

KARAKTERISTIK KOPOLIMER RADIASI SELULOSA ASETAT-co-GLUTARALDEHIDA

Meri Suhartini¹ dan E. Evy Ernawati²

¹Pusat Aplikasi Isotop Radiasi - Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Lebak Bulus No.49, Jakarta

²Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) - Universitas Padjadjaran
E-mail: meri@batan.go.id

Diterima: 13 Januari 2014

Diperbaiki: 28 April 2014

Disetujui: 28 Mei 2014

ABSTRAK

KARAKTERISTIK KOPOLIMER RADIASI SELULOSA ASETAT-ko-GLUTARALDEHIDA.

Kopolimerisasi radiasi selulosa asetat -ko- glutaraldehida telah dilakukan dengan menambahkan glutaraldehida pada selulosa asetat pada berbagai konsentrasi keberadaan. Sebagai inisiator digunakan iradiasi sinar- γ dari sumber Co-60 pada berbagai variasi dosis iradiasi. Hasil menunjukkan bahwa kopolimerisasi selulosa asetat-ko-glutaraldehida menurunkan derajat pengembangan serta meningkatkan sifat mekanik dan termal pada kopolimer tersebut. Konsentrasi optimum glutaraldehid diperoleh pada 3 % berat/berat dengan dosis iradiasi sinar- γ pada 30 kGy, derajat pengembangan turun dari 7,95 % menjadi 1,32 %, pada derajat kopolimerisasi 16,42 %. Analisis gugus fungsi menggunakan spektrometer *Fourier Transform-Infra Red (FT-IR)* memperlihatkan adanya pergeseran puncak serapan sebelum dan sesudah penambahan glutaraldehid menunjukkan bahwa proses kopolimerisasi telah terjadi.

Kata Kunci : Glutaraldehida, Selulosa asetat, Irradiasi gamma

ABSTRACT

CHARACTERISTICS OF RADIATION COPOLYMERS CELLULOSE ACETATE-co-GLUTARALDEHYDE.

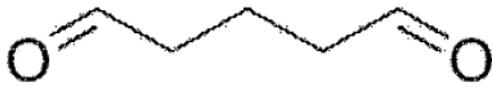
Radiation copolymerization of cellulose acetate -co-glutaraldehyde membrane was done by adding glutaraldehyde monomer on to cellulose acetate at various concentrations. Gamma-ray irradiation from Co-60 source was used as initiator, irradiation performed at various doses. The results showed that copolymerization reduced the degree of swelling as well as enhance the mechanical and thermal properties of the membrane that are copolymerized. The optimum concentration of glutaraldehyde obtained at 3 %w/w with irradiation dose at 30 kGy, the degree of swelling decreased from 7.95 % to 1.32 % on the value of the degree of copolymerization 16.42 %. The absorption peak of functional groups were analyze during Fourier Transform - Infra Red (FT-IR) shifted which indicates that copolymerization occurred.

Keywords: Glutaraldehyde, Cellulose acetate, Gamma irradiation

PENDAHULUAN

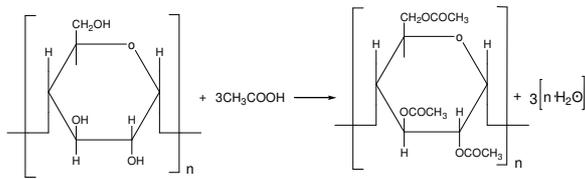
Selulosa asetat merupakan golongan ester selulosa yang dapat dimodifikasi untuk memperbaiki sifat fisik dan kimianya untuk keperluan tertentu. Dari sejumlah ester asam karboksilat alifatik selulosa komersial, selulosa asetat mempunyai stabilitas termal yang baik. Selulosa asetat dapat larut dalam pelarut metilen klorida-alkohol. Jika pelarutnya diuapkan akan diperoleh serat yang halus yang disebut asetat rayon

[1]. Selain mempunyai nilai komersial yang cukup tinggi, selulosa asetat juga memiliki beberapa keunggulan diantaranya karakteristik fisik dan optik yang baik sehingga banyak digunakan sebagai serat untuk tekstil, filter rokok, plastik dan film fotografi, pelapis kertas dan membran, serta kemudahan dalam pemrosesan lebih lanjut [2].



Gambar 1. Struktur molekul glutaraldehyd [4].

Glutaraldehyd, karbon-5 linear dialdehyd, merupakan zat bening, berwarna pucat kekuning-kuningan, cairan berminyak yang berbau tajam, larut dalam semua perbandingan air dan alkohol, serta pelarut organik. Struktur molekul glutaraldehyd ditunjukkan pada Gambar 1. Glutaraldehyd umumnya tersedia sebagai larutan asam (pH 3,0 - 4,0) pada rentang konsentrasi 2 - 70% (b/v). Glutaraldehyd bereaksi dengan cepat dengan gugus amina pada pH netral dan lebih efisien

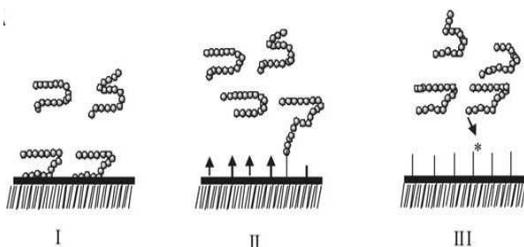


Gambar 2. Reaksi esterifikasi selulosa menjadi selulosa asetat. [3]

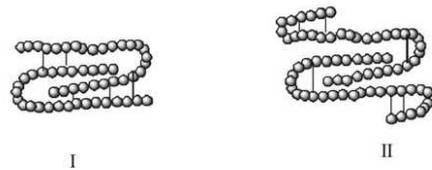
daripada aldehida lain dalam menghasilkan ikatan silang termal dan kimiawi yang stabil seperti diperlihatkan pada Gambar 2.

Grafting merupakan teknik yang digunakan untuk pengumpulan monomer dan penguraian polimer. Teknik ini dapat digunakan untuk mendapatkan polimer dengan kerapatan tinggi dan menambah kekuatan tariknya. Fisiosorpsi dapat menjelaskan sesuatu yang berkaitan dengan kekuatan tarikan secara fisika. Prosesnya merupakan proses reversibel yang dicapai dengan polimer akhir difungsikan pada permukaan padat atau perakitan polimerik surfaktan itu sendiri. *Grafting* dapat dicapai melalui ‘*grafting* penjarahan’ atau ‘*grafting* pendekatan’. Pada awal proses ‘*grafting* penjarahan’, reaksi monomer fungsional dengan rangka tulang polimer membentuk satu *graft*. Di sisi lain, ‘*grafting* pendekatan’ dicapai dengan memperlakukan substrat dengan beberapa metode untuk menghasilkan inisiator yang tidak bergerak, diikuti oleh polimerisasi.

Penyajian skematik dari semua proses tersebut ditampilkan Gambar 3. *Crosslinking* atau ikatan silang adalah pengumpulan polimer yang disertai pembentukan ikatan kimia. Umumnya, ikatan silang bersifat ireversibel.



Gambar 3. Diagram skematik dari (I) fisiosorpsi, (II) grafting dan (III) mulai grafting [5].



Gambar 4. Diagram skematik dari (I) ikatan silang intermolekul dan (II) ikatan silang intramolekul [5].

Hal tersebut memungkinkan karena adanya ikatan intramolekul (Gambar 4).

Pada penelitian ini polimer selulosa asetat dikopolimerisasi menggunakan glutaraldehyda sebagai *agent* pengikat silang dan iradiasi sinar gamma sebagai inisiator. Penelitian ini diharapkan dapat memperbaiki sifat kimia, fisik, dan mekanik dari polimer selulosa asetat, sehingga dapat dipergunakan untuk berbagai keperluan seperti untuk bahan membran pervaporasi dan adsorben.

METODE PERCOBAAN

Bahan dan Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat pemanas, desikator, pengaduk magnet, peralatan pencetak lembaran polimer dan peralatan gelas yang umum digunakan dalam laboratorium, *tensile strength*, *Differential Scanning Calorimeter* (DSC-60) Shimadzu, *Fourier Transform-Infra Red (FT-IR) Spectrometer* Perkin Elmer Spectrum 100.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air suling, selulosa asetat (SA) (Aldrich), aseton pro analysis (Merck) dan glutaraldehyda (GA) 25% (Merck).

Cara Kerja

Pembuatan Kopolimer Selulosa Asetat-ko-Glutaraldehyda

SA sebanyak 4 gram dimasukkan ke labu erlenmeyer 50 mL yang berisi aseton sebanyak 16 gram b/b secara perlahan sambil diaduk dengan menggunakan pengaduk magnetik. Larutan diaduk selama 24 jam kemudian dimasukkan dalam lemari pendingin selama 24 jam. Larutan tersebut dicetak dengan *teknik inverse fase*. Lalu ditambahkan larutan GA dengan variasi konsentrasi yaitu 0,1; 0,3; 1; 3; dan 10% b/b. Selanjutnya diiradiasi dengan variasi dosis sinar- γ yaitu 10 kGy, 20 kGy, 30 kGy, dan 40 kGy.

Penentuan Derajat Kopolimerisasi

Penentuan derajat kopolimerisasi menggunakan Persamaan 1.

$$DK(\%) = \frac{M_s - M_d}{M_d} \times 100\% \quad \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

- DK= Derajat Kopolimerisasi
- M_s = Berat membran sebelum kopolimerisasi (gram)
- M_d = Berat membran setelah kopolimerisasi (gram)

Penentuan Derajat Pengembangan

SA dan SA-ko-GA, direndam dalam larutan etanol 95% pada suhu 40 °C selama 24 jam. Polimer dan kopolimer yang telah direndam ditimbang sampai diperoleh berat konstan, kemudian dihitung derajat pengembangannya. Derajat pengembangan dapat ditentukan menggunakan Persamaan 2.

$$DP(\%) = \frac{M_s - M_d}{M_d} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

- DP= Derajat Pengembangan
- M_s = Berat membran basah (gram)
- M_d = Berat membran kering (gram)

Analisis Differential Scanning Calorimeter

Differential Scanning Calorimeter (DSC) digunakan untuk mengetahui titik leleh (T_m) dari suatu senyawa, penentuan titik leleh dilakukan sebelum dan setelah proses modifikasi dari suatu polimer. SA standar tanpa kopolimerisasi GA dan kopolimer SA-ko-GA dipotong kecil dengan berat 0,3 mg. Pengukuran DSC dilakukan pada rentang suhu 0 °C hingga 500 °C kemudian dianalisa berdasarkan perubahan titik leleh yang terjadi.

Penentuan Kekuatan Tarik (T_s)

Kopolimer SA-ko-GA dipotong sesuai plat dengan lebar 0,3 cm kemudian diukur ketebalannya beberapa kali pada bagian membran yang telah dipotong. Setelah itu diuji kekuatan tariknya dengan alat tensile strength. Nilai T_s ditentukan berdasarkan Persamaan (3).

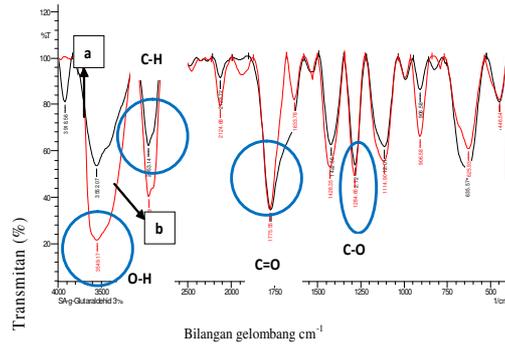
$$T_s = \frac{MI}{tebal/cm \times lebar/cm} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

- T_s = Kekuatan tarik (kg/cm²)
- MI = Massa tarik (kg)

Analisis Spektrum Fourier Transform-Infrared

Spektrometer Fourier Transform-Infra Red (FT-IR) digunakan untuk mengetahui gugus fungsi dari polimer yang dimodifikasi. Spektrum dari sampel polimer berbentuk film diukur pada bilangan gelombang antara 500 cm⁻¹ hingga 4000 cm⁻¹.



Gambar 5. Perbandingan spektrum FT-IR antara SA dan kopolimer SA-ko-GA

Tabel 1. Hasil analisis spektrum FT-IR SA dan SA-ko-GA [6]

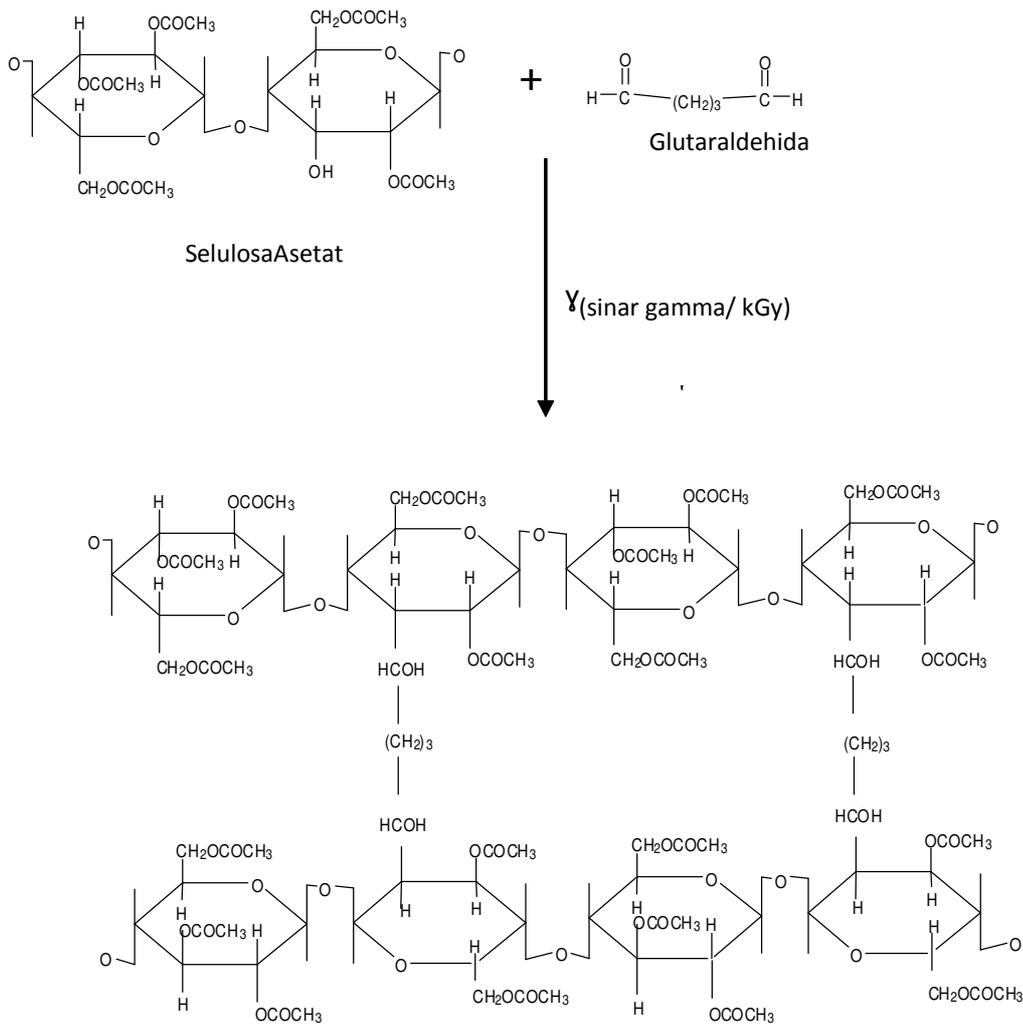
Gugus fungsi	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)*	Bilangan gelombang SA-ko-GA (cm ⁻¹)	Bilangan gelombang SA (cm ⁻¹)
Ikatan O – H	3500 – 3100	3562	3549
Ikatan C – H	3000 – 2800	2963	2949
Ikatan C = O	1750 – 1600	1769	1775
Ikatan C – O	1250 – 1000	1284	1282
Ikatan C – O – C	1100 – 1000	1112	1114

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Gugus Fungsi

Selulosa asetat yang telah dikopolimerisasi dengan dan tanpa GA dianalisis dengan Spektrometer FT-IR dan dibandingkan hasil spektrumnya untuk mengetahui ikatan kimia yang terjadi. Hasil perbandingan spektrum FT-IR antara sampel SA tanpa GA (a) dan kopolimer SA-ko-GA 3% b/b (b) ditampilkan pada Gambar 5. Berdasarkan perbandingan spektrum diketahui bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara spektrum SA dan SA-ko-GA, tetapi terjadi pergeseran beberapa bilangan gelombang pada gugus fungsi yang khas (Tabel 1).

Berdasarkan hasil perbandingan bilangan gelombang SA dan SA-ko-GA, diketahui bahwa terjadi pergeseran bilangan gelombang pada daerah khas serapan dari O-H, dari 3549 cm⁻¹ menjadi 3562 cm⁻¹. Hal ini terjadi karena adanya perubahan letak gugus hidroksi (-OH) pada selulosa asetat yang dihasilkan dari reaksi pembentukan radikal bebas pada gugus O dan berikatan dengan gugus aldehid (C=O) pada GA. Pergeseran bilangan gelombang juga terjadi pada daerah serapan khas C=O, dari 1775 cm⁻¹ menjadi 1769 cm⁻¹ terjadi akibat adanya penurunan intensitas serapan yang disebabkan adanya pengurangan gugus C=O yang berasal dari gugus aldehid dari GA yang tidak ikut bereaksi dengan gugus -OH. Hal yang sama juga terjadi pada daerah khas serapan C-O, dimana terjadi perubahan bilangan gelombang dari 1282 cm⁻¹ menjadi 1284 cm⁻¹. Reaksi perubahan SA-ko-GA teriradiasi sinar-γ berdasarkan

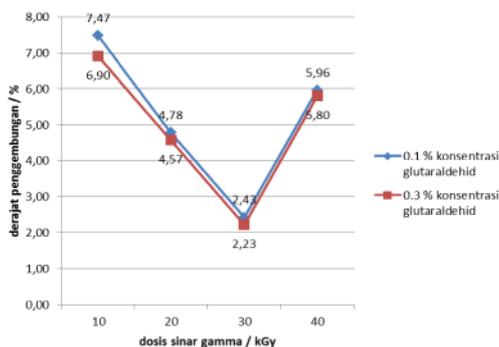


Gambar 6. Reaksi pembentukan SA-ko-GA

hasil analisis spektrum *FT-IR* pada Tabel 1 ditampilkan pada Gambar 6.

Derajat Penggembungan dan Derajat Kopolimerisasi

Salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kerapatan polimer dengan mengukur derajat



Gambar 7. Grafik pengaruh dosis radiasi terhadap derajat pengembangan SA-ko-GA 0,1 % dan 0,3 %b/b

penggembungan. Penentuan dosis optimum iradiasi sinar- γ , dilihat dari pengaruh penambahan konsentrasi GA 0,1% dan 0,3% dengan variasi dosis radiasi 10, 20, 30, dan 40 kGy terhadap derajat pengembangan polimer termodifikasi. Hasil pengukuran derajat pengembangan dapat dilihat pada Gambar 7.

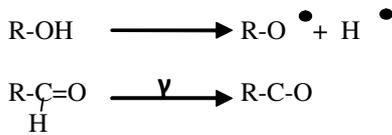
Pada Gambar 7 terlihat bahwa penambahan konsentrasi GA 0,1% dan 0,3% b/b menunjukkan kecenderungan perubahan yang tidak terlalu berbeda. Perbedaan signifikan dapat dilihat pada variasi dosis iradiasi yang mana pada konsentrasi GA 0,1% terjadi penurunan derajat pengembangan dari 7,4% pada dosis iradiasi 10 kGy menjadi 2,43% pada dosis iradiasi 30 kGy, sementara pada konsentrasi GA 0,3% derajat pengembangan menurun dari 6,9% menjadi 2,23%. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi kopolimerisasi pada polimer SA, yang mana GA berperan sebagai jembatan dan pengikat silangnya. Konsentrasi SA dibuat 20% b/b karena pada konsentrasi tersebut mampu menghasilkan polimer dengan struktur morfologi dan sifat mekanik yang cukup baik [7-9]. Selain itu aseton digunakan sebagai pelarut selulosa asetat karena aseton

merupakan pelarut semipolar yang dapat melarutkan SA dengan baik [10].

Pengaruh iradiasi sinar- γ terhadap proses kopolimerisasi pada polimer berlangsung melalui 3 tahap, yaitu [11]:

1. Tahap inisiasi

Pada tahap ini terjadi reaksi pembentukan radikal bebas yang disebabkan oleh inisiator (sinar- γ). Interaksi dan efek fotolistrik antara sinar- γ dengan polimer SA dan GA menyebabkan pembentukan radikal bebas yaitu pada gugus -OH dari SA (Gambar 6) menjadi O^\bullet (O radikal) dan H^\bullet (H radikal)



Selanjutnya gugus C-O pada glutaraldehida mengikat O radikal dan H radikal maka terbentuklah ikatan pada SA dan GA.

2. Tahap propagasi

Pada tahap ini, radikal-radikal bebas yang dihasilkan oleh reaksi inisiasi tumbuh menjadi molekul yang lebih besar antara SA dan GA. Radikal pada polimer SA berikatan dengan GA lainnya.

3. Tahap Terminasi

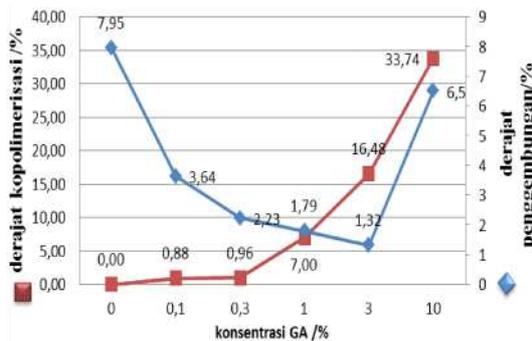
Pada tahap ini terjadi polimerisasi antara SA dengan GA yaitu terjadi ikatan antara gugus -OH pada SA dengan gugus C=O pada GA yang menyebabkan ikatan semakin kuat dan molekul semakin besar.

Pada saat dosis iradiasi 40 kGy, derajat pengembangan SA-ko-GA kembali mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan karena terjadi pemutusan rantai SA yang disebabkan karena energi radiasi yang terlalu tinggi [12]. Pemutusan ikatan menyebabkan pori pada kopolimer SA-ko-GA menjadi kurang rapat dan mengakibatkan air

lebih banyak terdifusi dalam kopolimer dan menjadikan derajat pengembangan semakin tinggi [7]. Dapat disimpulkan bahwa dosis iradiasi optimum adalah 30 kGy.

Pada Gambar 8 menunjukkan bahwa sampel SA tanpa penambahan GA (derajat kopolimerisasi 0%) mempunyai derajat pengembangan yang besar yaitu 7,95%. Hal ini dikarenakan membran SA tanpa kopolimerisasi memiliki volume bebas atau ruang kosong yang besar pada matriknya, sehingga air dapat mudah berdifusi [5]. Sementara itu SA merupakan polimer yang hidrofilik karena memiliki gugus hidroksil (-OH) pada strukturnya dan dapat berikatan hidrogen dengan air [5]. Tetapi, setelah dipolimerisasikan dengan GA pada konsentrasi 0,1; 0,3; 1, dan 3% (b/b) dengan inisiator iradiasi sinar- γ 30 kGy, derajat pengembangan kopolimer mengalami penurunan yang signifikan yaitu dari 7,95% menjadi 1,32%. Hal ini dikarenakan proses kopolimerisasi menghasilkan matrik SA yang rapat dengan ikatannya yang lebih kuat. Sebagai akibatnya difusi air dalam kopolimer semakin kecil dan derajat pengembangan menjadi turun. Derajat pengembangan terendah berada pada penambahan GA 3% dengan nilai 1,32%. Namun derajat pengembangan kopolimer mengalami peningkatan kembali pada penambahan GA 10% b/b dengan nilai 6,9%. Sementara seiring dengan penambahan konsentrasi GA dari 0,1% hingga 10% terhadap polimer SA, derajat kopolimerisasi mengalami kenaikan dari 0% menjadi 33,74%. Hal ini dikarenakan selain terbentuknya kopolimer SA-ko-GA, juga terjadi homopolimer dari GA itu sendiri.

Dari hasil kopolimerisasi ini dapat dilihat terjadinya penurunan kemudian kenaikan derajat pengembangan pada SA setelah penambahan variasi konsentrasi GA. Hal ini disebabkan oleh makin rapatnya polimer akibat terjadinya kopolimerisasi pada rantai-rantai polimer penyusunnya, sehingga volume bebasnya menjadi lebih kecil dan kopolimer yang dihasilkan menjadi lebih rapat. Hasil optimum dari kopolimerisasi ini dilakukan berdasarkan nilai derajat pengembangan terendah dan derajat kopolimerisasi tertinggi yaitu pada penambahan konsentrasi GA 3% dengan nilai derajat pengembangan 1,2 % dan derajat kopolimerisasi 16,48%.

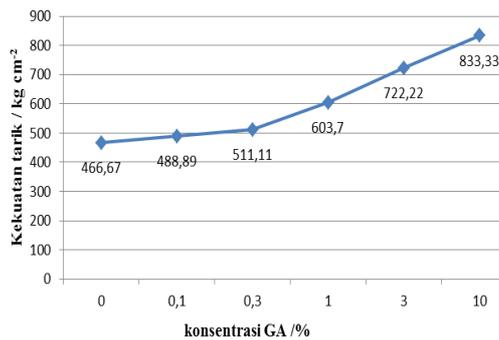


Gambar 8. Grafik hubungan konsentasi GA terhadap derajat pengembangan dan derajat kopolimerisasi SA-ko-GA

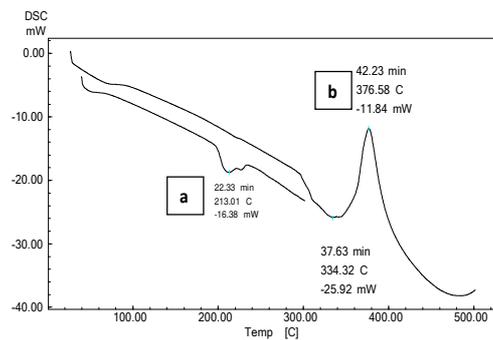
Sifat Mekanik dan Termal

Peningkatan sifat mekanik terjadi pada polimer SA yang dikopolimerisasi dengan GA yang ditunjukkan dari hasil pengujian kekuatan tarik (T_s) (Gambar 9) dan terjadi pula peningkatan ketahanan panas yang ditunjukkan dengan peningkatan titik leleh (T_m) (Gambar 10).

Gambar 9 memperlihatkan bahwa semakin tinggi konsentrasi GA yang ditambahkan maka nilai kekuatan tarik semakin tinggi. Berdasarkan perhitungan persamaan T_s , polimer SA tanpa kopolimerisasi memiliki nilai T_s sebesar 466,67 kg/cm² kemudian



Gambar 9. Grafik kekuatan tarik kopolimer SA-ko-GA terhadap konsentrasi GA



Gambar 10. Grafik Titik leleh (T_m) pada (a). polimer SA dan (b). kopolimer SA-ko-GA (3% b/b)

meningkat seiring bertambahnya konsentrasi GA dari 0,1% hingga 10%. Nilai T_s pada penambahan konsentrasi GA 10% yaitu 833,33 kg/cm², sehingga dapat disimpulkan bahwa sampai konsentrasi GA 10%, nilai T_s meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi TA yang ditambahkan. Nilai T_s dapat menentukan sifat mekanik dari suatu materi [11].

Kenaikan nilai T_s , menghasilkan ketahanan kimia yang semakin tinggi. Pada kopolimer SA-ko-GA, kenaikan T_s disebabkan oleh adanya ikatan kimia antara SA dengan GA yang semakin banyak pada rantai polimer (Gambar 6) sehingga kekuatan putus dari kopolimer semakin bertambah. Pada kopolimer SA-ko-GA (3% b/b) yang memiliki nilai derajat pengembangan yang rendah dan nilai kopolimerisasi yang tinggi memiliki T_s sebesar 722,22 kg/cm².

Sifat ketahanan panas dari SA tanpa kopolimerisasi dibandingkan dengan kopolimer SA-co-GA (3% b/b) yang dianalisis berdasarkan titik leleh (T_m) pada kisaran suhu 0 °C hingga 500 °C (Gambar 10). Polimer SA meleleh pada suhu 213,01 °C (Gambar 10(a)) sedangkan pada kopolimer SA-ko-GA (3% b/b) terjadi kenaikan suhu pelelehan yaitu mulai dari 334,32 °C (Gambar 10(b)) dan kemudian mulai mengalami degradasi pada suhu 376,58 °C.

Nilai titik leleh ditentukan oleh faktor kekuatan ikatan antar rantai dan derajat kristalinitas. Rantai utama pada SA (Gambar 6) mengandung gugus aromatik yang dapat menaikkan titik leleh karena

gugus samping menghalangi fleksibilitas rantai utama ketika terjadi pelelehan sehingga titik leleh semakin besar (Rosadi,2011). Sementara itu derajat kristalinitas pada polimer SA bergantung pada keteraturan susunan struktur polimer. Kopolimer SA-ko-GA (3% b/b) memiliki sifat ketahanan panas (termal) yang lebih tinggi dibandingkan dengan polimer SA [8].

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kopolimerisasi radiasi selulosa asetat dengan glutaraldehida menggunakan inisiator iradiasi sinar- γ dari sumber Co-60 dapat memperbaiki sifat fisik, mekanik dan termal dari kopolimer yang dihasilkan. Hal ini dibuktikan dengan menurunnya nilai derajat pengembangan, kenaikan derajat kopolimerisasi, kenaikan kekuatan tarik, dan kenaikan titik leleh dari selulosa asetat yang dikopolimerisasi.
2. Dosis optimum iradiasi sinar- γ adalah 30 kGy dengan nilai derajat pengembangan 1,32% dan derajat kopolimerisasi 16,42% pada konsentrasi glutaraldehid 3% b/b.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Sdr.Armanu (PATIR-BATAN) atas bantuannya meng-iradiasi sampel selulosa asetat dan terimakasih pada Sdr. Akhmad Rasyid S.Si (PATIR-BATAN) atas bantuannya pada saat menggunakan alat DSC dan FT-IR. Terimakasih khusus kepada Sdr. Nur Rachman (Universitas Padjadjaran) atas bantuannya sehingga penelitian ini dapat berjalan seperti yang diharapkan.

DAFTAR ACUAN

- [1]. C. Chang and L. Zhang, "Cellulose-based hydrogels: Present status and application prospects," *Carbohydr. Polym.*, vol. 84, no. 1, pp. 40–53, Feb. 2011.
- [2]. S. Cheng and D. R. Kerluke, "Radiation Processing for Modification of Polymers," in *ANTEC 2003/ Annual Technical Conference*, 2003.
- [3]. H. Sun, L. Lu, X. Chen, and Z. Jiang, "Pervaporation dehydration of aqueous ethanol solution using H-ZSM-5 filled chitosan membranes," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 58, no. 3, pp. 429–436, Jan. 2008.
- [4]. L. Lei, Z. Cao, Q. Xie, Y. Fu, Y. Tan, M. Ma, and S. Yao, "One-pot electrodeposition of 3-aminopropyltriethoxysilane–chitosan hybrid gel film to immobilize glucose oxidase for biosensing," *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 157, no. 1, pp. 282–289, Sep. 2011.

- [5]. A. Bhattacharya and B. N. Misra, "Grafting: a versatile means to modify polymers: Techniques, factors and applications," *Prog. Polym. Sci.*, vol. 29, no. 8, pp. 767–814, Aug. 2004.
- [6]. R. J. Fessenden and J. S. Fessenden, *Kimia Organik*, 3rd ed. Jakarta: Erlangga, 1997.
- [7]. R. Nurarifin, "Kinerja membran selulosa asetat terikat silang kitosan dengan pengikat silang glutaraldehid," *J. Kim. Univ. Padjadjaran*, 2014.
- [8]. Rosadi, "Pemanfaatan membran selulosa asetat terikat silang kitosan untuk pervaporasi etanol-air," *J. Kim. Univ. Padjadjaran*, 2011.
- [9]. Pariyem, "Pemisahan campuran etanol-air menggunakan membran selulosa asetat yang diikat silang dengan glutaraldehid secara pervaporasi," *J. Kim. Univ. Padjadjaran*, 2008.
- [10]. M. Nelsa, "Aseton - Keton," *Blogger*, 2013. [Online]. Available: http://m u s t a m u n e l s a . b l o g s p o t . c o m / 2013_03_01_archive.html. [Accessed: 05-Jan-2014].
- [11]. M. Anjayani, "Karakteristik benang kitosan yang terbuat dari kitin iradiasi dan tanpa iradiasi.," *J. Teknol. Jakarta*, 2009.
- [12]. D. Lestari, "Studi penambahan mineral lempung dan zeolit untuk meningkatkan unjuk kerja membran pervaporasi," *J. Tek. Kim. Inst. Teknol. Bandung*, 2006.