



**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOPOLIMER PATI SAGU (*Sago Starch*)
DENGAN AGEN *CROSSLINK* ASAM SITRAT**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Kimia (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

Syaifia Rachmah

NIM 071810301020

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

MOTTO

*“Boleh jadi, kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu. Allah yang paling mengetahui, sedangkan kamu tidak mengetahui.” (QS. Al-Baqarah:216)**

*Departemen Agama Republik Indonesia. 2005. *Alqur'an dan terjemahannya*. Bandung : Jamanatul Ali Art

SKRIPSI

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOPOLIMER PATI SAGU (*Sago Starch*) DENGAN AGEN *CROSSLINK* ASAM SITRAT

Oleh

Syaifia Rachmah

NIM. 071810301020

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Achmad Sjaifullah, MSc., PhD.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Neran M.Kes

RINGKASAN

Sintesis Dan Karakterisasi Kopolimer Pati Sagu (*Sago Starch*) Dengan Agen *Crosslink* Asam Sitrat; Syaifia Rachmah, 071810301020; 2012 : 64 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Dewasa ini, telah banyak dikembangkan produk yang asalnya dari polimer. Salah satunya ialah kopolimer yang *biodegradable* dan ramah lingkungan. Karena sifatnya yang demikian, maka digunakanlah polimer alam sebagai bahan dasarnya, yakni pati sagu. Hal yang mendasari penggunaan bahan ini ialah karena profil sagu yang terbatas hanya pada bahan dasar pembuatan makanan, maka dengan terobosan ini diharapkan dapat menjadi film kopolimer yang dapat digunakan pada berbagai aplikasi. Namun penggunaan pati alami tidak terlepas dari masalah. Ketidakstabilan pasta dan sifat mekanik yang buruk menjadikan pati alami tersebut haruslah dimodifikasi, salah satunya ialah *crosslink*. Tujuan dari penelitian ini ialah diharapkan agar dapat mengetahui sintesis kopolimer pati sagu guna dihasilkan kopolimer yang baik dan ditunjang dengan uji struktur dan uji *swelling*.

Penelitian ini dilakukan di laboratorium kimia organik FMIPA Universitas Jember dan laboratorium instrumen Universitas Brawijaya. Tahap pertama dalam penelitian ini ialah preparasi pati sagu. Tujuan dilakukannya preparasi ini ialah untuk menghilangkan pengotor dalam tepung sehingga diperoleh pati sagu yang struktur fisiknya seragam dan diharapkan dapat menghasilkan kopolimer yang lebih homogen dan halus. Tahap kedua ialah pembuatan suspensi pati, dimana dalam hal ini menggunakan bahan tambahan yakni gliserol. Penambahan gliserol dapat mengurangi ikatan hidrogen intramolekul sehingga memudahkan pelarut berdifusi dalam pati dan mudah membentuk suspensi serta bergelatinasi. Selanjutnya ialah tahap *crosslinking* pati dengan asam sitrat. Penambahan asam sitrat yang mempunyai gugus trikarboksilat, menjadikan kopolimer tahan terhadap air karena terbentuk ester akibat reaksi gugus OH pada pati dan gugus karboksilat pada asam sitrat. Hal ini juga

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 Agen Cross-Link Asam Sitrat*. Skripsi ini disusun guna melengkapi tugas akhir dan 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 menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Drs. Achmad Sjaifullah, M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember dan selaku dosen pembimbing utama serta Ir. Neran M.Kes, selaku dosen pembimbing anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, perhatian, dan motivasi dalam penulisan skripsi ini;
2. Ika Oktavianawati S.Si., M.Sc. dan drh. Wuryanti Handayani M.Si. selaku penguji yang telah memberikan saran dan kritik guna perbaikan skripsi ini;
3. Semua dosen FMIPA khususnya jurusan Kimia, terima kasih atas ilmu yang telah diberikan; dan semua teknisi laboratorium jurusan kimia, staf jurusan, dan juga staf akademik Universitas Jember dan Universitas Brawijaya, terima kasih atas kerja samanya;
4. Rekan-rekan satu timku: Norma Amalia dan Siti Aisyah Ika Yuniarti, yang banyak membantu dalam penelitian dan penulisan skripsi ini,
5. 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

Syaifia Rachmah

2.4.2 <i>Crosslinking Agent</i>	10
2.5 Esterifikasi	12
2.6 Kopolimer	12
2.7 Karakteristik Kopolimer	14
2.7.1 Gugus Fungsi	14
2.7.2 Uji <i>Swelling</i>	17
BAB 3. METODE PENELITIAN	18
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	18
3.2 Alat dan Bahan	18
3.3 Diagram Alir Penelitian	19
3.4 Prosedur Penelitian	19
3.4.1 Preparasi Pati Sagu.....	19
3.4.2 Pembuatan Suspensi Pati Sagu.....	20
3.4.3 Kopolimerisasi pati sagu dan asam sitrat sebagai <i>crosslinker</i> .	20
3.4.4 Uji struktur	20
3.4.5 Uji <i>swelling</i>	20
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Pati Sagu	22
4.2 Kopolimer pati sagu dengan asam sitrat sebagai <i>crosslinker</i>	23
4.3 Karakteristik Kimia film pati sagu yang di-<i>crosslink</i> dengan asam sitrat	27
4.4 Karakteristik Fisika film pati sagu yang di-<i>crosslink</i> dengan asam sitrat	31
BAB 5. PENUTUP	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	41

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Struktur Amilosa sagu.....	7
2.2 Struktur Amilopektin sagu	7
2.3 Struktur kimia Asam Sitrat.....	11
2.4 Struktur kimia gliserol.....	12
2.5 Mekanisme esterifikasi.....	13
2.6 Macam-macam kopolimer	14
4.1 Homogenasi pati sagu dan proses filtrasi.....	22
4.2 Pati sagu sebelum dicuci dan setelah dicuci	23
4.3 Kopolimer pati sagu dengan preparasi dan tanpa preparasi.....	25
4.4 Kopolimer dengan penambahan asam sitrat dan tanpa penambahan asam sitrat	26
4.5 Mekanisme esterifikasi pati-asam sitrat	27
4.6 Spektra FTIR pati kentang-asam sitrat. dan spektra FTIR dari hasil penelitian, pati sagu dan asam sitrat.....	28
4.7 Serapan FT-IR pati pada berbagai variasi asam sitrat.....	29
4.8 Grafik % <i>swelling</i> kopolimer dalam berbagai variasi larutan perendam	32
4.9 Grafik kecepatan <i>swelling</i> kopolimer dalam berbagai variasi larutan perendam.....	34

E3. Data kecepatan <i>swelling</i> kopolimer dalam 180 menit.....	63
E4. Data kecepatan <i>swelling</i> kopolimer dalam 1440 menit.....	64

diperlukan materi penyusun yang bersifat *biodegradable* pula. Pati sagu dengan kandungan amilopektin banyak diharapkan menjadi alternatif untuk dikembangkan menjadi polimer yang *biodegradable*.

Sagu merupakan tanaman jenis *Metroxylon* yang berasal dari Maluku dan Papua. Komponen yang paling dominan ialah pati (karbohidrat). Pati sagu berbentuk elips (*prolate ellipsoidal*), mirip pati kentang dengan ukuran 5 – 80 mm dan relatif lebih besar dari pati sereal (Wirakartakusumah, 1986). Pati sagu mengandung sekitar 27 persen amilosa dan sekitar 73 persen amilopektin (Wirakartakusumah, 1986). Rasio amilopektin yang tinggi, menyebabkan pati sagu kurang larut dalam air dan membuat suspensinya tergelatinasi setelah mencapai suhu tertentu (suhu gelatinasi).

Starch atau pati merupakan polisakarida hasil sintesis dari tanaman hijau melalui proses fotosintesis dan biopolimer karbohidrat yang dapat terdegradasi secara mudah di alam serta bersifat dapat diperbarui. Pati memiliki bentuk kristal bergranula yang tidak larut dalam air pada temperatur ruangan yang memiliki ukuran dan bentuk tergantung pada jenis tanamannya. Pati alami (*native*) menyebabkan beberapa permasalahan yang berhubungan dengan retrogradasi, kestabilan rendah, dan ketahanan pasta yang rendah. Hal tersebut menjadi alasan dilakukan modifikasi pati (Fortuna, 2001).

Pati alami dapat dimodifikasi dengan cara fisika atau kimia (Daramola, 2006). Modifikasi pati secara kimia dapat dilakukan dengan penambahan asam, oksidasi, *crosslinking*, *starch esters*, *starch ethers*, dan kationik. Modifikasi pati secara kimia dapat menyebabkan terjadinya *crosslinking* sehingga dapat memperkuat ikatan hidrogen dalam molekul pati (Yavuz, 2003). *Crosslink* dapat terjadi karena adanya *crosslink agent*. Untuk meningkatkan karakteristik pati sagu dapat dilakukan kopolimerisasi dengan penambahan agen *crosslink* asam sitrat.

Asam sitrat termasuk asam trikarboksilat yang merupakan bahan kimia tidak beracun. Kuatnya ikatan hidrogen antara gugus karbonil asam sitrat dan gugus hidroksil pati sagu menjadikannya lebih tahan terhadap air dan mengatasi

1. Bagaimana sintesis kopolimer dari pati sagu dan asam sitrat sebagai agen *crosslink*?
2. Bagaimana karakteristik fisika kopolimer dari pati sagu dan asam sitrat sebagai agen *crosslink* berupa uji *swelling* dan kecepatan *swelling* dengan variasi pH buffer dan waktu *swelling*?
3. Bagaimana karakteristik kimia kopolimer dari pati sagu dan asam sitrat sebagai agen *crosslink* berupa uji struktur?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui sintesis kopolimer pati sagu dan asam sitrat sebagai agen *crosslink*
2. Mengetahui karakteristik fisika kopolimer dari pati sagu dan asam sitrat sebagai agen *crosslink* berupa uji *swelling* dan kecepatan *swelling* dengan variasi pH buffer dan waktu *swelling*
3. Mengetahui karakteristik kimia kopolimer dari pati sagu dan asam sitrat sebagai agen *crosslink* berupa uji struktur.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian dibatasi oleh beberapa hal antara lain:

1. *Crosslinker* yang digunakan yakni dengan variasi massa 0,25 g; 0,5 g; 0,75 g; 1,0 g dan 1,25 g
2. Karakterisasi sifat fisika menggunakan larutan buffer pH 1,2 ; 3; 6,5 dan 8

1.5 Manfaat

Dari penelitian ini diharapkan dapat memperoleh manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi bagi pengembangan material polimer alam,

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sagu

Sagu berasal dari Maluku dan Irian karena itu sagu mempunyai arti khusus sebagai bahan pangan tradisional bagi penduduk setempat. Hingga saat ini belum ada data pasti yang mengungkapkan kapan mula sagu dikenal. Diduga budi daya sagu dikawasan Asia Tenggara dan Pasifik Barat sama kunonya dengan pemanfaatan kurma di Mesopotamia. Sagu mempunyai peranan sosial, ekonomi, dan budaya yang cukup penting di Propinsi Papua karena sagu merupakan bahan makanan pokok bagi masyarakat di sana terutama yang bermukim di daerah pesisir. Areal sagu di Indonesia merupakan areal sagu terbesar di dunia, yaitu sekitar 1,128 juta ha, yang tersebar pada beberapa daerah, seperti daerah Salawati, Teminabuan, Bintuni, Mimika, Merauke, Wasior, Serui, Waropen, Membramo, Sarmi, dan Sentani (Ong, 1977).

2.1.1 Klasifikasi Sagu

Sagu mempunyai nama ilmiah *Metroxylon sago* rottb. Nama *Metroxylon* berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari kata “metra” dan “xylon”. Metra berarti isi batang atau empulur dan xylon berarti xylem (Haryanto dan Pangloli, 1992).

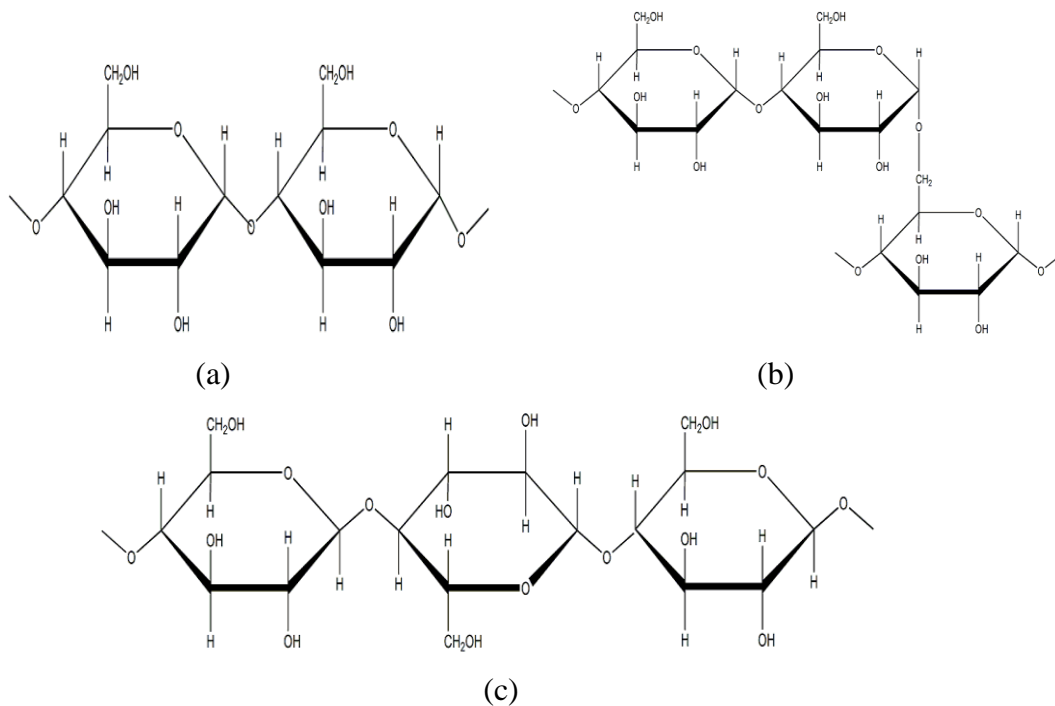
Berikut ini taksonomi dari sagu:

Kingdom	: Plantae
Divisio	: Angiosperms
Kelas	: Monokotil
Ordo	: Arecales
Famili	: Arecaceae
Genus	: <i>Metroxylon</i>
Species	: <i>Metroxylon sago</i> rottb

sebagaimana dalam amilosa, tetapi dengan rantai-rantai yang tersambungkan satu sama lain dengan ikatan α -(1,6). Dalam pati biasanya ada sekitar tiga kali amilopektin lebih banyak dibandingkan amilosa.

Amilosa terutama berstruktur linier, dengan berat molekul yang berkisar dari sekitar 30.000 sampai satu juta, meskipun batas-batas atas 200.000 sampai 300.000 lebih umum. Lepas dari ikatan α (ikatan C-O aksial pada karbon 1), amilosa menyerupai selulosa.

Selulosa ialah senyawa seperti serabut dan ditemukan di dalam dinding sel pelindung tumbuhan, terutama pada tangkai, batang dan semua bagian berkayu dari jaringan tumbuhan. Selulosa merupakan homopolisakarida linear tidak bercabang, terdiri dari 10.000 atau lebih unit D-glukosa yang dihubungkan oleh ikatan 1 \rightarrow 4 glikosida, senyawa ini akan terlihat seperti amilosa, dan rantai utama glikogen. Pada selulosa, ikatan 1 \rightarrow 4 berada dalam konfigurasi β , sedangkan pada amilosa dan amilopektin, ikatan 1 \rightarrow 4 berada dalam konfigurasi α (Lehninger, 1982). Gambar 2.1 menunjukkan perbandingan struktur amilosa, amilopektin dan selulosa.



Gambar 2.1. Struktur kimia amilosa(a), amilopektin(b) dan selulosa(c) (Lehninger, 1982).

hidroksil (-OH) yang sangat potensial untuk menghasilkan turunan pati yaitu pada atom C no 2, 3 dan 6.

Knight (1989) menjelaskan bahwa metode modifikasi pati dikategorikan menjadi dua yaitu fisika dan kimia. Proses pregelatinasi, penyesuaian ukuran partikel dan penyesuaian kelembaban (*moisture*) merupakan metode modifikasi secara fisika. Modifikasi kimia dapat dilakukan dengan melalui proses konversi termasuk hidrolisis asam, oksidasi, dekstrinasi dan konversi asam serta derivatisasi termasuk *crosslinking*. Santoso (1999) melaporkan bahwa modifikasi pati sagu secara ikatan silang menyebabkan peningkatan suhu awal gelatinasi, penurunan viskositas pada suhu 95°C, peningkatan rasio stabilitas pasta, rasio retrogradasi dan total retrogradasi.

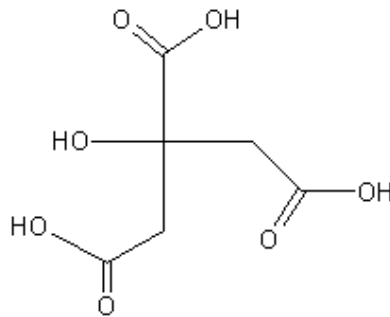
2.4 Cross-linking

2.4.1 Definisi *Crosslink* (ikatan silang)

Crosslink adalah ikatan-ikatan yang menghubungkan suatu rantai polimer dengan rantai polimer lain. Ketika rantai polimer bergabung karena adanya *crosslinks*, maka rantai polimer tersebut akan kehilangan sebagian kemampuannya untuk bergerak seperti rantai polimer individunya (Lisensi Dokumen Bebas GNU, 2008).

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 *swelling*. Dengan adanya pelarut, maka suatu polimer ikatan silang akan mengembang yaitu pada saat molekul-molekul pelarut menembus jaringannya. Tingkat pengembangan (*swelling*) ini bergantung pada tingkat pengikatsilangan & afinitas antara pelarut dan polimer. Ikatan silang fisika merupakan ikatan silang yang labil secara termal yakni ikatan yang diputus oleh pemanasan & mengikat kembali setelah pendinginan (Stevens, 2001). Pada metoda ini reagen diikat secara kimia dengan membran atau bahan pendukung padat lainnya. Senyawa dengan dua gugus fungsi dapat mengikat reagen dan membran atau bahan

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 makhluk hidup. Zat ini juga dapat digunakan sebagai zat pembersih yang ramah lingkungan dan sebagai antioksidan. Rumus kimia asam sitrat adalah $C_6H_8O_7$. Struktur asam sitrat ditunjukkan pada gambar 2.3.

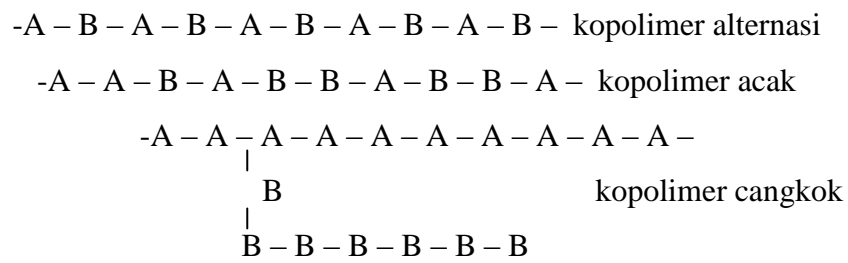


Gambar 2.3 Struktur kimia Asam Sitrat.

Keasaman asam sitrat didapatkan dari tiga gugus karboksil $-COOH$ yang dapat melepas proton dalam larutan. Asam sitrat sangat baik digunakan dalam larutan penyangga untuk mengendalikan pH larutan. Ion sitrat dapat bereaksi dengan banyak ion logam membentuk garam sitrat (Lisensi Dokumen Bebas GNU, 2008).

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 didapat dari kristalisasi asam sitrat dalam air dingin. Bentuk monohidrat tersebut dapat diubah menjadi bentuk *anhydrous* dengan pemanasan di atas $74^{\circ}C$. Secara kimia, asam sitrat bersifat asam karboksilat lainnya. Jika dipanaskan di atas $175^{\circ}C$, asam sitrat terurai dengan melepaskan karbondioksida dan air (Lisensi Dokumen Bebas GNU, 2008).

tersebut dipreparasi dari monomer tunggal A, maka produknya digolongkan sebagai homopolimer. Jika lebih dari satu monomer yang dikerjakan, maka produknya disebut kopolimer. Jika dua unit struktur berselang-seling dalam susunan linier, maka produknya disebut kopolimer alternasi, sedangkan jika distribusinya acak maka disebut kopolimer acak. Susunan (kombinasi) yang ketiga adalah dimana blok-blok A dan B muncul bersama. Susunan demikian disebut kopolimer blok. Suatu susunan nonlinier juga mungkin, yang secara esensial terdiri dari satu polimer dengan polimer lain yang bercabang darinya. Ini disebut kopolimer cangkok. Gambaran umum proses kopolimerisasi ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 2.6 Macam – macam kopolimer (Stevens, 2001).

Kopolimer yang dihasilkan merupakan polimer yang membentuk jaringan tiga dimensi dan bersifat suka air. Kopolimer tersebut dapat diklasifikasikan berdasarkan gugus fungsi, metode preparasi dan struktur fisik. Berdasarkan gugus fungsi, dibedakan menjadi dua, yaitu netral dan ionik. Berdasarkan metode preparasi dibedakan menjadi dua yakni homopolimer dan kopolimer. Berdasarkan struktur fisiknya dibedakan menjadi amorf, semi kristalin, struktur ikatan hidrogen, struktur *supermolecular* dan *hydrocolloidal aggregates*.

Kopolimer dapat menunjukkan karakter *swelling*, didasarkan pada perubahan lingkungan disekitarnya. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi respon kopolimer terhadap perubahan lingkungan yaitu, pH, temperatur dan radiasi elektromagnetik. Selain faktor-faktor diatas, rasio *crosslinking agent* dan struktur kimia juga mempengaruhi karakteristik *swelling* kopolimer.

gelombang 0,78-1000 μm . Daerah yang paling banyak digunakan untuk berbagai keperluan praktis adalah 4000-690 cm^{-1} (2,5-1,5 μm). Daerah ini biasa disebut dengan daerah IR tengah (Khopkar, 1990). Kegunaan yang paling penting dari spektroskopi inframerah adalah untuk identifikasi senyawa organik, karena spektrumnya sangat kompleks dan terdiri dari banyak puncak-puncak. Spektrum inframerah mempunyai sifat fisik dan karakteristik yang khas, artinya senyawa yang berbeda akan mempunyai spektrum yang berbeda dan kemungkinan dua senyawa mempunyai spektrum sama adalah sangat kecil (Hayati, 2007).

Pada akhir-akhir ini, penekanan penggunaan spektroskopi IR terletak pada jenis *Fourier Transform Infrared* (FT-IR). FT-IR adalah instrumen analisis fisika kimia yang bersifat multiplex sehingga bisa dikoneksikan dengan *Gas Chromatography* (GC) atau *Mass Spectroscopy* yang dikenal sebagai GC/FT-IR/ MS yang juga bisa dikoneksikan dengan *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR) yang dikenal sebagai NMR / FT-IR.

Pada dasarnya Spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) adalah sama dengan Spektrofotometer IR dispersi, yang membedakannya adalah pengembangan pada sistem optiknya sebelum berkas sinar infra merah melewati contoh (Giwangkara, 2007). Spektrofotometer IR dispersi menggunakan prisma (*grating*) sebagai pengisolasi radiasi, sedangkan spektrofotometer FTIR menggunakan interferometer yang dikontrol secara otomatis dengan komputer. Spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif (Hayati, 2007).

FT-IR telah membawa tingkat keserbagunaan yang lebih besar misalnya *discan*, disimpan dan ditransformasikan dalam hitungan detik, sehingga teknik ini memudahkan penelitian reaksi-reaksi polimer seperti degradasi atau ikatan silang. Persyaratan-persyaratan ukuran sampel polimer yang sangat kecil mempermudah kopling instrument FT-IR dengan suatu mikroskop untuk analitik bagian-bagian sampel polimer yang sangat terlokalisasi (Messerchmidt dan Hartcock, Eds., 1988).

2.7.2 Uji Swelling

Faktor yang mempengaruhi karakter *swelling* kopolimer adalah rasio *crosslinking agent*. Semakin besar rasio *crosslinking agent*, maka struktur kopolimer akan semakin rapat, sehingga molekul air sulit masuk pada kopolimer, hal ini mengakibatkan derajat *swelling* berkurang dibandingkan dengan kopolimer yang sama dengan rasio *crosslinking agent* lebih rendah (Wenten, 1999).

Derajat *swelling* berguna untuk mengetahui seberapa besar pembengkakan yang terjadi oleh cairan (terutama air) sehingga dapat dijadikan parameter dasar pemilihan material yang cocok sebagai kopolimer. Derajat *swelling* yang sangat tinggi mengindikasikan material tersebut telah mengalami perubahan struktural akibat mengabsorpsi cairan. Derajat *swelling* juga berguna untuk mengetahui tingkat hidrofilitas dan hidrofobitas kopolimer.

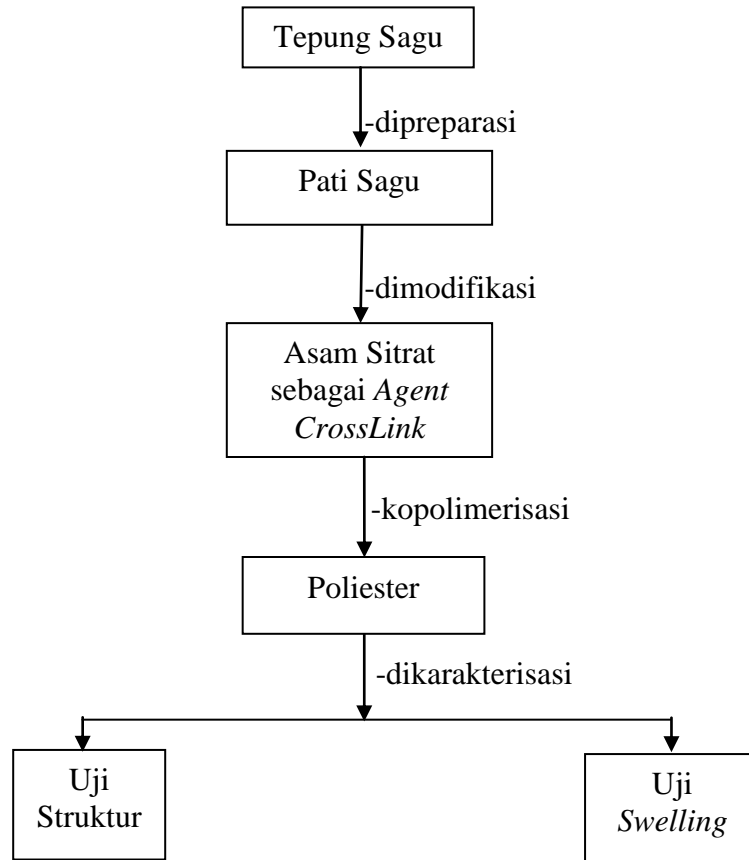
Uji *swelling* dilakukan dengan merendam kopolimer kedalam air pada suhu ruang dimana pada penelitian ini dilakukan sampai tercapai kesetimbangan absorbsi air (berat konstan). Kopolimer kemudian diangkat dari air dan derajat pembengkakan (*degree of swelling*) dihitung dengan persamaan (Padmavathi dan Chatterji, 1996 dalam Piluharto, 2001) :

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

Selain itu, dapat pula dilakukan perhitungan kecepatan *swelling*. Grafik lengkap *swelling*-waktu memberikan banyak manfaat, yakni dengan menghitung koefisien difusi larutan berdasarkan data *swelling*. Penyerapan polimer berisi asam hidroksiamida tidak terdapat dalam literatur, namun beberapa monomer amfolitik dan monomer kationik berisi penyerapan polimer, dipelajari secara mendalam (Lutfor *et.al*, 2001). Kecepatan *swelling* dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Kecepatan swelling} = \frac{\Delta \text{massa (g)}}{\text{waktu (menit)}}$$

3.3 Diagram Alir Penelitian



3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Preparasi pati sagu

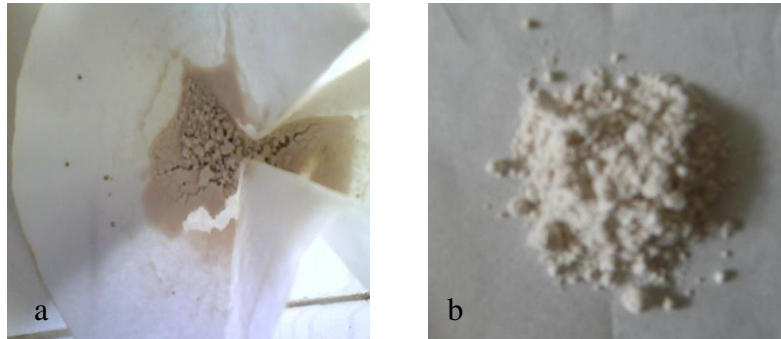
Sebanyak 20 gram tepung sagu dilarutkan dalam 200 mL aquades. Diaduk selama 1 jam. Suspensi disaring dengan kertas saring dan dicuci berulang kali dengan aquades sampai volume filtrat 250 mL. Dikeringkan dan selanjutnya diletakkan dalam desikator untuk menghilangkan uap air yang tersisa dan diperoleh pati sagu yang digunakan untuk membuat kopolimer (AOAC,1970).

kopolimer dengan *stopwatch*, diukur massanya dan % *swelling* serta kecepatan *swelling* dihitung dengan persamaan :

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

$$\text{Kecepatan swelling} = \frac{\text{massa kesetimbangan (g)} - \text{massa awal (g)}}{\text{waktu (menit)}}$$

struktur pati yang lebih seragam. Gambar 4.2 menunjukkan perbandingan pati sagu tanpa dan dengan proses preparasi:



Gambar 4.2 Pati sagu sebelum dicuci (a) dan setelah dicuci (b)

Gambar 4.2(a) merupakan pati sagu yang belum dipreparasi sedangkan (b) merupakan pati sagu yang telah dicuci dan dihilangkan pengotornya serta diayak untuk mendapatkan pati sagu dengan ukuran seragam. Secara fisik, pati (a) masih terdapat banyak pengotor dimana pengotor yang tertinggal merupakan sisa produksi tepung.

4.2 Kopolimer pati sagu dan asam sitrat sebagai *crosslinker*

Kopolimer pati sagu dengan penambahan agen *crosslink* asam sitrat yakni dengan rasio massa pati sagu/ asam sitrat (g/g) : 5/0 ; 5/0,25 ; 5/0,5 ; 5/0,75 ; 5/1,0 dan 5/1,25. Langkah pertama yang dilakukan ialah pembuatan larutan pati dengan penambahan aquades dan gliserol. Aquades digunakan untuk melarutkan pati sedangkan gliserol memiliki kemampuan mengurangi ikatan hidrogen dan meningkatkan ruang intramolekul sehingga menyebabkan peningkatan fleksibilitas film tetapi juga memberikan rongga yang memungkinkan terjadinya difusi molekul penetran (Slade dan Levine dalam Layuk, 2001). Penambahan gliserol berfungsi sebagai senyawa yang dapat mengurangi ikatan hidrogen internal pada intramolekuler.

dicetak kedalam plat kaca dan dioven selama 48 jam pada suhu 90°C. Hal ini dimaksudkan untuk menguapkan pelarut sehingga diperoleh kopolimer yang transparan. Gambaran fisik kopolimer pati sagu yang *dicrosslink* dengan asam sitrat terdapat pada gambar 4.3.



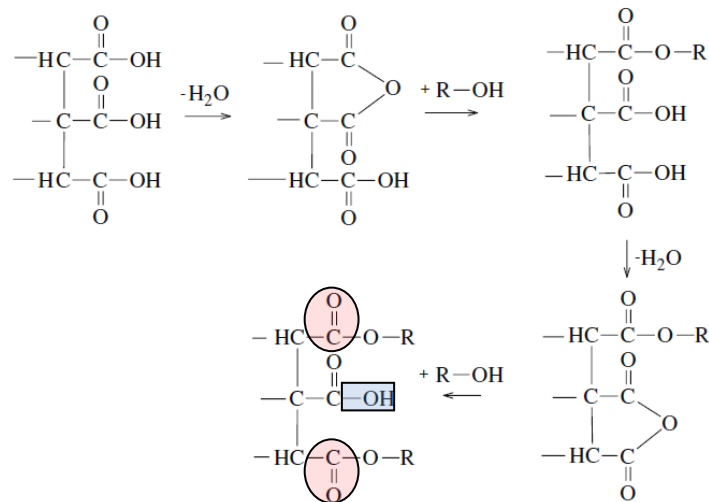
Gambar 4.3 Kopolimer pati sagu tanpa proses preparasi (a) dan dengan proses preparasi(b).

Gambar 4.3 menunjukkan perbedaan kopolimer yang dihasilkan dimana gambar (a) merupakan kopolimer yang menggunakan pati sagu tanpa proses pencucian dan (b) merupakan kopolimer yang menggunakan pati sagu dengan proses pencucian. Pada gambar 4.3 (a) terlihat jelas bahwa kopolimer yang menggunakan pati tanpa proses pencucian mempunyai karakter fisik yang agak kasar dan banyak terdapat pengotor yang mengganggu sehingga kopolimer yang diperoleh kurang transparan. Disisi lain, kopolimer yang melalui tahap preparasi akan lebih baik dengan struktur lebih halus.

Selain itu, terdapat perbedaan antara kopolimer yang di-*crosslink* dan tanpa *crosslinker*. Perbedaan fisik yang dapat dibandingkan ialah kopolimer tanpa penambahan asam sitrat akan lebih rapuh sedangkan kopolimer dengan penambahan asam sitrat menjadi lebih elastis dan kuat. Elastis atau dapat dikatakan struktur kopolimer dapat meregang inilah yang dapat menjadi gambaran fisik bahwa

4.3 Karakteristik Kimia Kopolimer Pati Sagu yang di-Crosslink dengan Asam Sitrat

Sifat kimia kopolimer pati sagu yang di-crosslink dengan asam sitrat menunjukkan perubahan gugus fungsi pada uji struktur menggunakan FT-IR. Berikut gambaran mekanisme yang terjadi saat crosslink.



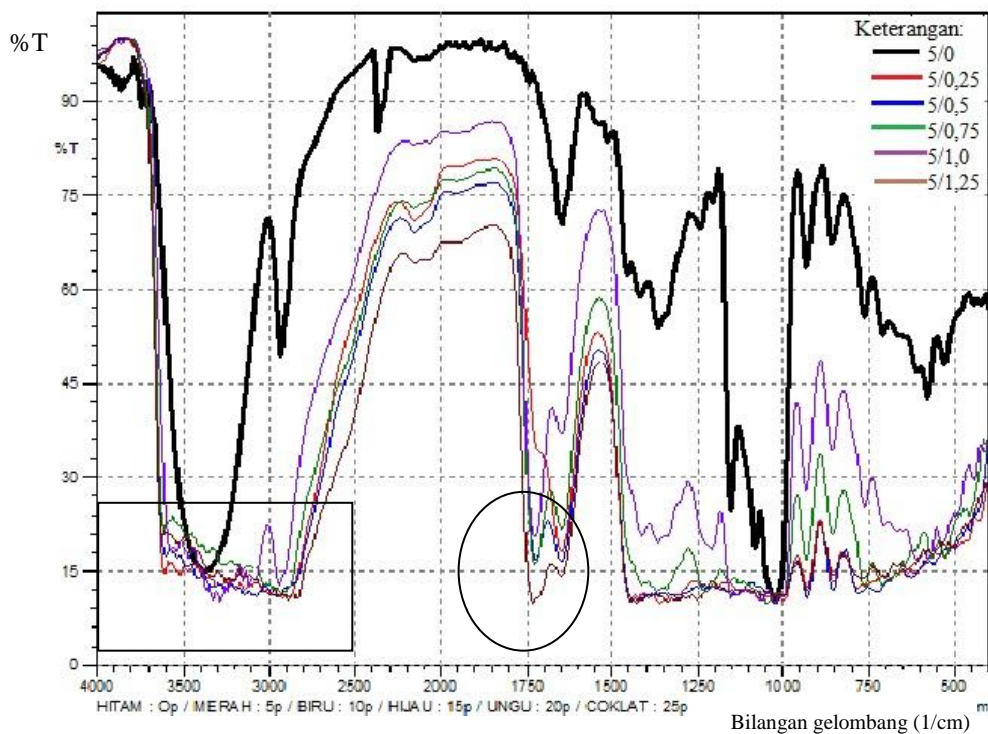
Gambar 4.5 Mekanisme esterifikasi pati-asam sitrat

Lingkaran yang berwarna merah tersebut menunjukkan gugus yang akan diidentifikasi pada serapan IR. Gugus tersebut merupakan serapan C=O ester pada bilangan gelombang sekitar $\pm 1740 \text{ cm}^{-1}$. Sedangkan pada kotak yang berwarna biru merupakan gugus hidroksil yang menunjukkan serapan pada bilangan gelombang $3000\text{-}3600 \text{ cm}^{-1}$. Gugus tersebut merupakan gugus hidroksil asam sitrat. Asam sitrat memiliki 3 gugus karboksilat. Masih ada kemungkinan dari ketiga gugus tersebut yang belum bereaksi dengan pati.

Hasil uji FT-IR kopolimer pati sagu yang di-crosslink dengan asam sitrat menunjukkan bahwa serapan gugus hidroksil mengalami pelebaran pada bilangan gelombang $3000\text{-}3600 \text{ cm}^{-1}$. Serapan gugus C=O ester tampak pada bilangan gelombang $1700\text{-}1750 \text{ cm}^{-1}$ dan serapan gugus C-O pada bilangan gelombang $\pm 1250 \text{ cm}^{-1}$. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang pernah dilakukan yakni

cm^{-1}) dan C=O karboksilat (daerah bilangan gelombang $\pm 1640 \text{ cm}^{-1}$).

Spektra FT-IR yang menunjukkan perbedaan antara gugus fungsi yang dimiliki pati sagu tanpa *crosslinker* dan pati sagu yang telah *dicross link* dengan asam sitrat. Serapan FTIR dari berbagai kopolimer yang telah di *overlap* dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Serapan FT-IR pati pada berbagai variasi asam sitrat

Gambar 4.7 menunjukkan perbandingan pati murni dan pati dengan penambahan variasi massa asam sitrat. Sumbu x menunjukkan bilangan gelombang dengan satuan cm^{-1} sedangkan sumbu y merupakan % transmitan. Serapan FT-IR pati murni memiliki karakteristik pada daerah serapan gugus C-H *stretch* pada bilangan gelombang 2900 cm^{-1} . Serapan pati yang telah di-*crosslink* memiliki karakteristik

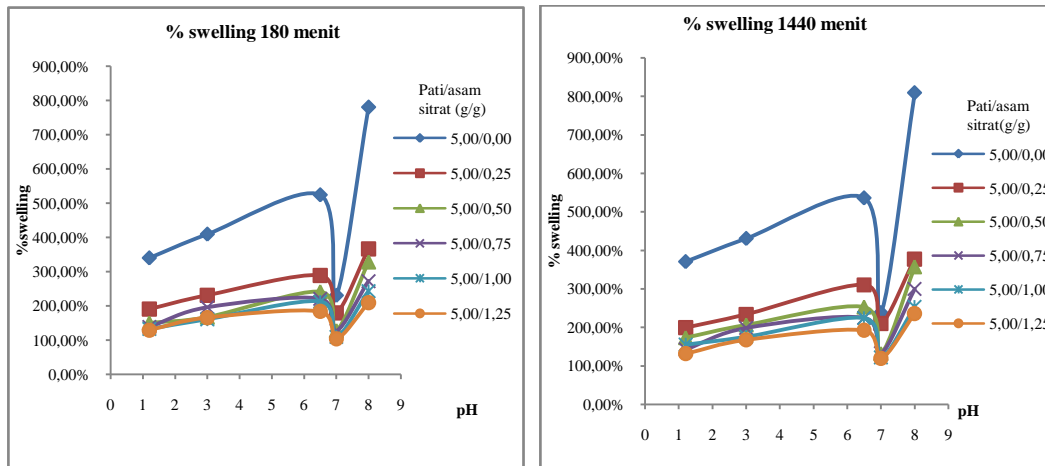
C=O ester yang diperoleh ialah intensitas medium. Luas area terbesar ialah pada massa asam sitrat 0,75 g. Hal ini menunjukkan pada penambahan sebesar 0,75 g, seluruh asam sitrat telah bereaksi sempurna dengan pati sehingga luas area yang diperoleh maksimal. Namun perbandingan yang tidak beraturan disebabkan oleh kopolimer tersebut mudah mengabsorb uap air disekitarnya sehingga menjadikan kopolimer lembab dan gugus ester yang terdeteksi menjadi tidak beraturan.

Asam karboksilat dan ester memiliki serapan gugus C=O namun *range* serapan ester lebih pendek dibanding C=O asam karboksilat. Serapan FT-IR C=O asam karboksilat terbentuk pada bilangan gelombang 1710 cm^{-1} sampai 1780 cm^{-1} sedangkan C=O ester pada daerah bilangan gelombang 1735 cm^{-1} sampai 1750 cm^{-1} (Daley and Daley, 2005). Pada penelitian ini, serapan gugus ester pada daerah bilangan gelombang 1700 cm^{-1} hingga 1730 cm^{-1} , namun terdapat kemungkinan adanya sebagian asam sitrat yang tidak bereaksi sempurna dengan pati sagu sehingga mengalami pelebaran serapan. Serapan C=O asam sitrat mengalami pelebaran sinyal pada bilangan gelombang 1600 sampai 1800 cm^{-1} . Terdapat 2 puncak pada daerah 1600 cm^{-1} sampai 1800 cm^{-1} yakni pada $\pm 1724 \text{ cm}^{-1}$ merupakan puncak serapan C=O ester dan daerah $\pm 1640 \text{ cm}^{-1}$ merupakan puncak serapan C=O asam karboksilat.

4.4 Karakteristik Fisika Kopolimer Pati Sagu yang di-Crosslink dengan Asam Sitrat

Sifat fisika kopolimer dari pati sagu dan asam sitrat dikarakterisasi dengan uji *swelling*. Persen *swelling* kopolimer menunjukkan seberapa besar larutan dapat berdifusi kedalam polimer jaringan dan terperangkap serta membengkak. Semakin banyak massa *crosslinker* yang digunakan menjadikan poliester yang terbentuk semakin banyak. Hal ini membuat struktur polimer menjadi semakin rapat sehingga larutan semakin sulit berdifusi kedalam polimer. Akibatnya % *swelling* semakin menurun.

Adapun faktor lain yang mempengaruhi % *swelling* ialah pH larutan. pH larutan yang digunakan disesuaikan dengan pH tubuh. pH 1,2 dikondisikan saat



(c)

(d)

Gambar 4.8 Grafik % *swelling* kopolimer dalam berbagai variasi larutan perendam, pada 15 menit (a), 60 menit (b), 180 menit (c) dan 1440 menit (d).

Keempat gambar diatas memiliki trend yang sama. Gambar 4.9 tersebut memberikan beberapa informasi sekaligus antara lain pengaruh pH, jumlah asam sitrat yang ditambahkan dan waktu perendaman terhadap karakteristik fisika kopolimer pati sagu. Larutan perendam sangat berpengaruh terhadap karakteristik pembengkakan kopolimer. Pada pH rendah, % *swelling* rendah yakni pada pH 1,2 dan pada pH tinggi yakni 8, % *swelling* sangat tinggi. Namun % *swelling* terendah ialah saat direndam dalam air yang diperkirakan pH-nya 7. Hal tersebut menandakan bahwa dalam air, kopolimer sedikit membengkak. Kopolimer pati sagu yang di-*crosslink* dengan asam sitrat sebagian besar telah membentuk ester sehingga ketersediaan OH pada pati maupun asam sitrat menurun dan membuat air susah berdifusi kedalam film karena air yang memiliki muatan parsial positif dan negatif kurang dapat tertarik dalam kopolimer yang cenderung memiliki muatan parsial negatif sehingga ikatan hidrogen hanya sedikit terbentuk. Sedangkan pada larutan buffer, kopolimer menunjukkan karakteristik yang berbeda tergantung dengan respon yang dihasilkan selama proses *swelling*. Untuk pH yang rendah, jumlah H^+ sangat banyak. Namun karena kondisi sistem yang memang masih asam akibat masih

Gambar 4.9 Grafik kecepatan *swelling* kopolimer dalam berbagai variasi larutan perendam, pada 15 menit (a), 60 menit (b), 180 menit (c) dan 1440 menit (d).

Kecepatan *swelling* dipengaruhi oleh waktu *swelling* dan larutan perendamnya. Pada air, kecepatan *swelling* memiliki karakteristik yang sangat rendah. Kecepatan *swelling* maupun % *swelling* menunjukkan karakteristik yang sama. Pada buffer dengan pH tinggi, kecepatan *swelling* maupun % *swelling* meningkat, begitu juga sebaliknya. Pada pH rendah, keduanya memiliki nilai yang rendah. Namun hasil terendah terdapat pada perendaman kopolimer dalam air. Penjelasan mengenai hal tersebut telah dijelaskan pada pembahasan % *swelling* sebelumnya.

Waktu *swelling* berpengaruh terhadap profil kecepatan *swelling* kopolimer. Semakin lama waktu perendaman, maka kecepatannya berkurang. Ruangan dalam kopolimer telah jenuh dengan larutan sehingga semakin lama *swelling*-nya, maka kecepatannya menurun, sesuai dengan kemampuan dan kapasitasnya menampung larutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2003. Edible Film. *Jurnal Teknologi Pangan dan Agroindustri*. Vol. 1 No. 12. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- AOAC. 1970. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Washington D.C.: Association of Official Analytical Chemists.
- Borredon, E., Bikiaris, D., Prinos, J., Panayiotou, C. 1997. "Properties of Fatty-Acid Ester of Starch and Their Blends with LDPE". *Journal Application of Polymer Science*. Vol. 65 :705–721.
- Chowdary, K.P.R. 2011. *Preparation, Characterization and Evaluation of Starch Citrate- a New Modified Starch as a Disintegrant in Tablet Formulation*. India: Andhra University
- Cui, W. 2006. *Food Carbohydrate*. Inggris : Francis and Taylor.
- Daley, R. F., And Daley, S. J. 2005. *Organic Chemistry*. www.ochem4free.com
- Daramola, B. & Osanyinlusi, S.A. 2006. "Investigation on Modification of Cassava Starch Using Active Components of Ginger Roots (*Zingiber officinale* Roscoe)". *African Journal of Biotechnology*. Vol. 5 : 917-920.
- Departemen Kesehatan R.I. 1996. *Daftar Komposisi Kimia Bahan Makanan*. Jakarta : Bhatara Karya Aksara.
- Dziedzic, S.Z. & M.W. Kearsley. 1984. *Glucose Syrups: Science and Technology*. London: Elsevier Applied Science Publishers.
- Eggins, B. R. 1996. *Biosensor : An Introduction*. New York : John Willey and Sons.
- Flach, M. 1983. *The Sago Palm; Domestication Exploitation and Products*. Roma: FAO.
- Fortuna T., Juszczak L., and Palasiński M. 2001. *Properties of Corn and Wheat Starch Phosphates Obtained from Granules Segregated According to Their Size*. EJPAU. Vol. 4.

- Lutfur, *et.al.* 2001. *Preparation and swelling of polymeric absorbent containing hydroxamic acid group from polymer grafted sago starch*. Malaysia: Universiti Putra Malaysia.
- Messerchmidt, R.G & Hartcock, M. A. (Eds.). 1988. *Infrared Microscopy*. New York : Dekker.
- Nurhariyanto, Erix. 2006. *Modifikasi dan Karakterisasi pH-Sensitif Hidrogel, Kitosan/ Poli Vinil Alkohol, Menggunakan Asam Oksalat Sebagai Crosslinker*. Jember : FMIPA Universitas Jember.
- Odian, G. 1991. *Principle of Polymerization*. Third Edition. New York : John Willey and Sons, Inc.
- Ong, Tan Sri. 1977. "Sago in Sarawak". *Paper of the First International Sago Symposium*. Malaysia : University of Penang.
- Peppas, N., P. Bures, W. Leobandung, H. Ichikawa. 2000. "Hydrogel In Pharmaceutical Formulation". *Review article. Euro J. Pharmbiopharin*. Vol. 50 : 27-46.
- Piluharto, B. 2001. *Tesis : Studi Awal Penggunaan Nata De Coco Sebagai Membran Ultrafiltrasi*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Ramadhan, Kurnia. 2009. *Aplikasi Pati Sagu Termodifikasi Heat Moisture Treatment Untuk Pembuatan Bihun Instan*. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian IPB.
- Reddy, Narendra & Yang, Yiqi. 2010. *Citric Acid Cross-linking of Starch Film*. USA: University of Nebraska-Lincoln.
- Richardson, S. & Gorton, L. 2003. "Characterisation of The Substituent Distribution In Starch and Cellulose Derivatives". *Journal Analytical Chemical Acta*. Vol 497 : 27-65.
- Santoso, A. 1999. *Pengaruh Ikatan Hidrogen terhadap Titik Didih, Titik Leleh dan Kelarutan Senyawa*. Malang : Universitas Negeri Malang.
- Shi, R., Zhang, Z.Z., Liu, Q.Y., Han, Y.M., Zhang & L.Q., Chen, D.F. 2007. "Characterization of Citric Acid/Glycerol Co-Plasticized Thermoplastic Starch Prepared By Melt Blending". *Journal of Carbohydrat Polymer*. Vol. 69 : 748–755.

LAMPIRAN A. PREPARASI BAHAN

A1. Buffer HCl/KCl

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

Larutan B : 0,2 M HCl

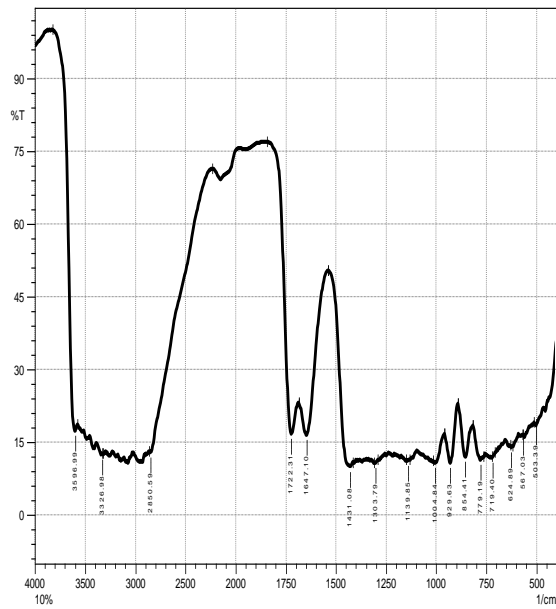
Sebanyak 2,982 g KCl (Mr. 74,55 g/mol) dilarutkan dalam ± 200 mL akuades. Diperoleh larutan A. Selanjutnya sebanyak 1,66 mL HCl dilarutkan dalam ± 100 mL akuades. Diperoleh larutan B. Kedua larutan dicampurkan dengan perbandingan 50 mL larutan A dan ditambahkan larutan B hingga pH larutan dibuat menjadi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

A2. Buffer Fosfat

Sebanyak 0,25 g K_2HPO_4 dilarutkan dengan aquademin dalam labu ukur 250 mL hingga tanda batas. Selajutnya ditambah H_3PO_4 dan KOH sedikit demi sedikit hingga mencapai pH yang diinginkan. Dalam hal ini pH yang akan dibuat menjadi 3; 6,5 dan 8.

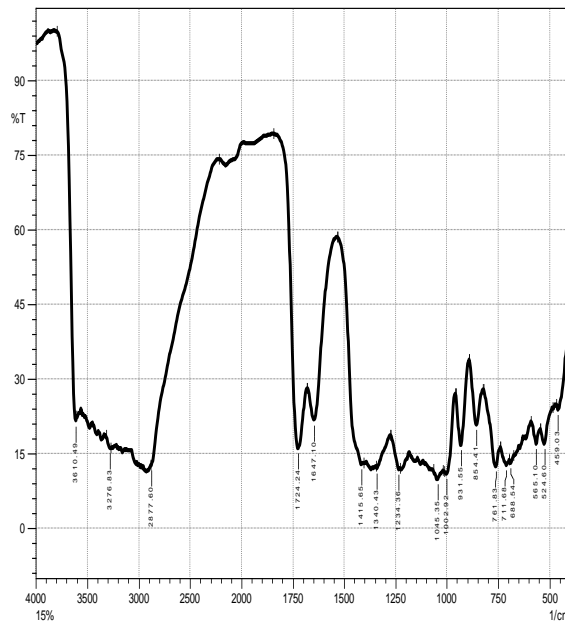
NOTE: larutan stok dapat disimpan dalam suhu ruang

3. Pati sagu dengan massa asam sitrat 0,5 gram



Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are	
1	503.39	18.672	0.079	513.03	501.46	8.393	0.013
2	567.03	18.452	0.092	570.89	565.1	4.528	0.008
3	624.89	13.877	0.412	630.88	619.11	9.844	0.085
4	719.4	11.837	0.248	721.33	705.9	14.047	0.081
5	779.19	11.399	2.405	815.83	765.89	43.928	2.352
6	854.41	12.097	8.821	891.05	817.78	58.223	7.832
7	929.83	10.787	8.758	958.58	892.98	54.384	8.17
8	1004.84	10.84	1.312	1014.49	980.48	47.854	1.498
9	1139.85	11.115	0.346	1149.5	1132.14	16.438	0.108
10	1303.79	10.707	0.264	1307.65	1290.29	16.664	0.123
11	1431.08	10	5.793	1539.09	1415.85	78.834	8.188
12	1647.1	18.582	13.488	1683.74	1541.02	76.845	11.484
13	1722.31	18.812	18.837	1843.82	1685.87	60.317	9.561
14	2850.59	12.951	1.287	2862.17	2231.49	250.732	0.784
15	3328.98	12.524	0.134	3330.84	3325.05	5.207	0.015
16	3598.99	17.429	8.785	3820.72	3573.85	82.98	4.675

4. Pati sagu dengan massa asam sitrat 0,75 gram



Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are	
1	459.03	23.818	2.385	484.81	414.87	27.767	1.511
2	524.6	16.981	4.442	543.89	484.1	41.539	2.278
3	565.1	17	3.888	590.18	543.89	33.258	1.808
4	688.54	13.214	0.913	698.18	675.04	19.995	0.37
5	711.88	12.705	1.928	738.89	698.18	34.742	1.386
6	781.83	12.415	8.975	821.82	740.81	59.978	5.518
7	854.41	20.775	9.855	891.05	823.55	39.968	5.307
8	931.55	16.884	13.043	958.83	892.98	40.492	7.538
9	1002.92	10.823	2.873	1010.63	958.58	41.428	2.808
10	1045.35	10	1.733	1068.58	1018.34	46.867	1.758
11	1234.38	11.817	1.079	1274.88	1228.57	38.204	0.092
12	1340.43	12.1	0.631	1344.29	1274.88	56.711	0.315
13	1415.85	12.821	3.724	1531.37	1408.01	70.013	4.347
14	1647.1	21.768	13.177	1679.88	1533.3	82.477	7.712
15	1724.24	16.034	25.418	1843.82	1681.81	81.8	15.303
16	2877.6	12.585	0.445	2881.45	2221.84	240.187	0.08
17	3276.83	16.081	0.376	3317.34	3271.05	35.458	0.237
18	3610.49	21.545	4.083	3795.65	3602.78	36.025	-26.499

LAMPIRAN C. DATA MASSA KOPOLIMER PADA UJI SWELLING

C1. UJI SWELLING PADA AIR

5,00/0,00 (g/g)	15 menit			60 menit			180 menit			1440 menit		
	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3
massa awal	0,3621	0,3555	0,3491	0,2768	0,2697	0,2423	0,1902	0,1927	0,2007	0,1203	0,1301	0,1277
massa akhir	0,8745	0,8811	0,8562	0,8796	0,8635	0,7913	0,6284	0,6364	0,6654	0,4056	0,4466	0,4301
Δ massa	0,5124	0,5256	0,5071	0,6028	0,5938	0,54898	0,4382	0,4437	0,4647	0,2853	0,3165	0,3024
rata-rata massa		0,5150			0,5819			0,4489			0,3014	
Kecepatan <i>swelling</i>		0,0343			0,0097			0,0025			0,0002	
% <i>swelling</i>	141,51%	147,86%	145,27%	217,77%	220,17%	226,57%	230,04%	230,25%	231,54%	234,93%	243,27%	236,81%
rata-rata		144,88%			221,50%			230,61%			238,34%	
stdev		0,03192914			0,045491151			0,008110512			0,043779332	

5,00/0,25 (g/g)	15 menit			60 menit			180 menit			1440 menit		
	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3
massa awal	0,3084	0,3745	0,3352	0,3787	0,3403	0,3547	0,2741	0,3744	0,3121	0,1115	0,1115	0,1189
massa akhir	0,6798	0,8227	0,7526	0,9777	0,8778	0,9159	0,7673	1,0443	0,8714	0,346	0,3475	0,3676
Δ massa	0,3714	0,4482	0,4174	0,599	0,5375	0,5612	0,4932	0,6699	0,5593	0,2345	0,236	0,2487
rata-rata massa		0,4123			0,5659			0,5741			0,2397	
Kecepatan <i>swelling</i>		0,0275			0,0094			0,0032			0,0002	
% <i>swelling</i>	120,43%	119,68%	124,52%	158,17%	157,95%	158,22%	179,93%	178,93%	179,21%	210,31%	211,53%	209,17%
rata-rata		121,54%			158,11%			179,35%			210,34%	
stdev		0,0261			0,0014			0,0052			0,0118	

5,00/1,00 (g/g)	15 menit			60 menit			180 menit			1440 menit		
	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3
massa awal	0,3387	0,3097	0,3561	0,288	0,2913	0,3142	0,218	0,2218	0,2567	0,2392	0,3233	0,2963
massa akhir	0,61745	0,5607	0,6477	0,5316	0,5445	0,5788	0,4511	0,4696	0,5397	0,5378	0,7116	0,6565
Δ massa	0,2788	0,2510	0,2916	0,2436	0,2532	0,2646	0,2331	0,2478	0,2830	0,2986	0,3883	0,3602
rata-rata massa	0,2738			0,2538			0,2546			0,3490		
Kecepatan <i>swelling</i>	0,0183			0,0042			0,0014			0,0002		
% <i>swelling</i>	82,33%	81,05%	81,89%	84,58%	86,91%	84,21%	106,93%	111,72%	110,25%	124,83%	120,11%	121,57%
rata-rata	81,76%			85,23%			109,63%			122,17%		
stdev	0,0065			0,0146			0,0246			0,0242		

5,00/1,25 (g/g)	15 menit			60 menit			180 menit			1440 menit		
	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3
massa awal	0,3485	0,3376	0,3097	0,26	0,2903	0,2764	0,3521	0,3827	0,3657	0,3611	0,3608	0,3852
massa akhir	0,9105	0,5301	0,4797	0,4435	0,4967	0,4787	0,7162	0,7773	0,7506	0,7798	0,8014	0,8476
Δ massa	0,5620	0,1925	0,1700	0,1835	0,2064	0,2023	0,3641	0,3946	0,3849	0,4187	0,4406	0,4624
rata-rata massa	0,3082			0,1974			0,3812			0,4406		
Kecepatan <i>swelling</i>	0,0205			0,0033			0,0021			0,0003		
% <i>swelling</i>	61,27%	57%	54,89%	70,58%	71,20%	73,19%	103,41%	103,11%	105,25%	115,95%	122,12%	120,04%
rata-rata	57,72%			71,66%			103,92%			119,37%		
stdev	0,0325			0,0137			0,0116			0,0314		

5,00/0,50(g/g)	15 menit			60 menit			180 menit			1440 menit		
	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3
massa awal	0,2296	0,1791	0,2467	0,3245	0,3959	0,3764	0,3006	0,3163	0,3091	0,2637	0,2559	0,2582
massa akhir	0,5272	0,4287	0,5565	0,802	0,972	0,9325	0,7571	0,7881	0,7736	0,7252	0,6997	0,7006
Δ massa	0,2976	0,2496	0,3098	0,4775	0,5761	0,5561	0,4565	0,4718	0,4645	0,4615	0,4438	0,4424
rata-rata massa	0,2857			0,5366			0,4643			0,4492		
Kecepatan <i>swelling</i>	0,0190			0,0089			0,0026			0,0003		
% <i>swelling</i>	129,62%	129,36%	125,58%	147,15%	145,52%	147,75%	151,86%	149,16%	150,27%	175,00%	173,43%	171,34%
rata-rata	128,19%			146,81%			150,43%			173,26%		
stdev	0,0226			0,0115			0,0136			0,0184		

5,00/0,75(g/g)	15 menit			60 menit			180 menit			1440 menit		
	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3
massa awal	0,1784	0,1715	0,1587	0,4304	0,3478	0,3953	0,3223	0,4587	0,4095	0,2612	0,4137	0,3016
massa akhir	0,4008	0,371	0,3484	0,9796	0,7859	0,9087	0,7534	1,1175	0,9822	0,6384	0,9975	0,7316
Δ massa	0,2224	0,1995	0,1897	0,5492	0,4381	0,5134	0,4311	0,6588	0,5727	0,3772	0,5838	0,43
rata-rata massa	0,2039			0,5002			0,5542			0,4637		
Kecepatan <i>swelling</i>	0,0136			0,0083			0,0031			0,0003		
% <i>swelling</i>	124,66%	116,33%	119,53%	127,60%	125,96%	129,87%	133,76%	143,62%	139,86%	144,41%	141,12%	142,57%
rata-rata	120,17%			127,81%			139,08%			142,70%		
stdev	0,0420			0,0196			0,0498			0,0165		

C3. UJI SWELLING PADA pH 3

5,00/0,00(g/g)	15 menit			60 menit			180 menit			1440 menit		
	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3
massa awal	0,1738	0,1065	0,1548	0,1628	0,1834	0,2077	0,1634	0,2743	0,2131	0,2188	0,09	0,176
massa akhir	0,7051	0,437	0,6328	0,7872	0,8987	1,0128	0,8309	1,3989	1,0851	1,1534	0,4816	0,9345
Δ massa	0,5313	0,3305	0,4780	0,6244	0,7153	0,8051	0,6675	1,1246	0,8720	0,9346	0,3916	0,7585
rata-rata Δ massa		0,4466			0,7149			0,8880			0,6949	
kecepatan <i>swelling</i>		0,0298			0,0119			0,0049			0,0005	
% <i>swelling</i>	305,70%	310,33%	308,79%	383,54%	390,02%	387,65%	408,51%	409,99%	409,20%	427,14%	435,11%	430,97%
rata-rata %swelling		308,27%			387,07%			409,23%			431,07%	
stdev		0,0236			0,0328			0,0074			0,0399	

5,00/0,25 (g/g)	15 menit			60 menit			180 menit			1440 menit		
	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3
massa awal	0,2396	0,2072	0,2107	0,2941	0,1666	0,2759	0,2388	0,2533	0,2741	0,241	0,2007	0,2187
massa akhir	0,5732	0,5013	0,5072	0,9039	0,5259	0,8648	0,7964	0,8306	0,9097	0,8084	0,6682	0,7294
Δ massa	0,3336	0,2941	0,2965	0,6098	0,3593	0,5889	0,5576	0,5773	0,6356	0,5674	0,4675	0,5107
rata-rata Δ massa		0,3081			0,5193			0,5902			0,5152	
Kecepatan <i>swelling</i>		0,0205			0,0087			0,0033			0,0004	
% <i>swelling</i>	139,23%	141,94%	140,72%	207,34%	215,67%	213,45%	233,70%	227,91%	231,89%	235,63%	233,17%	233,52%
rata-rata		140,63%			212,15%			231,16%			234,10%	
stdev		0,0136			0,0431			0,0296			0,0133	

5,00/1,0 (g/g)	15 menit			60 menit			180 menit			1440 menit		
	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3
massa awal	0,2589	0,2366	0,2358	0,374	0,3569	0,3827	0,2465	0,3316	0,2986	0,3597	0,2701	0,3009
massa akhir	0,5749	0,5098	0,5129	0,9633	0,932	0,9993	0,6455	0,8566	0,786	0,9841	0,7531	0,8296
Δ massa	0,3160	0,2732	0,2771	0,5893	0,5751	0,6166	0,3990	0,5250	0,4874	0,6244	0,4830	0,5287
rata-rata Δ massa		0,2888			0,5937			0,4705			0,5454	
kecepatan <i>swelling</i>		0,0193			0,0099			0,0026			0,0004	
% <i>swelling</i>	122,05%	115,47%	117,51%	157,57%	161,14%	161,12%	161,87%	158,32%	163,23%	173,59%	178,82%	175,71%
rata-rata		118,35%			159,94%			161,14%			176,04%	
stdev		0,0337			0,0206			0,0253			0,0263	

5,00/1,25 (g/g)	15 menit			60 menit			180 menit			1440 menit		
	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3
massa awal	0,201	0,2055	0,1989	0,174	0,1598	0,1808	0,1682	0,2069	0,1789	0,2507	0,2317	0,2781
massa akhir	0,386	0,3961	0,3797	0,4198	0,3915	0,4407	0,4441	0,5539	0,4754	0,6716	0,6188	0,7462
Δ massa	0,1850	0,1906	0,1808	0,2458	0,2317	0,2599	0,2759	0,3470	0,2965	0,4209	0,3871	0,4681
rata-rata Δ massa		0,1855			0,2458			0,3065			0,4254	
kecepatan <i>swelling</i>		0,0124			0,0041			0,0017			0,0003	
% <i>swelling</i>	92,04%	92,75%	90,90%	141,26%	144,99%	143,75%	164,03%	167,71%	165,74%	167,89%	167,07%	168,32%
rata-rata		91,90%			143,33%			165,83%			167,76%	
stdev		0,0093			0,0190			0,0184			0,0064	

5,00/0,50 (g/g)	15 menit			60 menit			180 menit			1440 menit		
	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3
massa awal	0,1465	0,1831	0,1715	0,2016	0,2136	0,2816	0,346	0,1366	0,2451	0,1282	0,1712	0,1515
massa akhir	0,3321	0,4227	0,3938	0,6788	0,7211	0,9592	1,1717	0,4665	0,8451	0,4502	0,605	0,537
Δ massa	0,1856	0,2396	0,2223	0,4772	0,5075	0,6776	0,8257	0,3299	0,6000	0,3220	0,4338	0,3855
rata-rata Δ massa		0,2158			0,5541			0,5852			0,3804	
Kec <i>swelling</i>		0,0144			0,0092			0,0033			0,0003	
% <i>swelling</i>	126,69%	130,86%	129,62%	236,70%	237,61%	240,63%	238,64%	241,50%	244,80%	251,17%	253,40%	254,46%
rata-rata		129,06%			238,31%			241,65%			253,01%	

5,00/0,75 (g/g)	15 menit			60 menit			180 menit			1440 menit		
	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3
massa awal	0,1684	0,198	0,217	0,1159	0,2908	0,2531	0,1783	0,1936	0,1879	0,2907	0,2878	0,3019
massa akhir	0,3699	0,4346	0,4763	0,3594	0,9174	0,8002	0,5697	0,62	0,6079	0,929	0,94	0,9897
Δ massa	0,2015	0,2366	0,2593	0,2435	0,6266	0,5471	0,3914	0,4264	0,4200	0,6383	0,6522	0,6878
rata-rata Δ massa		0,2325			0,4724			0,4126			0,6594	
Kec <i>swelling</i>		0,0155			0,0079			0,0023			0,0005	
% <i>swelling</i>	119,65%	119,49%	119,49%	210,10%	215,47%	216,16%	219,52%	220,25%	223,53%	219,57%	226,61%	227,83%
rata-rata		119,54%			213,91%			221,10%			224,67%	
stdev		0,0009			0,0332			0,0214			0,0446	

C5. UJI SWELLING PADA pH 8

5,00/0,00 (g/g)	15 menit			60 menit			180 menit			1440 menit		
	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3
massa awal	0,1215	0,1424	0,1386	0,1642	0,1579	0,1399	0,1472	0,1638	0,1717	0,1587	0,0854	0,1083
massa akhir	0,5411	0,6421	0,6236	1,2536	1,1908	1,063	1,294	1,4446	1,5087	1,4364	0,7783	0,9887
Δ massa	0,4196	0,4997	0,4850	1,0894	1,0329	0,9231	1,1468	1,2808	1,3370	1,2777	0,6929	0,8804
rata-rata massa		0,4681			1,0151			1,2549			0,9503	
Kecepatan <i>swelling</i>		0,0312			0,0169			0,0070			0,0007	
% <i>swelling</i>	345,37%	350,93%	349,99%	663,46%	654,15%	659,83%	779,07%	781,93%	778,68%	805,10%	811,35%	812,93%
rata-rata		348,76%			659,15%			779,89%			809,79%	
stdev		0,0297			0,0469			0,0177			0,0414	

5,00/0,25 (g/g)	15 menit			60 menit			180 menit			1440 menit		
	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3
massa awal	0,198	0,2375	0,2279	0,2386	0,234	0,2416	0,2018	0,2136	0,2157	0,2196	0,225	0,2309
massa akhir	0,4582	0,5446	0,5378	1,0139	0,9977	1,0358	0,9318	1,0002	1,0117	1,042	1,0825	1,1042
Δ massa	0,2602	0,3071	0,3099	0,7753	0,7637	0,7942	0,7300	0,7866	0,7960	0,8224	0,8575	0,8733
rata-rata massa		0,2924			0,7777			0,7709			0,8511	
Kecepatan <i>swelling</i>		0,0195			0,0130			0,0043			0,0006	
% <i>swelling</i>	131,40%	129,30%	136,00%	324,94%	326,37%	328,73%	361,74%	368,26%	369,03%	374,50%	381,11%	378,22%
rata-rata		132,23%			326,68%			366,34%			377,94%	
stdev		0,0343			0,0191			0,0401			0,0332	

5,00/1,00 (g/g)	15 menit			60 menit			180 menit			1440 menit		
	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3
massa awal	0,2707	0,2512	0,2668	0,1203	0,1265	0,1331	0,176	0,3026	0,2344	0,2465	0,2369	0,2444
massa akhir	0,5583	0,5343	0,5493	0,4024	0,4147	0,4418	0,6008	1,0402	0,8101	0,8704	0,8455	0,8579
Δ massa	0,2876	0,2831	0,2825	0,2821	0,2882	0,3087	0,4248	0,7376	0,5757	0,6239	0,6086	0,6135
rata-rata massa		0,2844			0,2930			0,5794			0,6153	
Kecepatan <i>swelling</i>		0,0190			0,0049			0,0032			0,0004	
% <i>swelling</i>	106,24%	112,70%	105,88%	234,50%	227,83%	231,93%	241,36%	243,75%	245,61%	253,10%	256,92%	251,04%
rata-rata		108,27%			231,42%			243,57%			253,69%	
stdev		0,0384			0,0336			0,0213			0,0298	

5,00/1,25 (g/g)	15 menit			60 menit			180 menit			1440 menit		
	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3
massa awal	0,2274	0,2422	0,2443	0,3078	0,3522	0,3319	0,2026	0,2332	0,2119	0,2588	0,2791	0,2608
massa akhir	0,4198	0,4534	0,4517	0,9116	1,0367	0,995	0,6199	0,7247	0,6594	0,6155	0,9393	0,8688
Δ massa	0,1924	0,2112	0,2074	0,6038	0,6845	0,6631	0,4173	0,4915	0,4475	0,3567	0,6602	0,6080
rata-rata massa		0,2037			0,6505			0,4521			0,5416	
Kecepatan <i>swelling</i>		0,0136			0,0108			0,0025			0,0004	
% <i>swelling</i>	84,61%	87,20%	84,90%	196,17%	194,35%	199,79%	205,97%	210,76%	211,18%	237,83%	236,54%	233,13%
rata-rata		85,57%			196,77%			209,30%			235,83%	
stdev		0,0142			0,0277			0,0290			0,0243	

**LAMPIRAN D.TABULASI % SWELLING PADA BERBAGAI VARIASI
PELARUT, VARIASI MASSA ASAM SITRAT DAN LAMA
SWELLING.**

D1. % *Swelling* dalam 15 menit

pH	Massa pati/asam sitrat (g/g)					
	5,00/0,00	5,00/0,25	5,00/0,50	5,00/0,75	5,00/1,00	5,00/1,25
1,2	252,00%	151,79%	128,19%	120,17%	95,85%	86,49%
3	308,27%	140,63%	132,92%	126,13%	118,35%	91,90%
6,5	326,36%	130,66%	129,06%	119,54%	111,79%	94,19%
7	144,88%	121,54%	112,87%	90,00%	81,76%	57,72%
8	348,76%	132,23%	124,51%	112,23%	108,27%	85,57%

D2. % *Swelling* dalam 60 menit

pH	Massa pati/asam sitrat (g/g)					
	5,00/0,00	5,00/0,25	5,00/0,50	5,00/0,75	5,00/1,00	5,00/1,25
1,2	293,51%	189,98%	146,81%	127,81%	134,09%	125,45%
3	387,07%	212,15%	180,38%	162,44%	159,94%	143,33%
6,5	489,62%	254,65%	238,31%	213,91%	178,69%	176,14%
7	221,50%	158,11%	121,08%	96,27%	85,23%	71,66%
8	659,15%	326,68%	284,23%	246,36%	231,42%	196,77%

D3. % *Swelling* dalam 180 menit

pH	Massa pati/asam sitrat (g/g)					
	5,00/0,00	5,00/0,25	5,00/0,50	5,00/0,75	5,00/1,00	5,00/1,25
1,2	339,91%	190,60%	150,43%	139,08%	132,97%	129,41%
3	409,23%	231,16%	167,41%	196,06%	161,14%	165,83%
6,5	523,92%	288,98%	241,65%	221,10%	212,93%	183,75%
7	230,62%	179,35%	128,19%	127,19%	109,63%	103,92%
8	779,89%	366,34%	328,28%	272,55%	243,57%	209,30%

LAMPIRAN E. DATA KECEPATAN SWELLING**E1. Data kecepatan *swelling* kopolimer selama 15 menit**

pH	Massa pati/asam sitrat (g/g)					
	5,00/0,00	5,00/0,25	5,00/0,50	5,00/0,75	5,00/1,00	5,00/1,25
1,2	0,1680	0,1012	0,0855	0,0801	0,0639	0,0577
3	0,2055	0,0938	0,0886	0,0841	0,0789	0,0613
6,5	0,2176	0,0871	0,0860	0,0797	0,0745	0,0628
7	0,0966	0,0810	0,0752	0,0600	0,0545	0,0385
8	0,2325	0,0882	0,0830	0,0748	0,0722	0,0570

E2. Data kecepatan *swelling* kopolimer selama 60 menit

pH	Massa pati/asam sitrat (g/g)					
	5,00/0,00	5,00/0,25	5,00/0,50	5,00/0,75	5,00/1,00	5,00/1,25
1,2	0,04892	0,03166	0,02447	0,0213	0,02235	0,02091
3	0,06451	0,03536	0,03006	0,02707	0,02666	0,02389
6,5	0,0816	0,04244	0,03972	0,03565	0,02978	0,02936
7	0,03692	0,02635	0,02018	0,01605	0,01421	0,01194
8	0,10986	0,05445	0,04737	0,04106	0,03857	0,0328

E3. Data kecepatan *swelling* kopolimer selama 180 menit

pH	Massa pati/asam sitrat (g/g)					
	5,00/0,00	5,00/0,25	5,00/0,50	5,00/0,75	5,00/1,00	5,00/1,25
1,2	0,01888	0,01059	0,00836	0,00773	0,00739	0,00719
3	0,02274	0,01284	0,0093	0,01089	0,00895	0,00921
6,5	0,01281	0,00996	0,00712	0,00707	0,00609	0,00577
7	0,02911	0,01605	0,01343	0,01228	0,01183	0,01021
8	0,04333	0,02035	0,01824	0,01514	0,01353	0,01163

