

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF CROSSLINKED POLYACRYLAMIDE (PAAM)-CARRAGEENAN HYDROGELS SUPERBASORBENT PREPARED BY GAMMA RADIATION

Sintesis dan Karakterisasi Hidrogel Superabsorben Poliakrilamida (PAAM) Berikatan Silang – Karaginan Hasil Iradiasi Gamma

Erizal

Centre for the Application Technology of Isotopes and Radiation, Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12440

Received July 23, 2009; Accepted October 13, 2009

ABSTRACT

A series of superabsorbent hydrogels were prepared from acrylamide and carrageenan by gamma irradiation at room temperature. Carrageenan solutions with different concentration (0.5%, 1%, 1.5%, 2%) have been blended with 5% of acrylamide and irradiated at doses 20-40 kGy. The properties of the prepared hydrogel were evaluated in terms of the gel fraction and the kinetics swelling was studied. It was found that the incorporation only 2% carrageenan (κ) with 5% acrylamide can produces an elastic hydrogel when irradiated with gamma rays up to 40 kGy. Under optimum conditions, poly(acrylamide)-carrageenan hydrogels with gel fraction ~ 60% and optimum swelling 250 g/g were prepared gamma radiolytically from aqueous solution containing 5% acrylamide and 2% carrageenan at the doses 20-40 kGy. The FT-IR spectra indicated that network of irradiated PAAM-carrageenan hydrogel was in the semi IPN structure. The hydrogels were also found to be sensitive to ionic strength of the medium, pH and temperature.

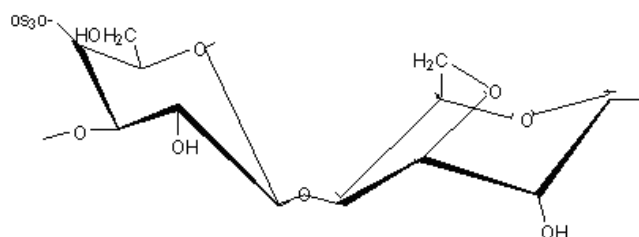
Keywords: carrageenan, acrylamide, irradiation, superabsorbent, crosslinking

PENDAHULUAN

Superabsorben adalah suatu istilah mencakup sejumlah jenis polimer yang berbasis kemampuan mengabsorpsi sejumlah kuantitas air. Setiap jenis polimer mempunyai cara yang berbeda dalam mencapai fenomena superabsorben dan laju absorpsi. Namun demikian, pada umumnya superabsorben secara efektif dapat mengabsorpsi air. Polimer superabsorben pada hakikatnya adalah polimer berikatan silang yang mempunyai kemampuan mengabsorpsi air ratusan kali dari berat keringnya, tetapi tidak larut dalam air dikarenakan adanya struktur 3 dimensi pada jaringan polimernya. Superabsorben merupakan materi yang sangat menarik karena sifat kelarutannya dan daya angkut air yang unik. Bentuknya yang mirip air disebabkan polimer ini hampir seluruh bagian bentuknya terdiri dari air. Namun demikian, polimer superabsorben juga menunjukkan sifat padatan disebabkan adanya jaringan yang terbentuk akibat reaksi ikatan silang. Karena karakteristik yang unik tersebut, aplikasi superabsorben mempunyai cakupan yang relatif luas antara lain dapat digunakan untuk penyerap urin dalam popok bayi [1], wadah penyimpanan air untuk daerah kering/pertanian [2], salju buatan [3-4], sumber air untuk tanaman holtikultura [5], *drug delivery* [6], detoksifikasi limbah minyak [7], penyerap zat warna [8], eliminasi air tubuh pada kasus penyakit edemas [9], absorpsi bakteri

dan jamur pada pembalut luka [10], dan pemekatan larutan protein [11].

Karaginan merupakan polimer polisakarida rantai lurus yang terdiri dari unit D-galaktosa dan 3,6-anhidrogalaktosa dengan beragam tingkat sulfatasi (Gambar 1) yang diperoleh dari ekstraksi rumput laut merah dari spesies tertentu. Karaginan diklasifikasikan atas tiga bentuk yaitu kappa, iota, dan lambda. Lambda tidak dapat membentuk gel dibandingkan bentuk kappa dan iota dan Indonesia merupakan salah satu negara terbesar sebagai produsen kappa karaginan di dunia [12]. Karaginan bersifat sebagai polimer anionik yang kuat disebabkan adanya gugus ester sulfat. Di bidang industri makanan, karaginan digunakan sebagai *gelling agent* (pembentuk gel), *thickening* (pengental), dan penstabil. Selain itu, karaginan banyak dipakai di industri kosmetik, farmasi dan di industri *personal care* [13].



Gambar 1. Struktur molekul κ - karaginan

* Corresponding author. Tel/Fax : +62-21-7690709
Email address : izza3053@yahoo.com

Akrilamida (AAM) adalah salah satu jenis monomer hidrofilik yang merupakan bahan baku paling populer untuk pembuatan polimer poliakrilamida (PAAM) yang digunakan sebagai media penunjang dalam elektroforesis [14]. Sesuai dengan kemajuan dalam pengembangan di bidang penelitian dan teknologi, maka pada beberapa tahun belakangan ini penelitian yang berkaitan dengan polimer PAAM sedang dikembangkan secara intensif sebagai bahan dasar (*base material*) untuk bahan biomaterial baru antara lain sebagai hidrogel PAAM digunakan di bidang kosmetik sebagai pengganti silikon dalam bedah plastik [15-18]. Hal ini dikarenakan hidrogel PAAM mempunyai sifat *biokompatibel* dengan tubuh tidak menyebabkan sensitivitas pada kulit, tidak *pirogen*, dan tidak menyebabkan hidrolisis protein. Selain itu, hidrogel PAAM digunakan untuk matriks penyimpan air dan yang paling menjanjikan ke depan adalah sebagai bahan penyerap (*absorbent*) dalam *personal care* misalnya, sebagai absorben dalam popok bayi, pembalut wanita dan pembalut luka [19]. Namun demikian, hidrogel PAAM mempunyai kelemahan antara lain kemampuannya dalam menyerap air (*swelling*) terbatas dan merupakan homopolimer dengan sifat fisik yang relatif rendah, sehingga pengembangan untuk aplikasinya juga terbatas. Untuk menaikkan sifat *swellingnya* perlu ditambahkan suatu zat lain misalnya polimer yang juga bersifat menyerap air. Pada umumnya penambahan polimer lain yang kompatibel pada suatu jenis homopolimer akan menaikkan sifat fisiknya yang dapat dimodifikasi dengan cara reaksi kimia maupun radiasi [20]. Akrilamida merupakan monomer yang mempunyai ikatan rangkap dua dalam struktur molekulnya yang peka terhadap paparan radiasi membentuk radikal bebas, pada akhir proses reaksi radikal bebas membentuk hidrogel dengan jaringan ikatan silang *IPN (interpenetrating network)* yang memungkinkan masuknya zat organik atau anorganik ke dalamnya. Sedangkan karaginan dapat membentuk gel dengan sifat mekanik yang lemah (rapuh). Berdasarkan hipotesis yaitu bahwa jika suatu campuran yang terdiri dari zat yang mudah membentuk ikatan silang (A) dan zat lain (B) yang tidak peka terhadap radiasi (degradasi) dipapari sinar gamma, maka zat A terlebih dahulu mengalami reaksi pembentukan silang dan selama proses reaksi ikatan silang berlangsung zat B akan terjebak dalam matriks struktur jaringan zat A [21]. Oleh karena itu, dengan mengkombinasikan akrilamida dengan karaginan diharapkan dapat diperoleh hidrogel dengan sifat superabsorben. Makalah ini melaporkan karakter hidrogel campuran akrilamida dan karaginan yang disintesis dengan iradiasi gamma.

METODE PENELITIAN

Bahan

Akrilamida, Urea, NaCl buatan Merck. Kappa Karaginan buatan Marcell Carrageenan, Filipina, serta bahan kimia lainnya kualitas pro analisis.

Alat

Timbangan analitik *Mettler Toledo* tipe AB 204 dan *Preciso 3000D*, Oven *Hereaus Instrument Vacuterm*, *Homogenizer* dan *stirer*, *Shaker Incubator*, *Stopwatch*. Kasa kawat ukuran 300 mesh, Wadah cetakan hidrogel, *Sealer Machine*, *Irradiator* ⁶⁰Co (*Irradiator* karet, IRKA). Alat-alat gelas (gelas ukur, *erlenmeyer*, gelas piala, cawan petri, gelas aqua).

Prosedur Kerja

Pembuatan hidrogel PAAM-karaginan

Disiapkan larutan karaginan 0,5-2% (b/v) dalam air suling menggunakan *shaker* inkubator pada kecepatan 50 rpm pada suhu 80 °C. Kemudian ke dalam masing-masing larutan tersebut dimasukkan monomer akrilamida (AAM) hingga konsentrasi 5%, lalu diaduk menggunakan magnet *stirer* hingga larutan homogen. Selanjutnya, campuran AAM-karaginan dikemas dalam kantong plastik ukuran 10 x 15 cm² dengan ketebalan 0,5 cm dan *diseal*. Akhirnya campuran diiradiasi dengan sinar gamma pada dosis 20, 30 dan 40 kGy (laju dosis 10 kGy/jam).

Penentuan fraksi gel

Tiga buah cuplikan hidrogel hasil iradiasi dikeringkan pada suhu 60 °C hingga berat konstan, lalu ditimbang (W_0). Hidrogel dibungkus dengan kawat kasa ukuran 300 mesh yang telah ditara. Kemudian direndam dalam air suling sampai terendam sempurna dan dikocok dalam *shaker* inkubator pada kecepatan 100 rpm selama 24 jam pada suhu kamar untuk menghilangkan zat-zat yang tidak bereaksi. Hidrogel dikeluarkan dari *shaker* inkubator dan dikeringkan dalam oven vakum pada suhu 60 °C hingga berat konstan. Hidrogel ditimbang kembali (w_1), dan fraksi gel dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Fraksi Gel (\%)} = (W_1/W_0) \times 100\% \quad (1)$$

W_1 = berat hidrogel kering hasil pencucian (g)

W_0 = berat hidrogel kering awal (g)

Pengujian rasio swelling hidrogel dalam air

Tiga buah cuplikan hidrogel hasil iradiasi dalam bentuk lingkaran (diameter 15 mm dan tebal 3 mm) dikeringkan dalam oven vakum pada suhu 60 °C

hingga bobot konstan, lalu ditimbang (W_0). Kemudian hidrogel kering direndam dalam 50 mL air suling. Setelah 30 menit hidrogel dikeluarkan dari media perendaman. Air permukaan hidrogel disapu (dilap) dengan kertas saring, selanjutnya hidrogel ditimbang kembali (W_s). Setelah itu, hidrogel direndam kembali ke dalam air dalam wadah yang sama untuk pengujian rasio *swelling* pada interval waktu 30 menit selanjutnya. Perlakuan yang sama dikerjakan untuk pengujian rasio *swelling* hidrogel dalam waktu interval 30 menit lainnya hingga pada selang waktu 6 jam. Akhirnya hidrogel dikeringkan dalam oven vakum pada suhu 60 °C hingga berat konstan. Rasio *swelling* hidrogel hasil pengujian pada masing-masing waktu perendaman dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Rasio swelling} = W_s/W_0 \quad (2)$$

W_s = berat hidrogel dalam keadaan *swelling* (g)

W_0 = berat hidrogel dalam keadaan kering (g)

Pengujian rasio swelling hidrogel dalam larutan urea

Tiga buah cuplikan hidrogel hasil iradiasi dalam bentuk lingkaran (diameter 15 mm dan tebal 3 mm) dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C hingga berat konstan dan ditimbang (W_0). Kemudian hidrogel kering direndam dalam 50 mL larutan urea 5%. Setelah 30 menit hidrogel dikeluarkan dari media perendaman, air permukaan hidrogel disapu (dilap) dengan kertas saring. Selanjutnya hidrogel ditimbang kembali (W_s). Setelah itu, hidrogel direndam kembali ke dalam larutan urea 5% dalam wadah yang sama untuk pengujian rasio *swelling* pada interval waktu 30 menit selanjutnya. Perlakuan yang sama dikerjakan untuk pengujian rasio *swelling* hidrogel dalam waktu interval 30 menit lainnya hingga lama waktu 6 jam. Akhirnya hidrogel dikeringkan dalam oven vakum pada suhu 60 °C hingga berat konstan. Rasio *swelling* hidrogel hasil pengujian pada masing-masing waktu perendaman dihitung dengan menggunakan persamaan 2.

Pengujian rasio swelling hidrogel dalam larutan NaCl

Tiga buah cuplikan hidrogel hasil iradiasi dalam bentuk lingkaran (diameter 15 mm dan tebal 3 mm) dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C hingga berat konstan dan ditimbang (W_0). Kemudian hidrogel kering direndam dalam 50 mL larutan NaCl 0,15 M. Setelah 30 menit, hidrogel dikeluarkan dari media perendaman dan air permukaan hidrogel disapu (dilap) dengan kertas saring. Selanjutnya hidrogel ditimbang kembali (W_s). Setelah itu, hidrogel direndam kembali ke dalam larutan NaCl 0,15 M dalam wadah yang sama untuk pengujian rasio *swelling* pada interval waktu 30 menit selanjutnya. Perlakuan yang sama dikerjakan untuk pengujian rasio

swelling hidrogel dalam waktu interval 30 menit lainnya hingga lama waktu 6 jam. Akhirnya hidrogel dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C hingga berat konstan. Rasio *swelling* hidrogel hasil pengujian pada masing-masing waktu perendaman dihitung dengan menggunakan persamaan 2.

Pengujian rasio swelling hidrogel pada pengaruh perubahan suhu

Tiga buah cuplikan hidrogel hasil iradiasi dalam bentuk lingkaran (diameter 15 mm dan tebal 3 mm) dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C hingga berat konstan (W_0). Kemudian hidrogel kering direndam dalam 50 mL air suling selama 24 jam pada suhu kamar (30 °C). Lalu, hidrogel dikeluarkan dari media perendaman dan air pada permukaan hidrogel disapu (dilap) dengan kertas saring. Selanjutnya hidrogel ditimbang (W_s). Hidrogel yang telah ditimbang ini, lalu direndam kembali ke dalam wadah yang berisi air suling pada suhu 40 °C dan direndam selama 24 jam. Lalu, hidrogel dikeluarkan dari media perendaman, air pada permukaan hidrogel disapu (dilap) dengan kertas saring. Selanjutnya hidrogel ditimbang (W_s). Perlakuan yang sama dikerjakan sama dengan perlakuan terdahulu. Pengujian pengaruh suhu ini dilakukan selanjutnya pada masing-masing suhu 50 dan 60 °C. Akhirnya hidrogel dikeringkan dalam oven vakum pada suhu 60 °C hingga berat konstan. Rasio *swelling* hidrogel pada masing-masing suhu dihitung menggunakan persamaan 2.

Pengujian spektrum IR hidrogel

Spektrum infra merah (IR) dari hidrogel diukur menggunakan *spectrophotometer* FT-IR Shimadzu Prestige 21.

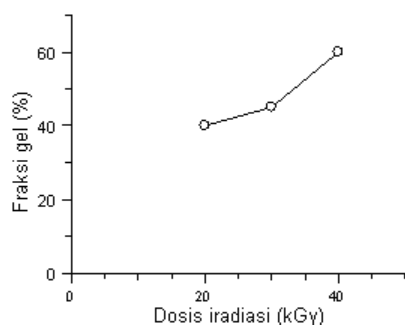
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh dosis iradiasi terhadap fraksi gel

Fraksi gel merupakan salah satu parameter yang umumnya digunakan dalam sintesis hidrogel, mencerminkan fraksi jumlah bahan awal baik monomer/polimer yang diubah menjadi hidrogel pada proses sintesis. Parameter ini juga menunjukkan nilai efisiensi dari proses dalam sintesis hidrogel, bergantung pada kepekaan dari bahan terhadap iradiasi yang dipaparkan. Semakin peka bahan terhadap radiasi, maka semakin tinggi efisiensi dari proses. Pada Tabel 1 disajikan bentuk fisik hidrogel PAAM-karaginan hasil iradiasi hingga 40 kGy. Terlihat bahwa hidrogel hasil iradiasi hingga 40 kGy yang masing-masing terdiri dari campuran AAM dengan konsentrasi 5% dan karaginan yang bervariasi dari 0,5 hingga 1,5% berbentuk gel yang rapuh dan hanya

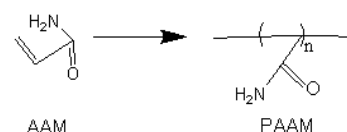
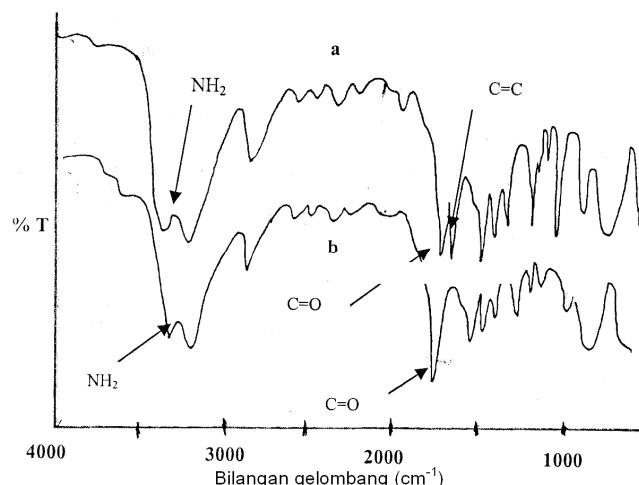
Tabel 1. Penampilan fisik hidrogel PAAM-karaginan hasil iradiasi

Dosis (kGy)	(AAM, %)	(Karaginan, %)	Penampilan fisik hidrogel PAAM-karaginan hasil iradiasi
20	5	0,5	Gel, Rapuh
		1,0	Gel, Rapuh
		1,5	Gel, Rapuh
		2,0	Gel, elastis
30	5	0,5	Gel, Rapuh
		1,0	Gel, Rapuh
		1,5	Gel, Rapuh
		2,0	Gel, elastis
40	5	0,5	Gel, Rapuh
		1,0	Gel, Rapuh
		1,5	Gel, Rapuh
		2,0	Gel, elastis

**Gambar 2.** Hubungan dosis iradiasi terhadap fraksi gel PAAM-karaginan

hidrogel yang mengandung AAM 5% dan karaginan 2% menghasilkan gel yang elastis yang dapat diukur sifat fisiknya. Hal ini menunjukkan bahwa karaginan pada konsentrasi < 2% tidak kompatibel dengan AAM, sehingga pada pengaruh iradiasi tidak terbentuk struktur jaringan hidrogel yang kuat atau sebab lain yang perlu diteliti lebih lanjut. Oleh karena itu, dalam penelitian ini hanya sifat fisik hidrogel yang mengandung AAM 5% dan karaginan 2% yang dipelajari.

Pengaruh dosis iradiasi terhadap fraksi gel PAAM - karaginan (5%, 2%) disajikan pada Gambar 2. Terlihat bahwa dengan naiknya dosis iradiasi hingga 40 kGy, fraksi gel hidrogel relatif naik dan mencapai nilai 60%. Hal ini menunjukkan bahwa hidrogel dengan fraksi gel yang relatif besar ~ 60% pada dosis 40 kGy dapat diperoleh walaupun dalam hidrogel ini dikandung karaginan yang akan terdegradasi pada rantai utama jika diiradiasi. Ditinjau dari struktur kimianya, akrilamida (AAM) yang merupakan monomer dengan berat molekul yang relatif kecil dibandingkan karaginan serta adanya gugus ikatan rangkap yang peka terhadap radiasi yang dapat membentuk ikatan silang, maka AAM pada kompetisi kepekaan terhadap radiasi akan lebih dahulu mengalami reaksi dibanding karaginan [22]. Oleh karena

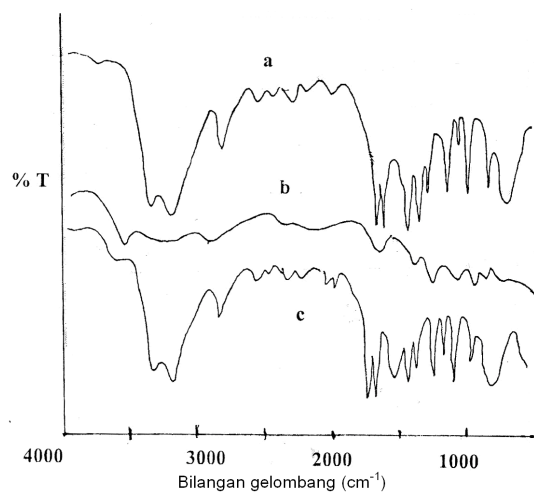
**Gambar 3.** Reaksi polimerisasi AAM**Gambar 4.** Spektrum FT-IR: a) Monomer AAM, b) PAAM

itu, AAM yang pertama kali berubah menjadi PAAM dengan melalui tahapan-tahapan reaksi yang umumnya terjadi dalam proses iradiasi yaitu yang meliputi tahapan-tahapan inisiasi, propagasi dan terminasi [21]. Pada tahapan inisiasi AAM akan membentuk radikal bebas, kemudian bereaksi satu dengan lainnya membentuk dimer. Selanjutnya, dimer ini mengalami reaksi lebih lanjut membentuk polimer (tahap propagasi), dan akhirnya pada tahap terminasi polimer baik membentuk ikatan silang satu dengan lainnya dengan struktur jaringan yang tertentu maupun reaksi degradasi. Reaksinya polimerisasinya dapat digambarkan sebagai Gambar 3.

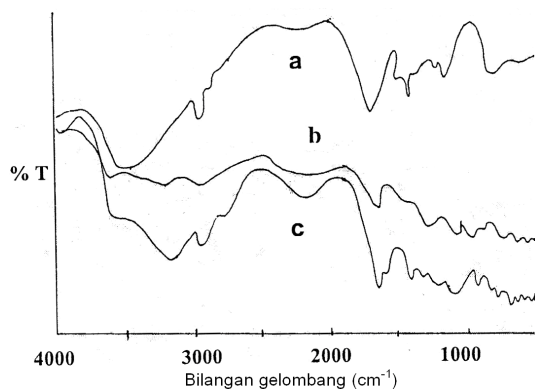
Analisis spektrum IR hidrogel

Dalam kerangka mempelajari struktur jaringan yang terbentuk pada superabsorben akibat pengaruh iradiasi terhadap baik akrilamida maupun campuran akrilamida-karaginan dilakukan pengujian spektrum FT-IR (Gambar 4-6).

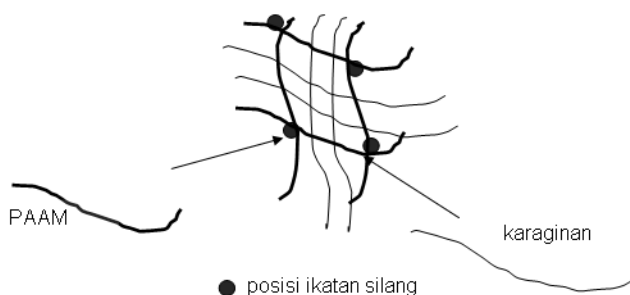
Pada Gambar 4, spektrum **a** merupakan spektrum IR monomer akrilamida (AAM) yang tidak diiradiasi terdiri dari gugus NH_2 pada bilangan gelombang 3353 cm^{-1} , gugus CH_2 pada 2980 cm^{-1} , gugus $-\text{C}=\text{C}-$ pada bilangan gelombang 1640 cm^{-1} , dan gugus $\text{C}=\text{O}$ pada bilangan gelombang 1672 cm^{-1} . Sedangkan spektrum **b** merupakan spektrum poli (akrilamida) (PAAM) hasil iradiasi dari monomer akrilamida, terlihat bahwa puncak gugus $-\text{C}=\text{C}-$ dalam



Gambar 5. Spektrum FT-IR a) AAM, b) karaginan, c) campuran AAM-karaginan tidak diiradiasi



Gambar 6. Spektrum FT-IR; a) PAAM, b) Karaginan, c) PAAM-karaginan hasil iradiasi



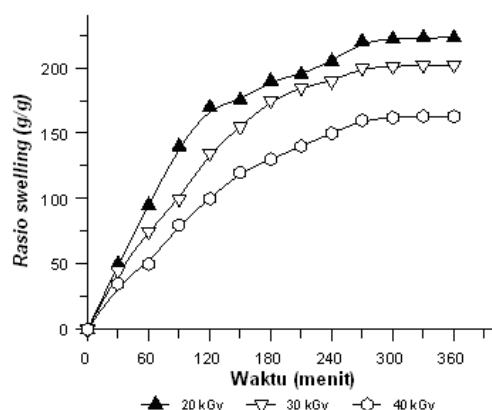
Gambar 7. Struktur jaringan IPN PAAM-karaginan

spektrum ini tidak tampak lagi pada bilangan gelombang 1640 cm^{-1} . Hal ini mengindikasikan bahwa polimerisasi dari AAM terjadi pada gugus $\text{C}=\text{C}$ yang sesuai dengan postulasi yang dinyatakan oleh Hamid [23] yang reaksinya sesuai dengan reaksi yang digambarkan pada Gambar 3. Pada Gambar 5 disajikan spektrum FT-IR dari akrilamida (a), karaginan (b), dan campuran akrilamida-karaginan (c) yang tidak dilakukan paparan radiasi pada masing-masing komponen. Terlihat bahwa

bentuk spektrum c yang merupakan spektrum campuran akrilamida-karaginan relatif sama dengan bentuk spektrum akrilamida a. Hal ini mengindikasikan bahwa dalam campuran ini akrilamida lebih dominan dibandingkan karaginan. Sedangkan pengujian pengaruh iradiasi terhadap campuran akrilamida-karaginan, spektrum FT-IR hasil pengujian disajikan pada Gambar 6. Spektrum a merupakan spektrum PAAm terdiri dari gugus NH_2 pada bilangan gelombang 3353 cm^{-1} , gugus CH_2 pada 2980 cm^{-1} dan gugus $\text{C}=\text{O}$ pada bilangan gelombang 1672 cm^{-1} , spektrum b merupakan bentuk spektrum FT-IR karaginan yang terdiri dari gugus $-\text{C}-\text{H}$ pada panjang gelombang 1375 cm^{-1} , gugus 3,6 anhidro-D-galaktosa pada panjang gelombang $928-933\text{ cm}^{-1}$, gugus D-galaktosa pada panjang gelombang $840-850\text{ cm}^{-1}$, dan gugus 3,6 anhidro-D-galaktosa-2-sulfat pada panjang gelombang $800-806\text{ cm}^{-1}$. Spektrum FT-IR pada pengaruh iradiasi terhadap campuran akrilamida-karaginan disajikan pada spectrum c, terlihat bahwa gugus-gugus fungsi NH_2 , CH_2 , $\text{C}=\text{O}$, $-\text{C}-\text{H}$, 3,6 anhidro-D-galaktosa, D-galaktosa, dan 3,6 anhidro-D-galaktosa-2-sulfat yang mewakili baik PAAm dan karaginan tampak semua bersatu dalam spektrum c. Hal ini mengindikasikan bahwa pengaruh iradiasi menyebabkan AAM berubah menjadi PAAM berikatan silang membentuk struktur jaringan semi IPN (*interpenetrating network*) dan karaginan berinterpenetrasi ke dalam jaringan PAAM bertautan satu dengan lainnya saling menganyam (*entanglement*) membentuk *chain interlocking*. Bentuk pengungkungan semi IPN karaginan dalam struktur jaringan PAAM berikatan silang dapat diramalkan bentuknya sama seperti bentuk semi IPN secara umum yang disajikan pada Gambar 7 [24].

Swelling hidrogel dalam air

Rasio perbandingan berat hidrogel dalam keadaan menyerap air (*swelling*) terhadap berat keringnya atau rasio *swelling* merupakan salah satu parameter utama dari hidrogel khususnya untuk pengujian suatu bahan kandidat sebagai absorben. Fungsi lama waktu perendaman terhadap rasio *swelling* hidrogel dalam air hasil iradiasi hingga dosis 40 kGy disajikan pada Gambar 8. Terlihat bahwa semakin lama waktu (hingga 6 jam) perendaman hidrogel PAAM-karaginan, rasio *swelling* hidrogel meningkat dan mencapai keadaan optimum pada 270-360 menit. Rasio *swelling* hidrogel PAAM-karaginan hasil iradiasi dosis 20 kGy relatif lebih besar dibandingkan rasio *swelling* hidrogel pada dosis 30 dan 40 kGy . Hal ini disebabkan dengan naiknya dosis iradiasi, kerapatan ikatan silang dalam hidrogel meningkat. Sehingga daya difusi air ke dalam jaringan

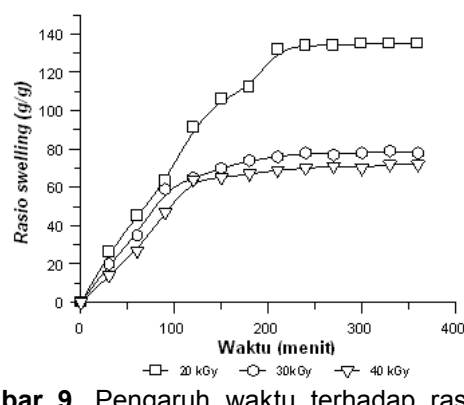


Gambar 8. Pengaruh lama waktu perendaman dalam air terhadap rasio *swelling* hidrogel hasil iradiasi. 20, 30 dan 40 kGy. Komposisi PAAM-karaginan 5 % dan 2%

hidrogel berkurang dan menyebabkan rasio *swelling* hidrogel relatif turun. Dari data hasil penelitian yang disajikan di Gambar 6, rasio *swelling* hidrogel PAAM-karaginan pada dosis 20 kGy selang waktu 30 menit pertama mencapai 50 g/g. Sedangkan pada menit ke 270, rasio *swelling* hidrogel PAAM-karaginan mencapai nilai optimum 250 g/g. Nilai *rasio swelling* sebesar 250 g/g ini, pada hakikatnya memenuhi syarat SNI 16-6363-2000 (syarat rasio *swelling* pembalut wanita minimal 10 g/g) bagi hidrogel PAAM-karaginan untuk digunakan sebagai bahan absorben (penyerap) dalam pembalut wanita [25]. Selain itu, hidrogel ini perlu juga dipertimbangkan untuk sebagai absorben pembalut luka *bereksudat* (luka berair) karena persyaratan rasio *swelling* untuk sebagai absorben pada pembalut luka berkisar 10-25 g/g [26]. Menurut El-Rehim [27] hidrogel dengan kapasitas rasio *swelling* yang berkisar 250 g/g ini dapat digunakan sebagai wadah untuk suplai/penyimpan air di bidang pertanian khususnya untuk pertumbuhan tanaman holtikultura.

Swelling hidrogel dalam larutan urea

Sifat kimia yang paling penting untuk diuji dari absorben dalam skala komersial sebagai bahan pada *personal care* antara lain sebagai absorben pada popok bayi dan pembalut wanita adalah nilai rasio *swelling* dalam urin. Menurut Buchholtz [28] kapasitas rasio *swelling* yang dapat diterima adalah pada kisaran 20-40 g urin per gram polimer kering. Oleh karena kandungan urin sebagian besar didominasi oleh senyawa urea dan konsentrasinya bervariasi pada setiap individu yang diuji. Maka, pengujian *swelling* dari hidrogel terhadap urin dapat dilakukan dengan *artificial* urin atau dengan larutan urea pada konsentrasi 5% dan hasil yang didapatkan relatif hampir sama dengan urin asli [29]. Hubungan lama waktu perendaman terhadap rasio *swelling* hidrogel dalam larutan urea 5% sebagai fungsi

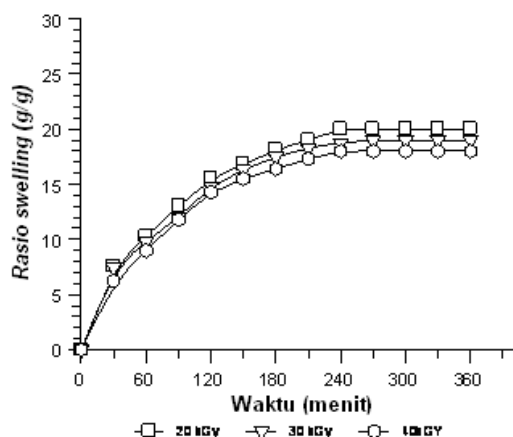


Gambar 9. Pengaruh waktu terhadap rasio *swelling* Hidrogel PAAM-karaginan dalam larutan urea sebagai fungsi dosis iradiasi. Komposisi PAAM-karaginan adalah 5% dan 2%

dosis radiasi disajikan pada Gambar 9. Terlihat bahwa semakin lama waktu perendaman hidrogel PAAM-karaginan dalam larutan urea hingga 240 menit rasio *swelling* hidrogel mencapai nilai ± 140 kali berat keringnya (g/g) pada iradiasi dosis 20 kGy. Dengan naiknya dosis iradiasi hingga 40 kGy, *rasio swelling* hidrogel PAAM-karaginan dalam urea cenderung menurun. Jika dibandingkan nilai rasio *swelling* hidrogel dalam urea terhadap air (Gambar 7), secara umum terlihat bahwa nilai rasio *swelling* dalam urea relatif lebih kecil (menurun). Hal yang sama juga dilaporkan oleh El-rehim [27] yaitu bahwa hidrogel berbasis PAAM mengalami penurunan rasio *swelling* jika diuji dalam larutan urea. Terjadinya penurunan *rasio swelling* hidrogel PAAM-karaginan dalam urea disebabkan terganggunya struktur jaringan dari hidrogel, sehingga terjadi penurunan nilai rasio *swelling*.

Swelling hidrogel dalam larutan NaCl

Di samping adanya kandungan urea dalam cairan urin, konsentrasi ion-ion garam juga mempengaruhi daya serap dari hidrogel yang akan digunakan sebagai absorben. Larutan garam NaCl merupakan salah satu jenis larutan garam yang umumnya dipakai untuk pengujian kemampuan daya serap hidrogel terhadap air (*swelling*). Pengaruh lama waktu perendaman dalam larutan NaCl 0,15 M hidrogel PAAM-karaginan pada dosis hingga 40 kGy disajikan pada Gambar 10. Terlihat bahwa dengan meningkatnya lama waktu perendaman hingga 360 menit yang disertainya naiknya dosis iradiasi, rasio *swelling* hidrogel relatif mengalami penurunan dan mencapai kondisi optimum pada rentang waktu 240-360 menit. Rasio *swelling* hidrogel PAAM-karaginan pada 30 menit pertama mencapai 5-8 kali bobot keringnya selanjutnya meningkat mencapai 14-20 kali bobot keringnya pada



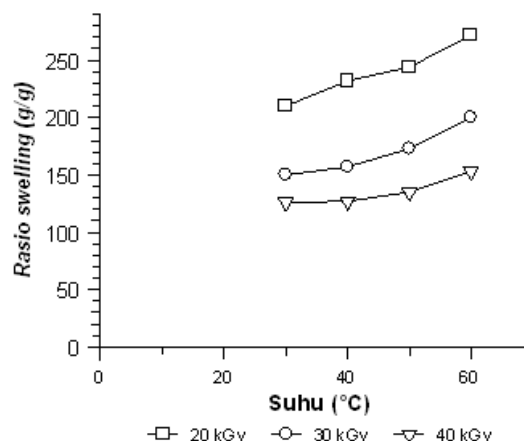
Gambar 10. Pengaruh waktu perendaman dalam larutan NaCl terhadap rasio *swelling* hidrogel PAAM-karaginan sebagai fungsi dosis iradiasi

menit ke 240. Jika dibandingkan dengan rasio *swelling* hidrogel dalam larutan NaCl terhadap rasio *swelling* dalam air suling (Gambar 7), terlihat bahwa rasio *swelling* hidrogel dalam NaCl relatif sangat jauh lebih kecil (± 25 kali lebih kecil). Hal ini dapat dijelaskan berdasarkan dari timbulnya tekanan osmose akibat perbedaan konsentrasi ion-ion dalam media dan dalam kerangka jaringan hidrogel. Ion-ion yang terikat pada jaringan hidrogel bersifat imobil (tidak bergerak) yang dapat dianggap terpisah dari larutan luar dengan adanya membran *semipermeable*. Jika hidrogel direndam dalam air, maka akan terjadi tekanan osmose maksimum dan hidrogel akan *swelling*. Tetapi, jika hidrogel direndam dalam larutan NaCl, maka akan terjadi tekanan osmose yang sangat rendah dikarenakan adanya ion-ion Na^+ dan Cl^- .

Efek suhu terhadap *swelling* hidrogel

Ditinjau dari struktur molekulnya, hidrofilisitas hidrogel dikontrol oleh gugus hidrofilik dan hidrofobik oleh rantai karbon. Adanya perubahan pH, listrik, jenis ion, dan suhu akan mengakibatkan perubahan sistem kesetimbangan hidrofilik dan hidrofobik dari hidrogel. Jika gugus hidrofilik lebih dominan, hidrogel akan *swelling*.

Sedangkan jika gugus hidrofobik lebih dominan dalam kesetimbangan, terjadi *deswelling* (penciutan). Pengaruh suhu terhadap hidrogel juga merupakan salah satu parameter yang penting. Pengontrolan suhu akan dapat mengoptimalkan karakter dari hidrogel dalam aplikasinya. Oleh karena itu, pengaruh perubahan suhu terhadap rasio *swelling* hidrogel PAAM-karaginan hasil iradiasi 20, 30 dan 40 kGy diinvestigasi yang hasilnya disajikan pada Gambar 11. Terlihat bahwa dengan naiknya suhu hingga 60 °C rasio *swelling* hidrogel PAAM-karaginan meningkat dan menurun dengan naik-



Gambar 11. Pengaruh suhu terhadap rasio *swelling* hidrogel PAAM-karaginan sebagai fungsi dosis iradiasi.

nya dosis iradiasi hingga 40 kGy. Hal ini menunjukkan bahwa hidrogel PAAM-karaginan peka terhadap perubahan suhu. Terjadinya penurunan nilai rasio *swelling* dengan naiknya dosis iradiasi, hal ini disebabkan naiknya kerapatan silang dalam hidrogel yang mengakibatkan kemungkinan masuknya air ke dalam struktur jaringan hidrogel menjadi lebih kecil.

Pada penelitian terdahulu telah dilaporkan bahwa hidrogel PAAM bersifat peka terhadap perubahan suhu [30]. Hal ini menunjukkan bahwa selain karaginan memegang peranan penting dalam mengontrol kemampuan hidrogel dalam menyerap air, PAAM juga memberikan kontribusi yang sangat berarti dalam kemampuan hidrogel dalam menyerap air.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa hidrogel PAAM-karaginan dapat disintesis dengan iradiasi gamma hingga dosis 40 kGy pada komposisi campuran AAM 5% dan karaginan 2% menghasilkan hidrogel yang elastis dan dapat diukur sifat fisiknya, sedangkan pada komposisi AAM 5% dengan masing-masing konsentrasi karaginan 0,5-1,5% diperoleh hidrogel yang rapuh. Dosis 20 kGy merupakan dosis optimum sintesis hidrogel superabsorben PAAM-karaginan dengan nilai fraksi gel mencapai 60%. Penambahan karaginan 2% dapat mencapai nilai rasio *swelling* 250 g/g pada dosis 20 kGy. Disebabkan sifat polielektrolitnya, hidrogel PAAM-karaginan peka terhadap perubahan suhu dan kekuatan ionik dari media. Nilai rasio *swelling* dari hidrogel dalam air dan urin memenuhi syarat untuk aplikasi sebagai absorben pada pembalut wanita dibandingkan nilai rasio *swelling* absorben komersial. Berdasarkan spektrum FT-IR dari superabsorben PAAM-karaginan hasil iradiasi mengindikasikan bahwa struktur jaringannya adalah semi IPN.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan pada rekan-rekan di fasilitas Iradiator Karet (IRKA) bidang Fasilitas radiasi, PATIR-BATAN yang telah banyak membantu dalam iradiasi sampel.

DAFTAR PUSTAKA

1. <http://www.eng.buffalo.edu/course/ce435/diapers/dipres.html>, diakses tanggal 10 Oktober 2009.
2. <http://en.wikipedia.org/wiki/Superabsorbent-polymer.html>, diakses tanggal 10 oktober 2009.
3. Kambayashi, T., Mekata, H., Umezu, H., and Matsunaga, 1998, *J. Fluorine Chem.*, 87, 123-132.
4. Buchholz, F.L. and Peppas, N.A., 1994, *ACS Symp. Ser.*, 573.
5. Wang, Y.P., Yang, B.Y., and Wang, R.M., 1997, *Multifunctional Polymeric Plant Regulator China*, Patent 971016240.
6. Akihiko, K. and Okano, T., 2002, *Adv. Drug Delivery Rev.*, 54, 53-77.
7. Davis, L.C., Novais, S.M., and Martin, N.D., 2004, *Environ. Technol.*, 25, 59-100.
8. Paulino, A.T., Guilherme, R.M., Reis, A.V, Compesse, G.M., Muniz, E.C., and Nozaki, J., 2006, *J. Colloid Interface Sci.*, 301, 1, 55-62.
9. Sannino, A., Esposito, A., De Rosa, A., Cozzolino, A., Ambrosio, L., and Nicolas L., 2003, *J. Biomed. Mater. Res. Part A*, 67, 3, 1016-1024.
10. Bruggisser, R., 2005, *J. Wound Care*, 14, 9, 436-442.
11. Prazeves, D., 1995, *J. Biotechnol.*, 39, 157-164.
12. Soetrisno, S., 1991, *Prosiding Temu Karya Ilmiah Teknologi Pasca Panen Rumpun Laut*, 101-124.
13. Tombs, M. and Stephen, E.H., 1998, *An Introduction to Polysaccharide Biotechnology*, Taylor & Francis, London.
14. Raymond, S. and Weintraub, 1959, *Science*, 130, 711-713.
15. von Bülow, S. and Pallua, N., 2006, *Plast. Reconstr Surg.*, 118: (3) 858-918.
16. Christensen L.H., Breiting V.B., Aasted A., Jorgensen A., and Kebulaze I., 2003, *Plast Reconstr. Surg.*, 111, 6, 1883-1890.
17. Bello, G., Jackson, I.T., Keskin, M., Kelly, C., Dajani, K., Studinger, R., Kim, E.M., Lincoln, D., Silberberg, B., and Lee, A., 2007, *Plast. Reconstr. Surg.*, 119, 4, 1326-1336.
18. Zhao, Y., Qiao, Q., Yue, Y., Kou, X., and Liu, Z., 2004, *Ann. Plast. Surg.*, 53, 3, 267-272.
19. Tsung, H.Y., 2008, *Recent Patents on Materials Science*, 1, 29-40.
20. Rosiak, J.M., Ulanski, P., Pajewski, L.A., Yoshii, F., and Makuuchi, K., 1995, *Radiat. Phys. Chem.*, 46, 161-168.
21. Charlesby, A., 1960, *Atomic Radiation and Polymers*, Pergamon Press.
22. Sanju, F., Manmohan, K., and Lalit, V., 2004, *Radiat. Phys. Chem.*, 69, 481-486.
23. Hamid, J., Nagashi, and Okay, O., 1996, *J. Appl. Polym. Sci.*, 971-979.
24. Sperling, L.H., *Interpenetrating Polymer Networks and Related Materials*, 1981, Plenum Press. Chapter 1.
25. Anonymous, *Farmakope Indonesia*, Edisi IV, 1995, Jakarta, 1125-1205
26. Soerens, Dave, A., and Malik, S., PATENT 6967261 (USA)
27. Abd. El-Rehim H.A., 2005, *Radiat. Phys. Chem.*, 74, 111-117.
28. Buchholz, F.L., *Modern Superabsorbent Polymer Technology*, 1998, Wiley - VCH, New York, 190-191.
29. Kark, R.M., Lawrence, J.R., Pollack, V.E., Pirani, C.L., Muehreke, R.C., and Silva, H., *A Primer of Urinalysis*, 1964, 2nd ed., Hoeber Medical Division, Harper & Row Publishers, New York.
30. Erizal, Dewi, S.P., and Darmawan, D., 2002, *Prosiding Pertemuan Ilmiah IPTEK bahan*, 51-56.