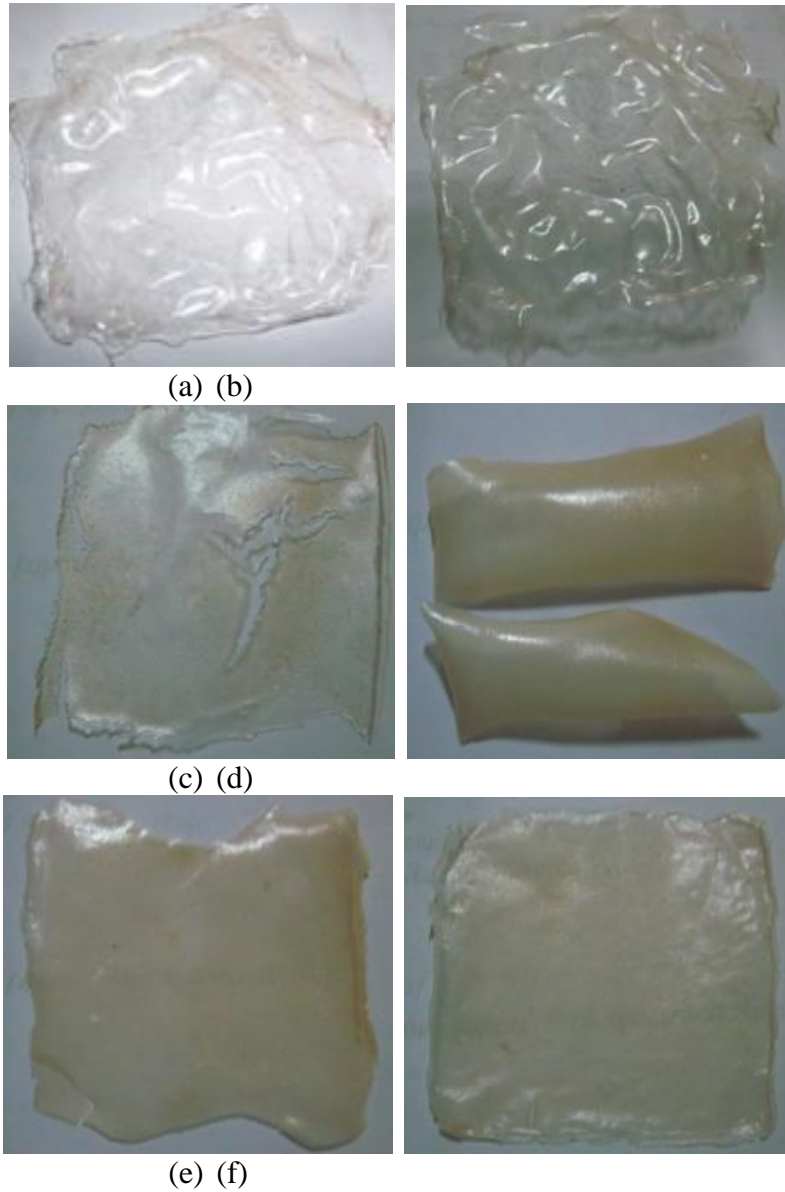
Pembuatan kopolimer diawali dengan pemanasan pati sagu sampai terbentuk gel. Setelah gel terbentuk pada temperatur 65°C, ditambahkan asam sitrat sambil dilakukan pengadukan. Pemanasan pada suhu 90°C kembali dilakukan agar asam sitrat serta PEG 1000 larut dengan sempurna sehingga dihasilkan suspensi kopolimer. Tujuan penambahan asam sitrat ditambahkan yaitu sebagai *crosslinker* dengan tujuan memperoleh suatu poliester. *Crosslinks* dapat terbentuk oleh suatu reaksi kimia yang diaktifkan dengan panas, tekanan atau radiasi (Lisensi Dokumentasi Bebas GNU, 2011).

Setelah dihasilkan suspensi kopolimer, selanjutnya dilakukan pencucian terhadap suspensi tersebut. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan asam sitrat bebas yang tidak bereaksi, karena jika asam sitrat bebas tersebut tidak dihilangkan akan mempengaruhi karakterisasi kimia maupun fisik. Pencucian dilakukan dengan mengalirkan aquades ± 700 ml (sampai pH netral) ke dalam suspensi pati yang kemudian terbentuk 2 fase yang selanjutnya dipisahkan (gambar 4.3).



Gambar 4.3 Pencucian suspensi kopolimer dengan aquades

Suspensi kopolimer yang telah dicuci tersebut kemudian dicetak sehingga menghasilkan kopolimer pati sagu/PEG 100/asam sitrat (gambar 4.4).



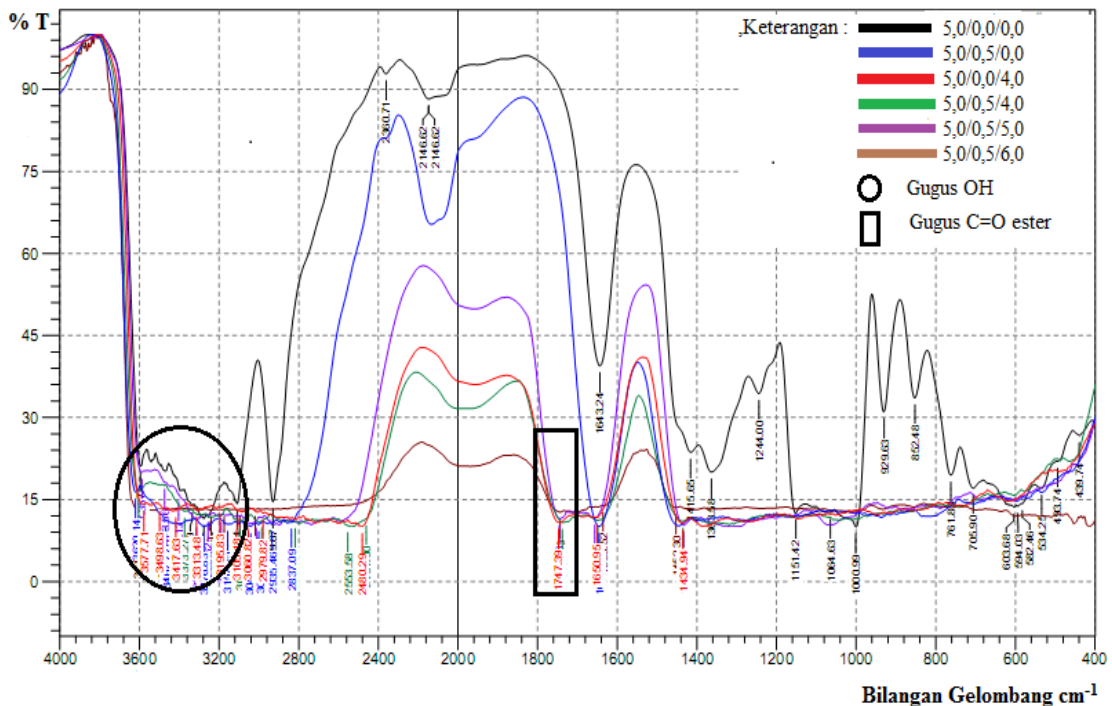
Gambar 4.4 Kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat (gram), 5,0/0,0/0,0 (a); 5,0/0,5/0,0 (b); 5,0/0,0/4,0 (c); 5,0/0,5/4,0 (d); 5,0/0,5/5,0 (e) dan 5,0/0,5/6,0 (f)

Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa dengan komposisi asam sitrat yang tepat, diperoleh kopolimer yang tidak kaku dan tidak mudah patah. Asam sitrat dipilih sebagai agen *crosslink*, karena memiliki gugus karboksil yang berinteraksi dengan gugus hidroksil pati sagu yang akan membentuk ikatan ester. Menurut Borredon *et al.* (1997) dan Shi *et al.* (2007) bahwa interaksi tersebut dapat menaikkan sifat mekanik kopolimer dan ketahanannya dalam air. Asam sitrat merupakan asam trikarboksilat yang memiliki tiga gugus karboksil, sehingga dapat membentuk tiga gugus C=O ester dalam satu molekul. Kereaktifan asam sitrat yang paling tinggi menyebabkan gugus karboksil dengan mudah bereaksi terlebih dahulu dengan gugus hidroksil dari PEG 1000. Selanjutnya gugus karboksil asam sitrat bereaksi dengan gugus OH pati sagu, dimana atom C no. 2, 3 dan 6 pada monomer D-glukosa memiliki kemungkinan untuk membentuk ester.

Kopolimer hasil cetakan kemudian dikarakterisasi sifat kimia menggunakan FTIR. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui perbedaan serapan antara kopolimer pati sagu tanpa PEG 1000 dan asam sitrat, dengan kopolimer pati sagu dengan penambahan PEG 1000 dan asam sitrat. Selain itu juga karakterisasi sifat fisiknya berupa derajat *swelling* dan kecepatan *swelling*.

4.2 Karakteristik Kimia Kopolimer Pati Sagu/PEG 1000 dengan Asam Sitrat sebagai Agen *Crosslink*

Kopolimer yang terbentuk dikarakterisasi sifat kimianya menggunakan FTIR untuk mengetahui perubahan gugus fungsi. Pada lampiran A.1 sampai A.6 dapat dilihat serapan FTIR kopolimer kontrol serta kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat. Serapan berbagai kopolimer tersebut dapat di overlapping, seperti pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Serapan FTIR kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat

Dari gambar 4.5 menunjukkan bahwa, semakin banyak komposisi kopolimer menyebabkan intensitas serapan yang dihasilkan semakin melebar. Hal tersebut dapat dilihat pada serapan kopolimer kontrol 5,0/0,0/0,0 (tanpa PEG 1000 dan asam sitrat) memiliki serapan yang paling tajam jika dibandingkan dengan kopolimer lain dalam gambar tersebut. Pada kopolimer kontrol 5,0/0,5/0,0 (tanpa asam sitrat), serapan lebih lebar dari kopolimer kontrol 5,0/0,0/0,0. Begitu juga dengan kopolimer kontrol 5,0/0,0/4,0 (tanpa PEG 1000) memiliki serapan yang lebih lebar dibandingkan 2 kopolimer kontrol sebelumnya (5,0/0,0/0,0 dan 5,0/0,5/0,0). Kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat (gram) dengan komposisi 5,0/0,5/4,0 memiliki intensitas serapan yang lebih lebar, jika dibandingkan dengan 3 kopolimer kontrol sebelumnya. Namun pada kopolimer 5,0/0,5/5,0 intensitas serapan lebih tajam dibandingkan film 5,0/0,5/4,0. Hal tersebut dikarenakan transparansi berbagai kopolimer yang digunakan untuk uji struktur tidak sama, sehingga energi yang ditransmisikan

berbeda. Kopolimer 5,0/0,5/6,0 memiliki intensitas serapan yang paling lebar dibandingkan kopolimer lain pada gambar tersebut.

Serapan FTIR C=O asam karboksilat terbentuk pada daerah bilangan gelombang 1710cm^{-1} sampai 1780 cm^{-1} sedangkan C=O ester pada daerah bilangan gelombang 1735 cm^{-1} samapai 1750 cm^{-1} (Daley and Daley, 2005 dalam Rahayu 2009). Tabel 4.1 menunjukkan bahwa dengan adanya agen crosslink terbentuk ikatan ester, di tandai dengan serapan C=O ester di daerah $\sim 1740\text{ cm}^{-1}$. Range bilangan gelombang C=O ester masuk dalam range bilangan gelombang C=O asam karboksilat, oleh karena itu serapan C=O ester dan C=O asam sitrat sulit dibedakan. Kemungkinan yang terjadi adalah masih terdapat asam sitrat bebas atau asam sitrat yang tidak bereaksi, hanya bercampur secara homogen dengan pati sagu dan PEG 1000. Begitu juga dengan serapan gugus OH pada bilangan gelombang 3600 cm^{-1} sampai 2500 cm^{-1} merupakan gugus OH asam karboksilat, dan serapan gugus OH alkohol di sekitar 3400 cm^{-1} . Sehingga serapan gugus OH asam karboksilat menutupi serapan gugus OH pati sagu maupun gugus OH dari PEG 1000.

4.3 Karakteristik Fisik Kopolimer Pati Sagu/PEG 1000 dengan Asam Sitrat sebagai Agen *Crosslink*

Karakteristik fisik kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat dilakukan dengan uji derajat *swelling* dan kecepatan *swelling*. *Swelling* atau pembengkakan adalah suatu proses dimana air dapat berdifusi ke dalam kopolimer. Amilosa dan amilopektin yang banyak terkandung dalam pati sagu, memiliki banyak gugus hidroksil. Sehingga interaksi intermolekulernya lebih tinggi dari pada interaksi intramolekulernya, yang menyebabkan pati mudah membentuk ikatan hidrogen dengan air.

Derajat *swelling* didefinisikan sebagai kemampuan suatu gel untuk menyerap cairan sampai terjadi kesetimbangan. Pada kopolimer yang terbentuk ikatan ester maka struktur jaringannya akan semakin rapat sehingga air sulit berdifusi ke dalam

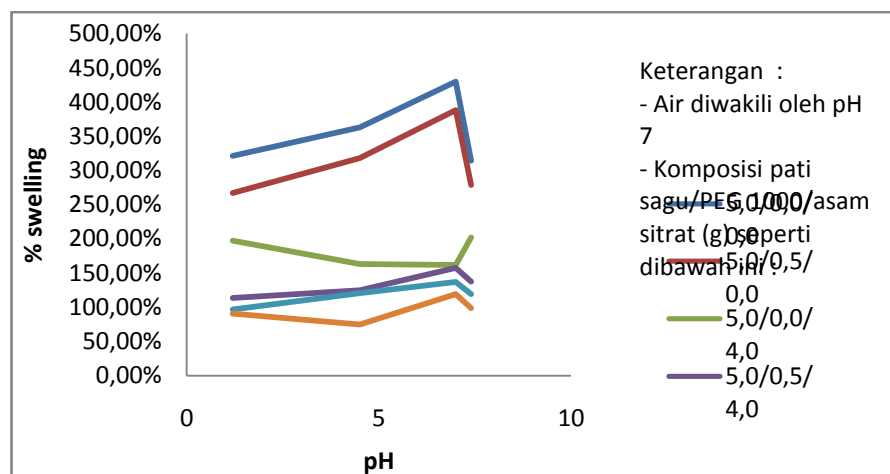
kopolimer, sehingga derajat *swelling* menurun. Tingkat derajat *swelling* kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat dapat dilihat pada gambar 4.6.

Pati sagu/PEG 1000/Asam sitrat (gram)					
5,0/0,0/0,0	5,0/0,5/0,0	5,0/0,0/4,0	5,0/0,5/4,0	5,0/0,5/5,0	5,0/0,5/6,0



Gambar 4.6 Derajat *swelling* kopolimer

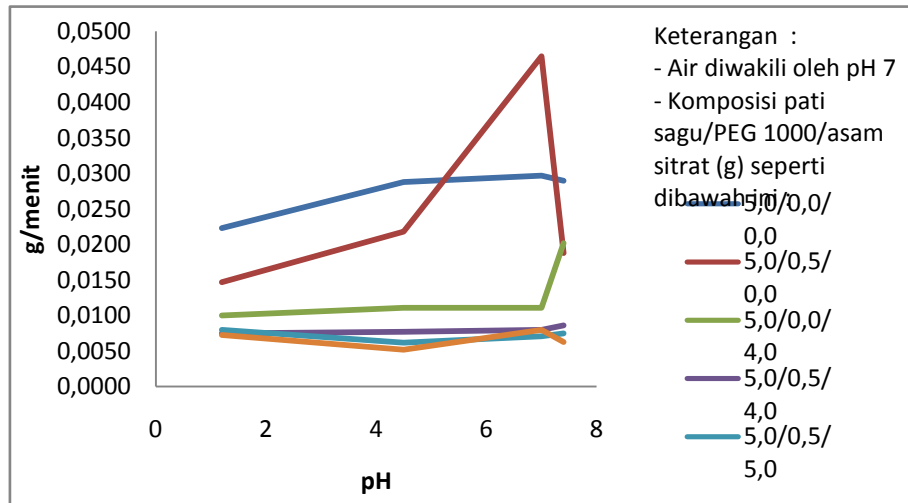
Swelling pada berbagai pH lingkungan dapat diamati dengan cara merendam film dalam air dan pH larutan yang disesuaikan dengan pH tubuh. pH 1,2 merupakan kondisi pH lambung saat perut kosong, pH 4,5 merupakan kondisi pH mulut dan lambung saat terisi makanan serta pH 7,4 adalah pH usus. Sifat hidrofilik yang dimiliki kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat menyebabkan air akan terus berdifusi dalam kopolimer, dimana untuk mencapai berat kesetimbangan dibutuhkan waktu yang cukup lama. Untuk itu perlu batasan waktu tertentu untuk *swelling*, yaitu pada 15 menit, 30 menit dan 60 menit. Pada ketiga waktu tersebut menunjukkan tren yang sama, sehingga dengan asumsi tersebut pada waktu 60 menit merupakan waktu optimum *swelling* dan dapat dihitung derajat *swelling*-nya seperti pada gambar 4.7.



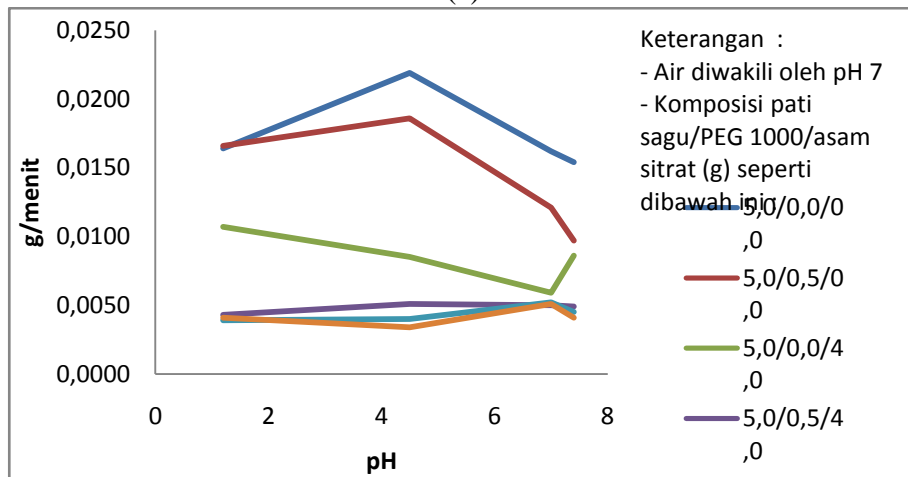
Gambar 4.7 Derajat *swelling* selama 60 menit

Dari gambar 4.8 tersebut, menunjukkan bahwa derajat *swelling* kopolimer 5,0/0,5/4,0; 5,0/0,5/5,0 dan 5,0/0,5/6,0 lebih kecil dibandingkan kopolimer kontrol 5,0/0,0/0,0; 5,0/0,5/0,0 dan 5,0/0,0/4,0. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan agen *crosslink*, maka derajat *swelling* juga semakin menurun. Kelarutan suatu zat dipengaruhi oleh sistem atau lingkungannya (jenis pelarut yang digunakan dalam sistem larutan). Prinsip pelarutan ini disebut azas *Like Dissolve Like*, dimana zat polar akan larut dengan baik pada pelarut polar dan zat nonpolar akan larut dengan baik pada pelarut nonpolar. Hal itu sesuai dengan kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat yang bersifat polar sehingga akan mudah ter-*swelling* dalam pelarut polar yaitu air yang akan membentuk ikatan hidrogen, dimana pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa hampir semua derajat *swelling* terbesar berada di air yang diwakili oleh pH 7.

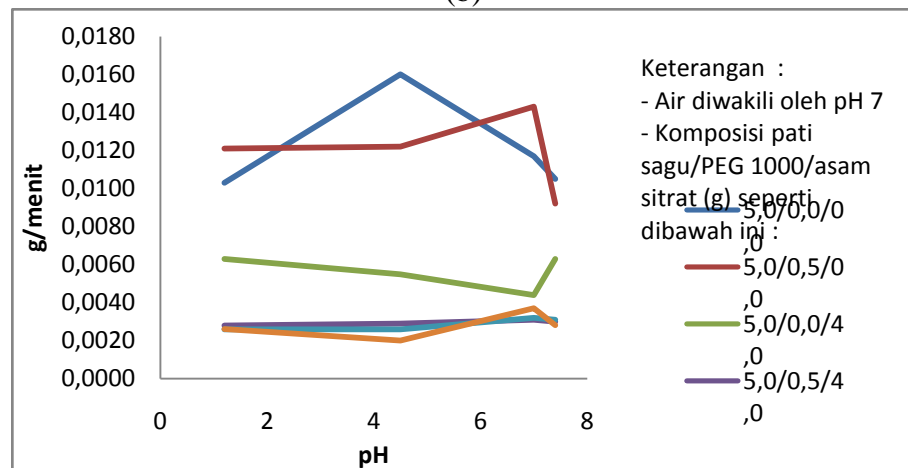
Di lingkungan asam yaitu pH 1,2 dan 4,5 nilai derajat *swelling* lebih rendah daripada dalam air dan pH 7,4 hal tersebut dikarenakan masih terdapat asam sitrat bebas yang tidak bereaksi dalam kopolimer. Sehingga kopolimer bersifat asam, semakin banyak asam sitrat yang ditambahkan maka jumlah asam sitrat yang tidak bereaksi juga semakin banyak. Jika kopolimer yang bersifat asam direndam dalam pH asam yang banyak memiliki H^+ , maka kemungkinan dapat berinteraksi kecil yang menyebabkan derajat *swelling* juga rendah. Berbeda dengan pH basa yang memiliki banyak OH^- , maka akan dengan mudah berinteraksi dengan kopolimer yang bersifat asam sehingga pada pH basa derajat *swelling* lebih tinggi daripada pH asam. Selain derajat *swelling* dapat ditentukan juga kecepatan *swelling* yang menunjukkan besarnya pelarut yang terserap tiap menit, kecepatan *swelling* pada tiga waktu yang berbeda dapat dilihat pada gambar 4.8.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.8 Kecepatan *swelling* selama 15 menit (a), 30 menit (b) dan 60 menit (c)

Dari gambar 4.8 dapat dilihat bahwa kopolimer tanpa adanya agen *crosslink* menunjukkan kecepatan *swelling* yang lebih tinggi dibandingkan dengan kopolimer dengan adanya agen *crosslink*. Hal tersebut menunjukkan bahwa kopolimer yang tidak terbentuk *crosslink* kemampuan difusi air ke dalam kopolimer lebih cepat dibandingkan kopolimer dengan adanya *crosslink*. *Crosslink* pada kopolimer menyebabkan struktur jaringan lebih rapat, sehingga dibutuhkan waktu yang lebih lama untuk menembus jaringan kopolimer tersebut.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Untuk menghasilkan kopolimer yang baik maka pati yang telah tergelatinasi ditambahkan asam sitrat kemudian PEG 1000, agar kopolimer yang dihasilkan tidak kaku dan tidak mudah patah.
- 2) Komposisi kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat mempengaruhi serapan FTIR, dimana kopolimer dengan asam sitrat memiliki serapan C=O ester di daerah bilangan gelombang 1740 cm^{-1} .
- 3) Kopolimer pati sagu/PEG 1000/asam sitrat mengalami *swelling* tertinggi di air, sehingga nilai derajat *swelling* juga tinggi. *Crosslink* pada kopolimer menyebabkan struktur jaringan kopolimer semakin rapat sehingga dibutuhkan waktu yang lebih lama agar air dapat berdifusi dalam kopolimer. Semakin banyak agen *crosslink* dan semakin lama waktu *swelling* menyebabkan kecepatan *swelling* akan semakin menurun.

5.2 Saran

- 1) Perlu dilakukan karakterisasi lebih lanjut untuk menentukan interaksi yang terjadi antara pati sagu, PEG 1000 dan asam sitrat.
- 2) Identifikasi lebih lanjut pada film pati sagu/PEG 1000/CA untuk bidang medis dan farmasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2011. *Memahami Sebuah Spektrum Infra Merah*. <http://www.chem-is-try.org> [5 Maret 2011].
- Arifin. 2011. *Pencelupan Serat Poliester dengan Zat Warna Dispersi*. <http://id.wordpress.com> [5 Maret 2011].
- Astuti, Fitri. 2008. *Pengaruh Kombinasi Basis Polietilenglikol 1000 dan Polietilenglikol 6000 Terhadap Sifat Fisik dan Pelepasan Asam Mefenamat Pada Sediaan Supositoria*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Borredon, E., Bikiaris, D., Prinos, J., Panayiotou. C. 1997. "Properties of Fatty Acid Esters of Starch and Their Blends with LDPE". *Journal Appl. Polymer Science*. Vol. 65: 705-721.
- Coma, V. 2002. "Film Properties from Crosslinking of Cellulosic Derivatives with A Polyfunctional Carboxylic Acid". *Journal in Polymer Testing*. Institiut du Pin-Université Bordeaux 1: Laboratoire de Chimie des Substances Végétales.
- Cowd, M. A. 1988. *Kimia Polimer*. Terjemahan oleh Harry Firman. 1991 Bandung : ITB.
- [Dewan Ilmu Pengetahuan, Teknologi dan Industri Sumatera Barat. 2001. *Teknologi Tepat Guna Agroindustri Kecil Sumatera Barat*. Sumatera Barat : Dewan Ilmu Pengetahuan, Teknologi dan Industri Sumatera Barat.](#)
- Direktorat Gizi Dep. Kesehatan RI. 1979. *Daftar Komposisi Bahan Makanan*. Jakarta : Bhratara Karya Aksara.
- GNU Free Documentation License. 2011. Polyester. (<http://en.wikipedia.org/wiki/Polyester>)
- Hasibuan, Machrani. 2009. *Pembuatan Film Layak Makan dari Pati Sagu Menggunakan Bahan Pengisi Serbuk Batang Sagu dan Gliserol Sebagai Plastisiser*. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Limbongan, Jermia. 2007. "Morfologi Beberapa Jenis Sagu Potensial di Papua". *Jurnal Litbang Pertanian*. Vo 36 : 16 & 19.

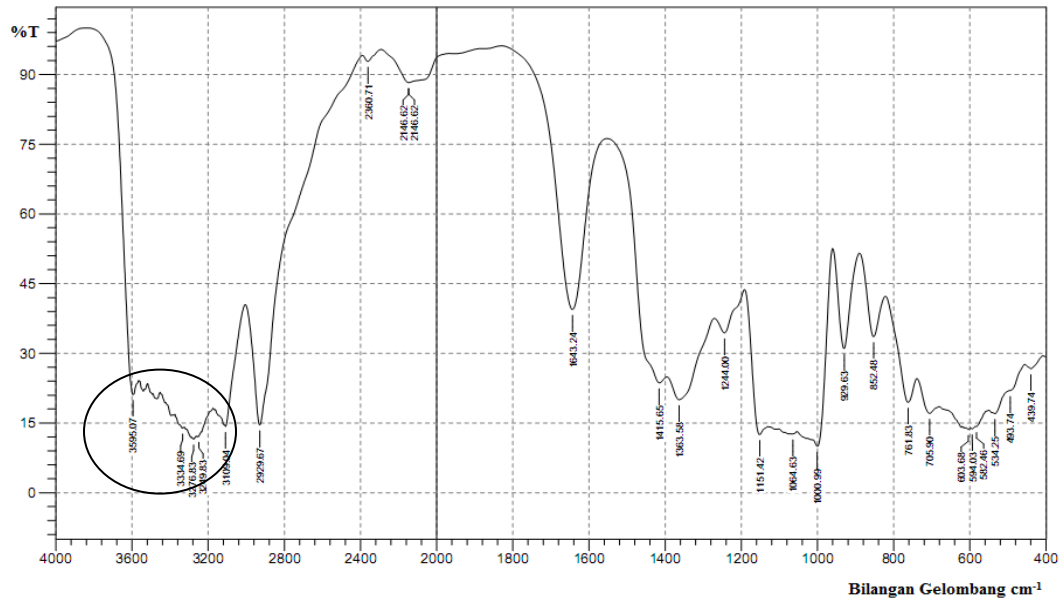
- Lutfor, M. R., Sidik, S., Yunus, Wan. W. M. Z., Rahman, M. Z. Ab., Mansoor, A., & Jelas, H. 2001. "Preparation and Swelling of Polymeric Absorbent Containing Hydroxamic Acid Group from Polymer Grafted Sago Strach". *Journal of Carbohydrate Polimers*. Vol. 45 : 95-100.
- Material Safety Data Sheet. 2010. Material Safety Data Sheet Polyethyleneglycol 1000. <http://www.sciencelab.com> [1 April 2011].
- Mulder, Marcel. 1999. *Basic Principle of Membrane Technology Second Edition*. London : Kluwer Academic Publishers.
- Norvisari, Mery. 2008. *Pengaruh Penambahan PEG Terhadap Sifat Fisik dan Pelepasan Asam Mefenamat Pada Sediaan Supositoria*. Surakarta : Fakultas Farmasi Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Nurhariyanto, Erix. 2006. *Modifikasi dan Karakterisasi pH-Sensitif Hidrogel Kitosan/Poli Vinil Alkohol Menggunakan Asam Oksalat Sebagai Crosslinker*. Jember : FMIPA Universitas Jember.
- Peesan, Manisara., Rujiravanit, Ratana., & Supaphol, Pitt. 2003. "Characterisation of Beta-Chitin/Poly(Vinyl Alcohol) Blend Film". *Journal in Polymer Testing*. Vol. 22 : 381-387.
- Peppas, N. A., P. Bures, W. Leobandung & H. Ichikawa. 2000. "Hydrogels in Pharmaceutical Formulations". *Review Article in European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. Vol. 50 : 27-46.
- Piluharto, B. 2003. "Kajian Sifat Fisik Film Tipis Nata de Coco Sebagai Membran Ultrafiltrasi (Study of Physical Properties of Nata de Coco Thin Film as Ultrafiltration Membrane)". *Jurnal Ilmu Dasar*. Vol. 4 (1) : 52-57.
- Purwani, E. Y., Widaningrum, H., Setiyanto, E., Savitri, dan Thahir. 2006. *Teknologi Pengolahan Mi Sagu*. Bogor : Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian.
- Rahayu, Yennis Tri. 2009. *Pengaruh Modifikasi Film Glukomannan dari Umbi Iles-Iles (Amorphophallus Oncophyllus) Menggunakan Asam Sitrat Terhadap Karakteristik Sifat Fisik dan Kimia*. Jember : FMIPA Universitas Jember.
- Reddy, Narendra., & Yang, Yiqi 2010. "Citric Acid Cross-Linking of Starch Films". *Journal of Food Chemistry*. Vol. 118 : 702-711.

- Safitri, Rika Endara. 2010. *Pengaruh Penambahan Poli(Etilen Glikol)(PEG) 600 Terhadap Karakteristik Membran Polisulfon Untuk Pemisahan Surfaktan Anionik Sodium Dodesil Sulfat*. Jember : FMIPA Universitas Jember.
- Saptono, Rahmat. 2008. *Pengetahuan Bahan Polimer*. Jakarta : Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Setyabudi, M. Arif., R. Agustini., T. Widiyanto dan T. Haryati. 2004. “Studi Karakteristik Blend Selulosa Bakteria”. *Laporan Hasil Program Kreativitas Mahasiswa*. Jember : Universitas Jember.
- Shi, R., Zhang, Z.Z., Liu, Q. Y., Han, Y. M., Zhang, L. Q., Chen, D. F. 2007. Characterization of Citric Acid/Glycerol Co-Plazstized Thermoplastic Starch Prepared by Meltblending“. *Journal of Carbohydrate Poymer*. Vol. 69: 748-755.
- Silverstein, R.M., Bassler, G.C., Morrill, T.C. 1981. *Spectrometric Identification of Organic Compounds Fourth Edition*. USA : John Wiley and Sons: 59-63.
- Stevens, Malcolm. P. 1989. *Kimia Polimer*. Terjemahan oleh Lis Sopyan. 2007. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Sudarmadji, Slamet. 1997. *Prosedur Analisa untuk Bahan Makanan dan Pertanian*. Jogjakarta : Liberty.
- Universitas Jember. 2010. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*. Jember : Badan Penerbit Universitas Jember.
- Wenten, I. G. 1999. *Teknologi Membran Industrial*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Widiyanto, Totok. 2003. *Studi Karakteristik Campuran (Poliblend) Selulosa Bakterial Nata De Coco/Poli Vinil Alkohol*. Jember : FMIPA Universitas Jember.
- Wirakartakusumah. 1986. *Isolation and Characterization of Sago Starch and Its Utilization for Production of Liquid Sugar*. Jakarta : Gramedia.
- Yu, J., Wang, N., & Ma, X. 2005. “The Effects of Citric Acid on The Properties of Thermoplastic Starch Pasticized by Glycerol”. *Journal in Polymer Testing*. Vol. 57 : 494–504.

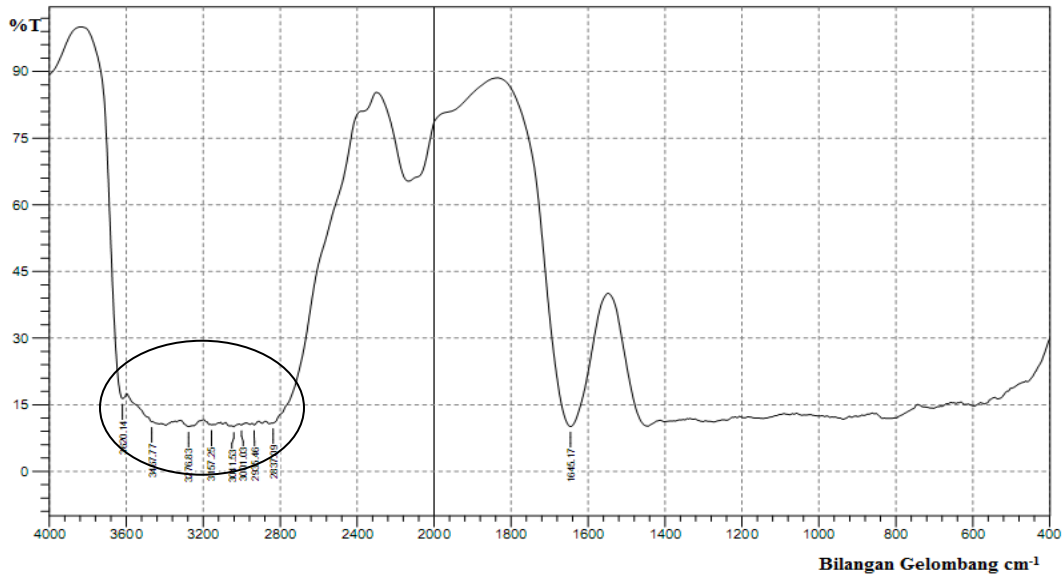
LAMPIRAN

A. Hasil FTIR Kopolimer Pati Sagu/PEG 1000/Asam Sitrat (gram)

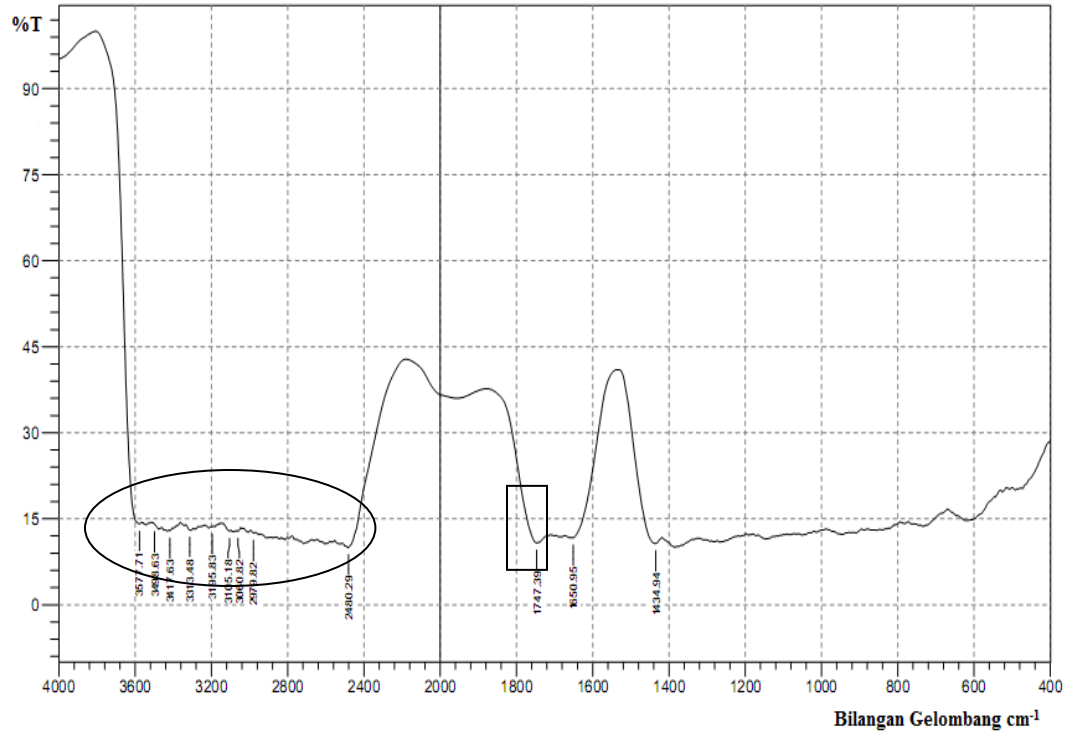
A.1 Spektra FTIR Kopolimer 5,0/0,0/0,0



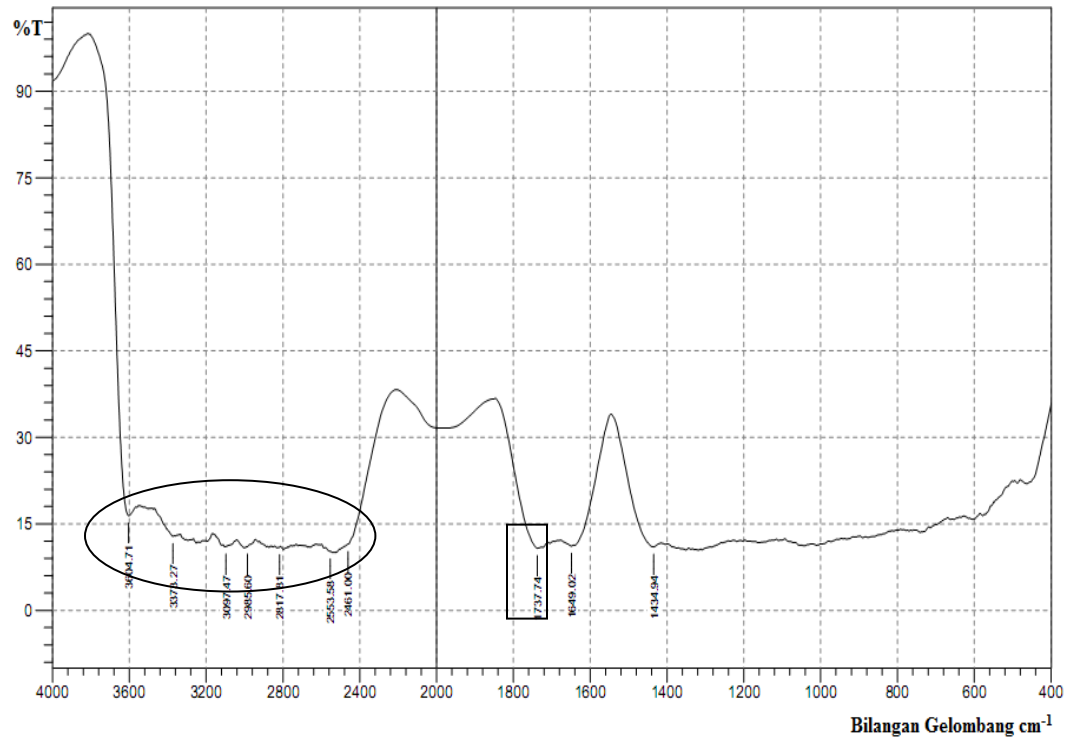
A.2 Spektra FTIR Kopolimer 5,0/0,5/0,0



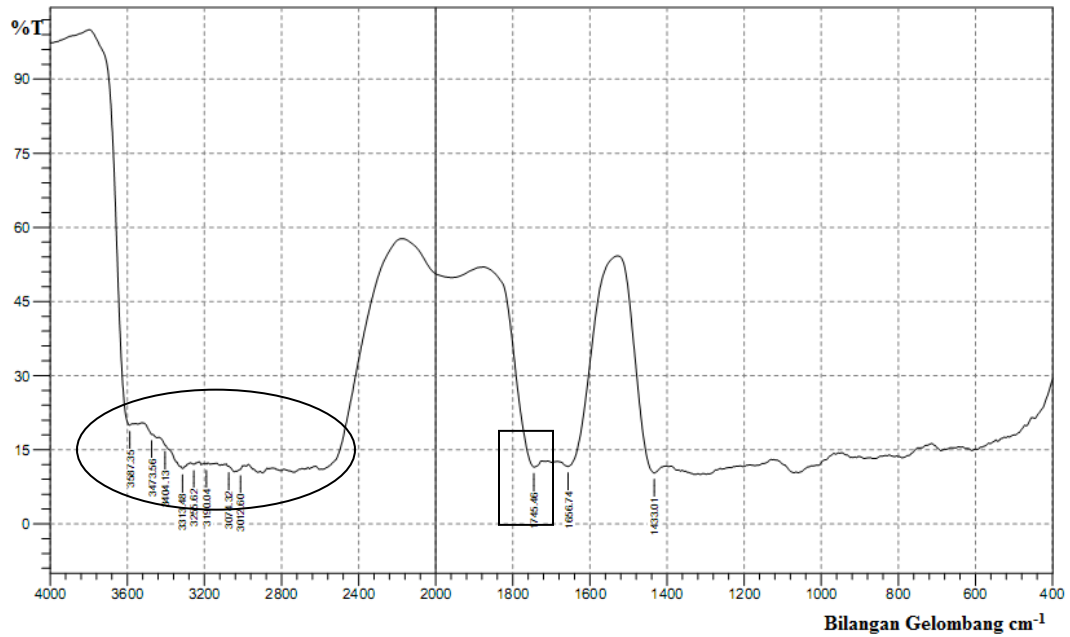
A.3 Spektra FTIR Kopolimer 5,0/0,0/4,0



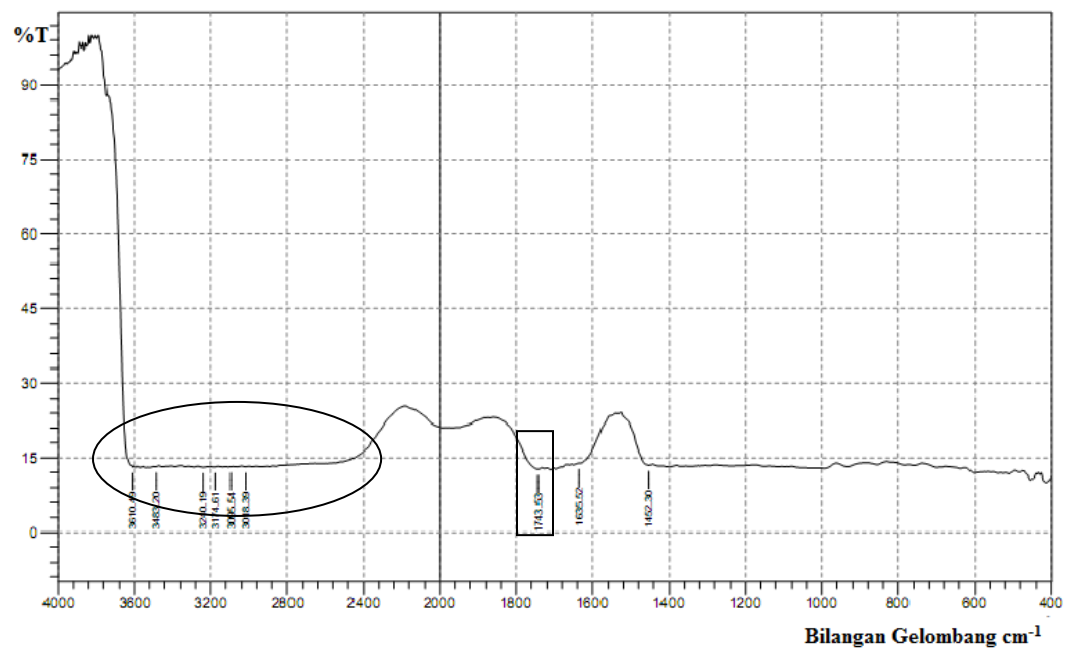
A.4 Spektra FTIR Kopolimer 5,0/0,5/4,0



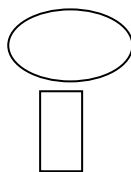
A.5 Spektra FTIR Kopolimer 5,0/0,5/5,0



A.6 Spektra FTIR Kopolimer 5,0/0,5/6,0



Keterangan :



Gugus OH

Gugus C=O ester

B. Tabel Swelling Kopolimer Pati Sagu/PEG 1000/Asam Sitrat (gram)
B.1 Kopolimer 5,0/0,0/0,0

pH	Waktu											
	15 menit				30 menit				60 menit			
	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	Δm (g)	Swelling (%)	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	Δm (g)	Swelling (%)	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	Δm (g)	Swelling (%)
7,4	0,2838	0,7162	0,4324	152,36	0,1558	0,6195	0,4637	297,63	0,2003	0,8302	0,6299	314,48
	0,2841	0,7193	0,4352	153,19	0,1555	0,6161	0,4606	296,21	0,2005	0,8319	0,6314	314,91
	0,284	0,7203	0,4363	153,63	0,1557	0,6182	0,4625	297,05	0,2002	0,828	0,6278	313,59
Rata-rata			0,4346	153,06			0,4623	296,96			0,6297	314,33
Kecepatan swelling			0,0290				0,0154				0,0105	
STDEV				0,0065				0,0071				0,0067
Air	0,1512	0,5992	0,4480	296,30	0,1432	0,6353	0,4921	343,65	0,1625	0,8575	0,6950	427,69
	0,1506	0,5956	0,4450	295,48	0,1412	0,6248	0,4836	342,49	0,1635	0,8671	0,7036	430,34
	0,1507	0,5923	0,4416	293,03	0,1408	0,6209	0,4801	340,98	0,1618	0,8602	0,6984	431,64
Rata-rata			0,4449	294,94			0,4853	342,37			0,6990	429,89
Kecepatan swelling			0,0297				0,0162				0,0117	
STDEV				0,0170				0,0134				0,0201
4,5	0,1533	0,5873	0,4340	283,11	0,1942	0,8462	0,6520	335,74	0,2639	1,2211	0,9572	362,71
	0,1529	0,5826	0,4297	281,03	0,1962	0,8593	0,6631	337,97	0,2651	1,2269	0,9618	362,81
	0,1532	0,5852	0,4320	281,98	0,1945	0,8486	0,6541	336,30	0,2643	1,2243	0,9600	363,22
Rata-rata			0,4319	282,04			0,6564	336,67			0,9597	362,91
Kecepatan swelling			0,0288				0,0219				0,0160	
STDEV				0,0104				0,0116				0,0027

1,2	0,1518	0,4874	0,3356	221,08	0,1815	0,6709	0,4894	269,64	0,193	0,8102	0,6172	319,79
	0,1515	0,4846	0,3331	219,87	0,1815	0,6743	0,4928	271,52	0,1933	0,8168	0,6235	322,56
	0,1516	0,4861	0,3345	220,65	0,1816	0,6762	0,4946	272,36	0,1933	0,8141	0,6208	321,16
Rata-rata			0,3344	220,53			0,4923	271,17			0,6205	321,17
Kecepatan <i>swelling</i>			0,0223				0,0164				0,0103	
STDEV				0,0061				0,0139				0,0139

B. 2 Kopolimer 5,0/0,5/0,0

pH	Waktu											
	15 menit				30 menit				60 menit			
	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	Δm (g)	Swelling (%)	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	Δm (g)	Swelling (%)	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	Δm (g)	Swelling (%)
7,4	0,2351	0,5179	0,2828	120,29	0,1511	0,4426	0,2915	192,92	0,1977	0,7511	0,5534	279,92
	0,2347	0,516	0,2813	119,85	0,1507	0,4398	0,2891	191,84	0,1975	0,748	0,5505	278,73
	0,2348	0,5168	0,2820	120,10	0,1509	0,4402	0,2893	191,72	0,1974	0,7469	0,5495	278,37
Rata-rata			0,2820	120,08			0,2900	192,16			0,5511	279,01
Kecepatan swelling			0,0188				0,0097				0,0092	
STDEV				0,0022				0,0066				0,0081
Air	0,2434	0,9439	0,7005	287,80	0,1161	0,4697	0,3536	317,83	0,2201	1,0738	0,8537	387,87
	0,2428	0,9402	0,6974	287,23	0,115	0,4836	0,3686	320,52	0,2209	1,0784	0,8575	388,18
	0,243	0,9396	0,6966	286,67	0,1146	0,4818	0,3672	320,42	0,2211	1,0812	0,8601	389,01
Rata-rata			0,6982	287,23			0,3631	319,59			0,8571	388,35
Kecepatan swelling			0,0465				0,0121				0,0143	
STDEV				0,0057				0,0153				0,0058
4,5	0,2058	0,5338	0,3280	159,38	0,2656	0,8271	0,5615	211,41	0,2292	0,9577	0,7285	317,84
	0,2057	0,5319	0,3262	158,58	0,2656	0,8246	0,5590	210,47	0,2293	0,9601	0,7308	318,71
	0,2056	0,5307	0,3251	158,12	0,2655	0,8229	0,5574	209,94	0,2292	0,9592	0,7300	318,50
Rata-rata			0,3264	158,69			0,5593	210,61			0,7298	318,35
Kecepatan swelling			0,0218				0,0186				0,0122	
STDEV				0,0064				0,0075				0,0045

1,2	0,151	0,3725	0,2215	146,69	0,2596	0,7606	0,5010	192,99	0,2734	1,0053	0,7319	267,70
	0,1509	0,3706	0,2197	145,59	0,2591	0,7563	0,4972	191,90	0,2717	0,9986	0,7269	267,54
	0,151	0,3717	0,2207	146,16	0,2595	0,7587	0,4992	192,37	0,2716	0,9959	0,7243	266,68
Rata-rata			0,2206	146,15			0,4991	192,42			0,7277	267,31
Kecepatan <i>swelling</i>			0,0147				0,0166				0,0121	
STDEV				0,0055				0,0055				0,0055

B.3 Kopolimer 5,0/0,0/4,0

pH	Waktu											
	15 menit				30 menit				60 menit			
	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	Δm (g)	Swelling (%)	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	Δm (g)	Swelling (%)	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	Δm (g)	Swelling (%)
7,4	0,2744	0,5796	0,3052	111,22	0,1691	0,4272	0,2581	152,63	0,1872	0,5628	0,3756	200,64
	0,2741	0,5753	0,3012	109,89	0,1694	0,4294	0,2600	153,48	0,1875	0,5678	0,3803	202,83
	0,2742	0,5772	0,3030	110,50	0,1693	0,4281	0,2588	152,86	0,1873	0,5661	0,3788	202,24
Rata-rata			0,3031	110,54			0,2590	152,99			0,3782	201,90
Kecepatan swelling			0,0202				0,0086				0,0063	
STDEV				0,0067				0,0044				0,0113
Air	0,1543	0,3209	0,1666	107,97	0,1228	0,2989	0,1761	143,40	0,1656	0,4328	0,2672	161,35
	0,1546	0,3224	0,1678	108,54	0,1215	0,2969	0,1754	144,36	0,1651	0,4317	0,2666	161,48
	0,1542	0,32	0,1658	107,52	0,1221	0,2972	0,1751	143,42	0,1639	0,4302	0,2663	162,48
Rata-rata			0,1667	108,01			0,1755	143,73			0,2667	161,77
Kecepatan swelling			0,0111				0,0059				0,0044	
STDEV				0,0051				0,0055				0,0062
4,5	0,1714	0,3344	0,1630	95,10	0,2009	0,4565	0,2556	127,23	0,204	0,5384	0,3344	163,92
	0,1727	0,3425	0,1698	98,32	0,2008	0,4528	0,2520	125,50	0,2039	0,5362	0,3323	162,97
	0,172	0,3407	0,1687	98,10	0,2008	0,4543	0,2535	126,26	0,2038	0,5351	0,3313	162,56
Rata-rata			0,1672	97,17			0,2537	126,33			0,3327	163,15
Kecepatan swelling			0,0111				0,0085				0,0055	
STDEV				0,0180				0,0087				0,0070

1,2	0,1334	0,2844	0,1510	113,19	0,2324	0,5526	0,3202	137,78	0,1907	0,5698	0,3791	198,79
	0,133	0,2817	0,1487	111,80	0,2357	0,5559	0,3202	135,85	0,1904	0,5653	0,3749	196,90
	0,1333	0,2839	0,1506	112,98	0,2323	0,5521	0,3198	137,67	0,1904	0,5647	0,3743	196,59
Rata-rata			0,1501	112,66			0,3201	137,10			0,3761	197,43
Kecepatan <i>swelling</i>			0,0100				0,0107				0,0063	
STDEV				0,0075				0,0108				0,0119

B.4 Kopolimer 5,0/0,5/4,0

pH	Waktu											
	15 menit				30 menit				60 menit			
	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	Δm (g)	Swelling (%)	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	Δm (g)	Swelling (%)	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	Δm (g)	Swelling (%)
7,4	0,1238	0,254	0,1302	105,17	0,131	0,2771	0,1461	111,53	0,129	0,3075	0,1785	138,37
	0,1237	0,2528	0,1291	104,37	0,1312	0,2802	0,1490	113,57	0,1288	0,3051	0,1763	136,88
	0,1236	0,2503	0,1267	102,52	0,1311	0,2787	0,1476	112,59	0,1289	0,3062	0,1773	137,55
Rata-rata			0,1287	104,02			0,1476	112,56			0,1774	137,60
Kecepatan swelling			0,0086				0,0049				0,0030	
STDEV				0,0136				0,0102				0,0075
Air	0,1249	0,2482	0,1233	98,72	0,1212	0,2707	0,1495	123,35	0,1187	0,3069	0,1882	158,55
	0,1231	0,2424	0,1193	96,91	0,1215	0,2709	0,1494	122,96	0,1176	0,3022	0,1846	156,97
	0,1227	0,2423	0,1196	97,47	0,1222	0,2727	0,1505	123,16	0,1182	0,3048	0,1866	157,87
Rata-rata			0,1207	97,70			0,1498	123,16			0,1865	157,80
Kecepatan swelling			0,0080				0,0050				0,0031	
STDEV				0,0092				0,0020				0,0080
4,5	0,1222	0,2339	0,1117	91,41	0,1322	0,2837	0,1515	114,60	0,1392	0,3143	0,1751	125,79
	0,1223	0,2381	0,1158	94,69	0,1326	0,2874	0,1548	116,74	0,139	0,3125	0,1735	124,82
	0,1224	0,2398	0,1174	95,92	0,1325	0,2849	0,1524	115,02	0,139	0,3117	0,1727	124,25
Rata-rata			0,1150	94,01			0,1529	115,45			0,1738	124,95
Kecepatan swelling			0,0077				0,0051				0,0029	
STDEV				0,0233				0,0113				0,0078

1,2	0,1185	0,2315	0,1130	95,36	0,1226	0,2497	0,1271	103,67	0,1465	0,3105	0,1640	111,95
	0,1184	0,2303	0,1119	94,51	0,1245	0,2531	0,1286	103,29	0,1466	0,3142	0,1676	114,32
	0,1184	0,2309	0,1125	95,02	0,124	0,2508	0,1268	102,26	0,1465	0,3139	0,1674	114,27
Rata-rata			0,1125	94,96			0,1275	103,07			0,1663	113,51
Kecepatan <i>swelling</i>			0,0075				0,0043				0,0028	
STDEV				0,0043				0,0073				0,0135

B.5 Kopolimer 5,0/0,5/5,0

pH	Waktu											
	15 menit				30 menit				60 menit			
	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	Δm (g)	Swelling (%)	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	Δm (g)	Swelling (%)	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	Δm (g)	Swelling (%)
7,4	0,1359	0,2496	0,1137	83,67	0,152	0,2851	0,1331	87,57	0,1558	0,3431	0,1873	120,22
	0,1357	0,2478	0,1121	82,61	0,1522	0,2895	0,1373	90,21	0,1556	0,3413	0,1857	119,34
	0,1356	0,2471	0,1115	82,23	0,1521	0,2874	0,1353	88,95	0,1557	0,3399	0,1842	118,30
Rata-rata			0,1124	82,84			0,1352	88,91			0,1857	119,29
Kecepatan swelling			0,0075				0,0045				0,0031	
STDEV				0,0075				0,0132				0,0096
Air	0,1286	0,2359	0,1073	83,44	0,1321	0,2895	0,1574	119,15	0,1417	0,3374	0,1957	138,11
	0,1282	0,2343	0,1061	82,76	0,1318	0,2875	0,1557	118,13	0,1415	0,3356	0,1941	137,17
	0,1274	0,2329	0,1055	82,81	0,1315	0,2863	0,1548	117,72	0,1411	0,3328	0,1917	135,86
Rata-rata			0,1063	83,00			0,1560	118,33			0,1938	137,05
Kecepatan swelling			0,0071				0,0052				0,0032	
STDEV				0,0038				0,0074				0,0113
4,5	0,134	0,2255	0,0915	68,28	0,1449	0,2656	0,1207	83,30	0,1305	0,2885	0,1580	121,07
	0,1341	0,2263	0,0922	68,75	0,143	0,2647	0,1217	85,10	0,1305	0,2879	0,1574	120,61
	0,1341	0,2275	0,0934	69,65	0,1431	0,2621	0,1190	83,16	0,1304	0,2868	0,1564	119,94
Rata-rata			0,0924	68,89			0,1205	83,85			0,1573	120,54
Kecepatan swelling			0,0062				0,0040				0,0026	
STDEV				0,0070				0,0108				0,005695

1,2	0,1409	0,2626	0,1217	86,37	0,1284	0,2444	0,1160	90,34	0,1575	0,3084	0,1509	95,81
	0,1406	0,2594	0,1188	84,50	0,1285	0,2481	0,1196	93,07	0,1585	0,3129	0,1544	97,41
	0,1407	0,2609	0,1202	85,43	0,1284	0,2452	0,1168	90,97	0,158	0,3117	0,1537	97,28
Rata-rata			0,1202	85,43			0,1175	91,46			0,1530	96,83
Kecepatan <i>swelling</i>			0,0080				0,0039				0,0026	
STDEV				0,0094				0,0143				0,0089

B.6 Kopolimer 5,0/0,5/6,0

pH	Waktu											
	15 menit				30 menit				60 menit			
	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	Δm (g)	Swelling (%)	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	Δm (g)	Swelling (%)	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	Δm (g)	Swelling (%)
7,4	0,1307	0,2251	0,0944	72,23	0,1474	0,2729	0,1255	85,14	0,1704	0,3388	0,1684	98,83
	0,1309	0,2276	0,0967	73,87	0,1471	0,2702	0,1231	83,68	0,1704	0,3369	0,1665	97,71
	0,1306	0,2249	0,0943	72,21	0,1473	0,2711	0,1238	84,05	0,1705	0,3402	0,1697	99,53
Rata-rata			0,0951	72,77			0,1241	84,29			0,1682	98,69
Kecepatan swelling			0,0063				0,0041				0,0028	
STDEV				0,0095				0,0076				0,0092
Air	0,1635	0,2854	0,1219	74,56	0,1725	0,3287	0,1562	90,55	0,1853	0,4067	0,2214	119,48
	0,1632	0,2839	0,1207	73,96	0,1719	0,3216	0,1497	87,09	0,1845	0,4035	0,2190	118,70
	0,1629	0,2817	0,1188	72,93	0,172	0,3264	0,1544	89,77	0,1831	0,4015	0,2184	119,28
Rata-rata			0,1205	73,82			0,1534	89,14			0,2196	119,15
Kecepatan swelling			0,0080				0,0051				0,0037	
STDEV				0,0082				0,0182				0,0041
4,5	0,1326	0,2115	0,0789	59,50	0,1519	0,2565	0,1046	68,86	0,1591	0,2798	0,1207	75,86
	0,1321	0,21	0,0779	58,97	0,1519	0,2553	0,1034	68,07	0,1591	0,2786	0,1195	75,11
	0,1322	0,2106	0,0784	59,30	0,1518	0,2528	0,1010	66,53	0,159	0,2759	0,1169	73,52
Rata-rata			0,0784	59,26			0,1030	67,82			0,1190	74,83
Kecepatan swelling			0,0052				0,0034				0,0020	
STDEV				0,0028				0,0119				0,0119

1,2	0,1439	0,2528	0,1089	75,69	0,1517	0,2751	0,1234	81,34	0,1691	0,3212	0,1521	89,95
	0,144	0,2558	0,1118	77,64	0,1526	0,2767	0,1241	81,32	0,1696	0,3248	0,1552	91,51
	0,1439	0,2539	0,1100	76,44	0,1516	0,2729	0,1213	80,01	0,1692	0,3226	0,1534	90,66
Rata-rata			0,1102	76,59			0,1229	80,89			0,1536	90,71
Kecepatan <i>swelling</i>			0,0073				0,0041				0,0026	
STDEV				0,0098				0,0076				0,0078

C. Perhitungan Pada Kopolimer Pati Sagu/PEG 1000/Asam Sitrat

C.1 Derajat *Swelling*

Perhitungan derajat *swelling* film menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\% \text{ swelling} = \frac{\text{berat kesetimbangan} - \text{berat awal}}{\text{berat awal}} \times 100 \%$$

Contoh perhitungan derajat *swelling* film 5/0/0 di pH 7,4 dengan waktu 15 menit (lampiran B.1) sebagai berikut :

$$\% \text{ swelling} = \frac{0,7162 \text{ g} - 0,2838 \text{ g}}{0,2838 \text{ g}} \times 100\% = 152,36\%$$

$$\% \text{ swelling} = \frac{0,7193 \text{ g} - 0,2841 \text{ g}}{0,2841 \text{ g}} \times 100\% = 153,19\%$$

$$\% \text{ swelling} = \frac{0,7203 \text{ g} - 0,284 \text{ g}}{0,284 \text{ g}} \times 100\% = 153,63\%$$

$$\text{Rata - rata} \% \text{ swelling} = \frac{152,36\% + 153,19\% + 153,63\%}{3} = 153,06\%$$

C.2 Kecepatan *Swelling*

Perhitungan kecepatan *swelling* film menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Kecepatan swelling} = \frac{\text{berat kesetimbangan} - \text{berat awal}}{\text{waktu}}$$

Contoh perhitungan kecepatan *swelling* film 5/0/0 di pH 7,4 dengan waktu 15 menit (lampiran B.1) sebagai berikut :

$$\text{Kecepatan swelling} = \frac{(0,7162 - 0,2838)\text{g} + (0,7193 - 0,2841)\text{g} + (0,7203 - 0,284)\text{g}}{15 \text{ menit}}$$

$$\text{Kecepatan swelling} = \frac{0,4346 \text{ g}}{15 \text{ menit}}$$

$$\text{Kecepatan swelling} = 0,0290 \text{ g / menit}$$

C.3 Standart Deviasi

Perhitungan STDEV menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$STDEV = \sqrt{\frac{\sum_j^1 (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

Contoh perhitungan STDEV film 5/0/0 di pH 7,4 dengan waktu 15 menit (lampiran B.1) sebagai berikut :

$$STDEV = \sqrt{\frac{\sum_j^1 (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

$$STDEV = \sqrt{\frac{(5236 - 1,5306)^2 + (5319 - 1,5306)^2 + (5363 - 1,5306)^2}{(3-1)}}$$

$$STDEV = \sqrt{\frac{0,000049 + 0,00000169 + 0,00003249}{2}}$$

$$STDEV = \sqrt{0,00004159}$$

$$STDEV = 0,006449$$