

SUPERBASORBEN POLI(AKRILAMIDA-KO-ASAM AKRILAT)-KITOSAN HASIL IRADIASI GAMMA UNTUK ADSORPSI ION LOGAM Cu^{2+} DAN Fe^{3+}

Erizal¹, Zainal Abidin¹, Deswita² dan Sudirman²

¹Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (PATIR) - BATAN
Jl. Raya Lebak Bulus No.49, Jakarta 12070

²Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) - BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang

ABSTRAK

SUPERBASORBEN POLI(AKRILAMIDA-KO-ASAM AKRILAT)-KITOSAN HASIL IRADIASI GAMMA UNTUK ADSORPSI ION LOGAM Cu^{2+} DAN Fe^{3+} . Superabsorben hidrogel poli(akrilamida-ko-asam akrilat) (poli(AAm-ko-AA)) yang mengandung kitosan telah dibuat menggunakan radiasi gamma. Pemakaian kitosan dimaksudkan untuk menaikkan kemampuan hidrogel untuk mengadsorpsi ion logam. Campuran akrilamida-asam akrilat dengan beragam konsentrasi kitosan (0,05% hingga 0,2%) dipapari radiasi gamma pada dosis 20 kGy. Fraksi gel, rasio *swelling*, *Equilibrium Degree of Swelling (EDS)*, dan kemampuan adsorpsi hidrogel dalam kondisi *swelling* maksimum pada rentang berat 0 g hingga 150 g terhadap ion Cu^{2+} dan Fe^{3+} dengan konsentrasi sebesar 20.000 ppm telah dipelajari. Diperoleh hasil yaitu fraksi gel menurun 93 % hingga 90 % dengan meningkatnya konsentrasi kitosan 0,05 % hingga 0,20 %. Rasio *swelling* hidrogel meningkat 30 g/g hingga 100 g/g pada interval 20 menit hingga 210 menit dengan meningkatnya konsentrasi kitosan, dan *EDS* meningkat 300 g/g hingga 600 g/g pada interval 24 jam hingga 72 jam. Hidrogel pada konsentrasi kitosan maksimum (0,20%) dengan meningkatnya berat hidrogel hingga 150 g dapat mengadsorpsi ion Cu^{2+} dan ion Fe^{3+} hingga 90 % (~18.000 ppm) dalam waktu 10 menit setiap pengujian pengaruh berat terhadap kapasitas adsorpsi hidrogel. Adsorpsi hidrogel pada rentang berat 10 g hingga 50 g adalah linier dan laju adsorpsi pada ion Cu^{2+} relatif lebih rendah dibandingkan adsorpsi terhadap ion Fe^{3+} . Struktur hidrogel berubah dari bentuk *swelling* menjadi mengecil pada adsorpsi ion logam. Hidrogel poli(AAm-ko-AA)-kitosan yang berkapasitas mengadsorpsi ion-ion logam pada keadaan *swelling* berpotensi sebagai kandidat absorben pencemaran ion logam berat dalam jumlah yang relatif besar.

Kata kunci: Superabsorben, Iradiasi, Kitosan, Adsorpsi, Ion logam

ABSTRACT

HYDROGEL SUPERABSORBENT POLY (ACRYLAMIDE-CO-ACRYLIC ACID)-CHITOSAN PREPARED BY GAMMA RADIATION FOR ADSORPTION OF Cu^{2+} AND Fe^{3+} METAL IONS. Hydrogel superabsorbent of poly(acrylamide-co-acrylic acid) (poly(AAm-ko-AA)) containing chitosan have been prepared by gamma radiation. The use of chitosan was intended to enhance the ability of hydrogels for metal ions adsorption. Acrylamide-acrylic acid (10/15 vol.%) solution mixture with varying chitosan concentration (0,05-0,2 wt%) was exposed to gamma radiation at a single dose 20 kGy (dose rate 10 kGy/h). Gel fraction, swelling ratio, Equilibrium Degree of Swelling (EDS), and the ability of hydrogels at weight ranged of 0-150 g in maximum swelling conditions in absorption Cu^{2+} and Fe^{3+} ions (20.000 ppm) have been studied. The result showed that gel fraction decreased from 93 % to 90 % and swelling ratio increased 30-100 g/g at intervals 20-210 minutes with increasing chitosan concentration (0,05-0,20 %). EDS increased from 300 to 600 g/g at intervals 24-72 hours. With increasing weight of hydrogel up to 150 g at maximum chitosan concentration (0.20%) can absorb Cu^{2+} and Fe^{3+} ions up to 90 % (~18.000 ppm) at 10 min for each observation of the weight effect on adsorption capacities. The capacity of hydrogels on adsorption Cu^{2+} and Fe^{3+} ions at weight ranged 10-50 g was linear and adsorption rate on Cu^{2+} ions was lower than Fe^{3+} ions. The hydrogel structures changed from swollen to shrank state after metal ions adsorption. Hydrogel poly(AAm-co-AA)-chitosan with absorption capacity in swollen state potentially can be used as an absorbent heavy metal ions pollutant in high concentration.

Key words: Superabsorbent, Irradiation, Chitosan, Adsorption, Metal ions

PENDAHULUAN

Pencemaran air merupakan masalah besar yang dihadapi oleh masyarakat modern pada saat ini, karena hal ini akan menyebabkan terganggunya keseimbangan lingkungan dan menimbulkan bahaya bagi kesehatan. Di Indonesia menurut Departemen Lingkungan bahwa konsentrasi logam berat yang mencemari pantai utara Jakarta relatif besar dibandingkan pencemaran yang terjadi di tempat lainnya disebabkan penggunaan tanah secara berlebihan dan industrialisasi [1]. Selain itu, masalah lainnya adalah rendahnya kualitas air yang dikonsumsi oleh masyarakat untuk minum dan aktivitas sehari-hari baik di daerah perkotaan maupun pedesaan seperti keasaman air yang tinggi, keruh, dan tingginya daya hantar listrik.

Pada saat ini banyak sekali penelitian yang difokuskan pada pengendalian pencemaran logam berat disebabkan toksiknya yang tinggi dan karsinogenik dalam jumlah yang relative kecil akibat pembuangan oleh beragam aktivitas seperti pesatnya industrialisasi dan urbanisasi [2]. Selain itu, investigasi penjernihan air juga dilakukan untuk menaikkan kualitasnya. Logam berat tidak dapat dimetabolisme oleh tubuh dan terakumulasi dalam bagian tubuh.

Logam beracun dapat mengganggu rantai biologis dalam tubuh, oleh karena itu menyebabkan penyakit kronis dan akut. Logam beracun ini tidak dapat di biodegradasi dan adanya logam tersebut dalam air sungai dan danau akan berbioakumulasi pada organisme hidup, dan menyebabkan masalah pada kesehatan hewan, tanaman, dan manusia.

Polimer superabsorben merupakan suatu materi yang dapat menyerap air dengan kuantitas yang sangat besar dan dapat mempertahankan air yang dikandungnya walaupun hidrogel ini ditekan. Materi tersebut dapat menyerap air ratusan kali berat keringnya. Polimer ini secara intensif dalam skala besar telah dimanfaatkan dalam personal *care products* (produk perawatan kepribadian) antara lain sebagai bahan absorben pembalut bayi, dan pembalut wanita. Aplikasi lainnya yang tak kalah penting adalah sebagai matriks immobilisasi enzim dan obat, preparatif pada kromatografi, dan bahan penyimpan air di bidang pertanian [3-6]. Namun demikian, pemanfaatan polimer superabsorben tersebut untuk mengatasi masalah pencemaran air khususnya ion-ion logam berat sedikit sekali yang dilaporkan [7]. Padahal polimer superabsorben ini jika ditinjau dari struktur kimia khususnya yang disintesis dari monomer/polimer yang mengandung gugus-gugus amina (NH_2), $-COOH$, dan hidroksi (OH) seperti akrilamida (AAM) dan asam akrilat (AA) yang dapat berikatan dengan ion logam berat berpotensi untuk dapat mengatasi masalah pencemaran air.

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan sintesis polimer superabsorben berbasis AAM dan AA menggunakan iradiasi gamma pada dosis optimal 20 kGy

dan mengkarakterisasi adsorpsinya terhadap ion logam [8]. Namun demikian hasil yang didapatkan belum optimal dan perlu dimodifikasi yaitu dengan menambahkan kitosan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini telah disintesis polimer superabsorben poli(AAM-ko-AA) yang digabungkan kitosan, dengan hipotesis bahwa kitosan yang dapat membentuk khelat terhadap ion logam dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi polimer superabsorben poli(AAM-AA) pada ion logam berat.

Tujuan penelitian ini adalah mensintesis polimer superabsorben poli(AAM-ko-AA)-kitosan sebagai absorban ion logam. Campuran Asam akrilat (AA) dengan konsentrasi 15 % (dinetralkan dengan KOH) dan AAM 10 % serta kitosan dengan konsentrasi yang bervariasi (0,05 % hingga 0,2 %) diiradiasi dengan sinar gamma pada dosis 20 kGy. Hidrogel hasil iradiasi dikarakterisasi meliputi fraksigel, rasio *swelling*, *Equilibrium Degree of Swelling (EDS)*, dan kemampuan adsorpsi hidrogel terhadap ion logam Cu^{2+} dan Fe^{3+} sebagai model ion logam

METODE PERCOBAAN

Bahan

Akrilamida, Asam akrilat, Tembaga sulfat (II) sulfat hidrat ($CuSO_4 \cdot 5 H_2O$), Besi (III) klorida hidrat ($FeCl_3 \cdot 6 H_2O$) dan kalium hidroksida (KOH) dari *Merck*, serta bahan kimia lainnya kualitas pro analisis. Asam akrilat sebelum digunakan dalam penelitian ini dinetralkan dengan KOH.

Alat

Timbangan analitik (Mettler Toledo tipe AB 204 dan Precio 3000 D), oven (Hereaus Instrument Vacuumterm), *homogenizer* dan *stirrer*, *shaker incubator* (Kottermann), *Stopwatch*, kasa *stainless steel* ukuran 300 *mesh*, wadah cetakan hidrogel, spektrofotometer *UV-Visible* (Genesys 2), *sealer machine*, iradiator Co-60 (IRKA), gelas ukur, *erlenmeyer*, dan gelas piala.

Pembuatan Hidrogel Poli(AAM-ko-AA)-Kitosan

Disiapkan satu seri 15 mL larutan monomer AA dalam 50 mL air suling, selanjutnya masing larutan dinetralkan dengan 11,66 g KOH, dan diaduk hingga larutan homogen menggunakan *magnetic stirrer*. Kemudian ke dalam masing-masing campuran dimasukkan 10 g AAM, dan diaduk hingga homogen. Selanjutnya ke dalam masing-masing campuran tersebut dimasukkan kitosan yang dilarutkan dalam asetat 1% dengan variasi berat 0,05 g; 0,10 g; 0,15 g dan 0,20 g diaduk hingga homogen dan ditambahkan air suling

hingga total volume campuran 100 mL. Masing-masing campuran dikemas dalam kantong plastik berukuran 10 cm x 15 cm dengan ketebalan 0,5 cm dan ditutup hingga kedap udara menggunakan mesin sealer, dan selanjutnya diiradiasi dengan sinar gamma pada dosis 20 kGy dengan laju dosis 7,5 kGy/jam.

Penentuan Fraksi Gel

Tiga buah cuplikan hidrogel hasil iradiasi dikeringkan pada suhu 60 °C hingga berat konstan, lalu ditimbang (W_0). Kemudian hidrogel dibungkus dengan kawat kasa ukuran 300 mesh yang telah ditara, lalu direndam dalam metanol sampai terendam sempurna dan dikocok dalam shaker incubator pada kecepatan 100 rpm selama 24 jam pada suhu kamar untuk mengekstrak senyawa-senyawa yang tidak bereaksi dalam hidrogel. Selanjutnya hidrogel dikeluarkan dari shaker incubator dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C hingga berat konstan, hidrogel kering ditimbang kembali (w_1). Fraksi gel dihitung dengan Persamaan (1):

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

Dimana:

- W_1 = Berat hidrogel kering setelah proses ekstraksi (g)
- W_0 = Berat hidrogel kering awal (g)

Penentuan Rasio Swelling dan Equilibrium Degree of Swelling Hidrogel Dalam Air

Tiga buah cuplikan hidrogel hasil iradiasi dengan ukuran (1x1) cm² hasil iradiasi dikeringkan dalam oven 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 yang melekat pada permukaan hidrogel dibersihkan (dilap) dengan kertas saring dan selanjutnya hidrogel ditimbang kembali (W_s). Proses perendaman diulang kembali untuk pengukuran rasio swelling pada interval 30 menit selanjutnya. Perlakuan yang sama dikerjakan untuk pengukuran rasio swelling hidrogel dalam waktu interval 30 menit lainnya pada selang waktu 6 jam. Rasio swelling hidrogel hasil pengujian pada masing-masing waktu perendaman dihitung dengan menggunakan Persamaan (2):

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

Dimana:

- W_s = Berat hidrogel dalam keadaan swelling (g)
- W_0 = Berat hidrogel dalam keadaan kering (g)

Selain itu, dilakukan uji EDS yaitu rasio swelling dari hidrogel pada keadaan swelling maksimum setelah

hidrogel direndam selama 24 jam, 48 jam dan 72 jam terhadap berat kering. Rasio swelling dihitung menggunakan Persamaan 2.

Penentuan Kemampuan Adsorpsi Hidrogel Terhadap Ion Cu²⁺ dan ion Fe³⁺

Disiapkan larutan Cu²⁺ 2 % (~20.000 ppm) dan larutan Fe³⁺ 0,02 % (20.000 ppm) dalam air suling serta sejumlah berat ± 0,02 g hidrogel kering dengan ukuran masing-masing ± 0,5 cm x 0,5 cm x 1 mm. Kemudian hidrogel kering direndam dalam air suling dalam beaker ukuran 100 mL hingga swelling maksimum (72 jam). Lalu, hidrogel dalam keadaan swelling berbentuk kubus dan ditimbang dengan variasi berat 10 g, 15 g, 20 g, 25 g, 30 g, 35 g, 40 g, 45 g, 50 g, 75 g, 100 g dan 150 g untuk pengujian adsorpsi ion logam Cu²⁺ dan Fe³⁺. Kemudian hidrogel basah yang telah ditimbang beratnya dimasukkan ke dalam 50 mL larutan ion Cu²⁺, digoyang dalam shaker incubator dengan kecepatan 50 rpm dalam waktu 10 menit. Selanjutnya larutan ion Cu²⁺ yang tersisa diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 810 nm. Perlakuan yang sama tersebut dikerjakan untuk pengujian pengaruh berat lainnya, dan begitu pula halnya pada pengujian adsorpsi ion logam Fe³⁺ yang absorbansinya diukur pada panjang gelombang 356 nm. Konsentrasi ion Cu²⁺ dan ion Fe³⁺ yang diadsorpsi oleh hidrogel dihitung dari selisih persentase ion awal dengan persentase ion yang tersisa dalam larutan. Persen ion yang tersisa dalam larutan dan ion terserap dihitung dengan Persamaan (3) dan Persamaan (4):

$$X (\%) = \frac{A_t}{A_0} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{Ion yang terserap dalam hidrogel} = (100 - X) \% \quad \dots\dots (4)$$

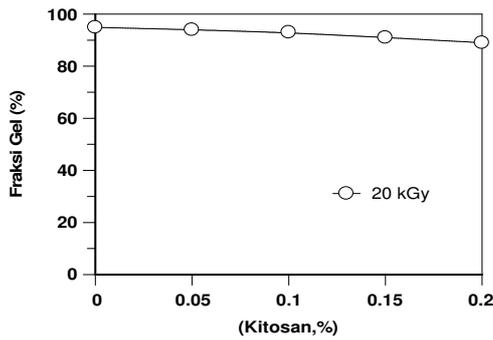
Dimana :

- X = Ion yang tersisa dalam larutan
- A_t = Nilai absorbansi dari larutan ion logam setelah adsorpsi
- A_0 = Nilai absorbansi larutan ion logam sebelum adsorpsi

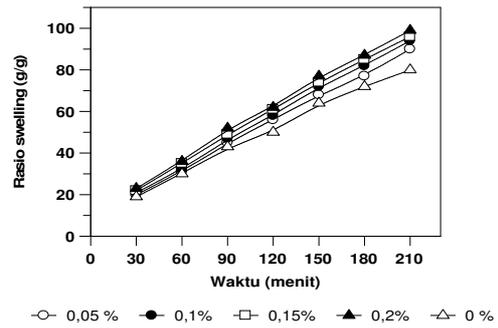
HASIL DAN PEMBAHASAN

Fraksi Gel

Variasi fraksi gel poli(AAm-ko-AA)-kitosan dengan beragam konsentrasi kitosan disajikan pada Gambar 1. yang relatif sedikit menurun dengan meningkatnya konsentrasi kitosan hingga 0,20 % hasil iradiasi 20 kGy mencapai 90 % dan fraksi gel hidrogel tanpa kitosan mencapai 93%. Oleh karena hanya sedikit terjadi penurunan fraksi gel dengan meningkatnya konsentrasi kitosan dalam batas yang diteliti, hal ini menunjukkan bahwa kitosan diduga



Gambar 1. Hubungan konsentrasi kitosan terhadap fraksi gel hidrogel poli(AAm-ko-AA)-kitosan hasil iradiasi 20 kGy



Gambar 2. Kinetika swelling hidrogel poli(AAm-AA)-kitosan hasil iradiasi dosis 20 kGy.

kuat tidak mengalami degradasi akibat pengaruh iradiasi gamma.

Kitosan merupakan salah satu polisakarida alami yang terdegradasi pada rantai utamanya jika dipapari radiasi [9]. Namun dalam system larutan air seperti disini, AAm dan AA merupakan komponen utama yang mengalami reaksi kopolimerisasi dan ikatan silang (*crosslinking*) jika campuran ini disinari iradiasi gamma [10]. Bila suatu campuran yang mengandung kitosan, AAm, dan AA diiradiasi akan terbentuk sistem *Interpenetrating Polymer Network (IPN)* dengan sistem ikatan silang antara AAm dan AA disertai ikatan silang dengan kitosan [11].

Pengujian Rasio Swelling

Kinetika *swelling* hidrogel poli (AAM-ko-AA)-kitosan hasil iradiasi 20 kGy disajikan pada Gambar 2. Terlihat bahwa dengan meningkatnya waktu perendaman dalam air hingga 210 menit ($\pm 3,5$ jam) pada konsentrasi kitosan hingga 2 %, rasio *swelling* hidrogel meningkat secara linier dengan nilai rasio *swelling* mencapai 100 g/g berat keringnya.

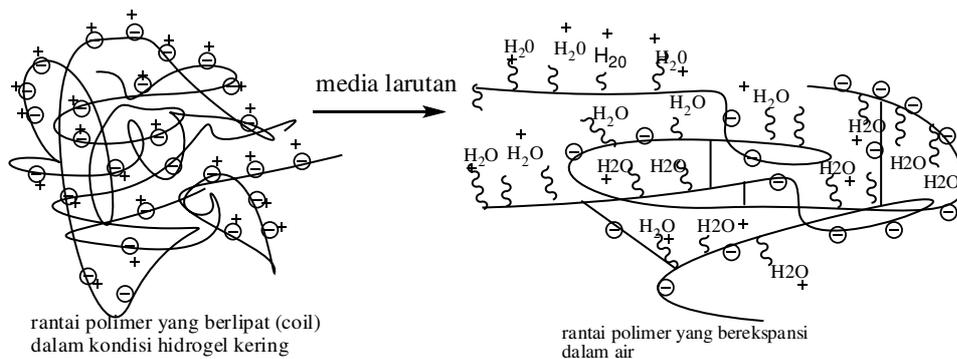
Kitosan merupakan salah satu polisakarida alami yang mengandung gugus amina (NH_2) dan hidroksil dalam struktur molekulnya yang dapat berinteraksi dengan molekul air membentuk ikatan hidrogen. Selain itu, kitosan yang terkekang akan menyebabkan terbentuknya rongga (retakan) dalam matriks hidrogel

yang meningkatkan jumlah pori-pori hidrogel dengan meningkatnya konsentrasi kitosan. Oleh karena itu, hal ini diduga kuat yang menyebabkan meningkatnya rasio *swelling* hidrogel dengan meningkatnya konsentrasi kitosan.

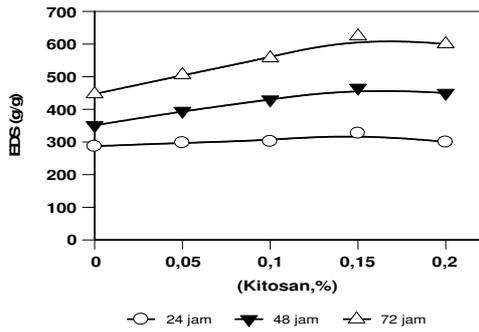
Equilibrium Degree of Swelling Hidrogel Poli(AAm-AA)-Kitosan

Mekanisma absorpsi air pada hidrogel poli(AAm-ko-AA)-kitosan dapat dijelaskan dari bentuk awalnya dalam kondisi kering. Struktur hidrogel superabsorbent ini dalam bentuk keringnya adalah seperti *coil* (gulungan yang melipat) (Gambar 3) yang disepanjang rantai utamanya terdiri dari gugus hidrofilik berupa gugus karboksil ($-COOH$) dari kalium akrilat yang terdisosiasi dalam air membentuk ion karboksil dengan muatan negatif. Ion-ion tersebut saling tolak menolak sepanjang rantai polimer yang kontak dengan lebih banyak gugus hidroksil (OH).

Hal ini akan mengakibatkan terekspsinya ukuran *coil* hidrogel dan menyebabkan meningkatnya jumlah air yang diserap. Selain itu, adanya gugus amida ($-CONH_2$) dari AAm serta gugus NH_2 dan OH dari kitosan yang membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air juga menyumbang meningkatnya jumlah air yang diserap oleh hidrogel. Proses masuknya air ke dalam *coil* hidrogel berlangsung secara kontinu sebagai fungsi waktu seperti yang telah disajikan pada Gambar 2 dan proses ini akan berakhir setelah kondisi kesetimbangan



Gambar 3. Skema kondisi *swelling* hidrogel



Gambar 4. Pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi kitosan terhadap EDS hidrogel poli(AAm-ko-AA)-kitosan hasil iradiasi 20 kGy

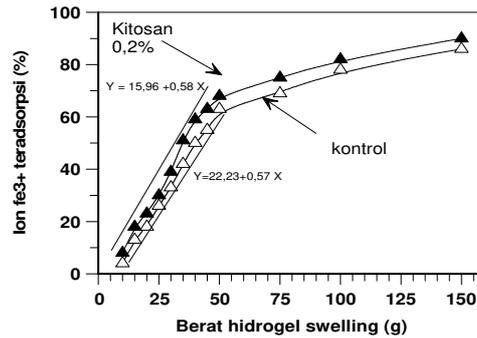
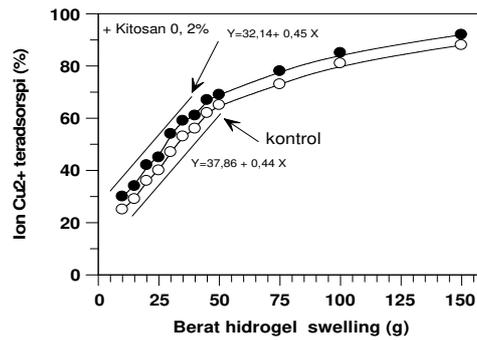
(jenuh) tercapai. Kondisi kesetimbangan ini dikenal sebagai *Equilibrium Degree of Swelling (EDS)*. Cepat lambatnya kondisi EDS dapat dicapai oleh suatu hidrogel superabsorben dipengaruhi oleh jenis senyawa pembentuk dan porositasnya. Semakin hidrofilik hidrogel superabsorben yang disertai porositas yang tinggi, maka semakin cepat dicapainya kondisi EDS.

Pada Gambar 4 disajikan pengaruh konsentrasi kitosan terhadap EDS hidrogel poli (AAm-ko-AA)-kitosan hasil iradiasi 20 kGy. Terlihat bahwa dengan meningkatnya konsentrasi kitosan, rasio *swelling* hidrogel meningkat dan mencapai kondisi maksimum pada konsentrasi kitosan 0,15% dengan nilai EDS 600 g/g pada waktu perendaman 72 jam. Meningkatnya konsentrasi kitosan selanjutnya (0,20%) tidak menyebabkan kenaikan EDS hidrogel. EDS hidrogel pada konsentrasi kitosan 0,15% dan 0,20 % masing-masing adalah 600 g/g dan 585 g/g serta EDS hidrogel tanpa kitosan adalah 450 g/g. Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi kitosan 0,15 % telah terjadi kondisi maksimal (jenuh) absorpsi air oleh hidrogel.

Absorpsi Ion Logam Cu²⁺ dan ion Fe³⁺

Pada Gambar 5(a) dan Gambar 5(b) disajikan pengaruh berat hidrogel dalam keadaan *swelling* (basah) terhadap persentase adsorpsi ion Cu²⁺ dan ion Fe³⁺ oleh hidrogel poli (AAm-ko-AA)-kitosan hasil iradiasi 20 kGy diukur selama 10 menit setiap pengujian pengaruh berat pada pH larutan konstan (pH=6). Terlihat bahwa dengan meningkatnya berat hidrogel mengakibatkan persentase ion Cu²⁺ dan ion Fe³⁺ teradsorpsi meningkat yang relatif lebih besar dibandingkan hidrogel tanpa kitosan (kontrol) dengan capaian kapasitas adsorpsi maksimal 90 % pada berat 150 g. Hal ini menunjukkan bahwa adanya kitosan dalam hidrogel dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi hidrogel terhadap ion logam berat.

Pada awal adsorpsi (berat hidrogel 10 g hingga 50 g). hubungan berat hidrogel terhadap persen ion Cu²⁺



Gambar 5. Hubungan persen ion Cu²⁺ dan Fe³⁺ yang diadsorpsi oleh hidrogel terhadap berat hidrogel dalam keadaan *swelling*

dan ion Fe³⁺ ion yang teradsorpsi dapat merupakan hubungan linier yang dapat dituliskan dengan Persamaan (5) dan Persamaan (6) :

$$Y = 32,14 + 0,45 X \quad \dots\dots\dots (5)$$

dan untuk ion logam Fe³⁺ adalah

$$Y = 15,96 + 0,58 X \quad \dots\dots\dots (6)$$

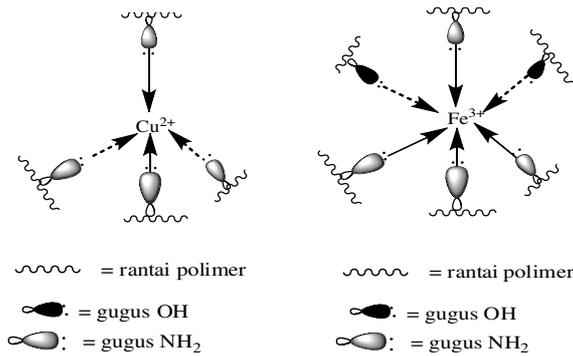
Dimana :

Y = Persen ion logam yang teradsorpsi

X = Berat hidrogel (g)

Jika kapasitas adsorpsi hidrogel terhadap ion Cu²⁺ dibandingkan terhadap kapasitas adsorpsi ion Fe³⁺ yang dapat dikaji dari Persamaan (5) dan Persamaan (6) atau dari Gambar 5(a) dan Gambar 5(b), terlihat bahwa kapasitas adsorpsi hidrogel terhadap ion Fe³⁺ relatif lebih cepat dibandingkan adsorpsinya terhadap ion Cu²⁺. Hal ini disebabkan jari-jari (radius) ion Fe³⁺ (r = 63) relatif lebih kecil dibandingkan jari-jari ion Cu²⁺ (r = 68), sehingga ion Fe³⁺ akan lebih mudah masuk ke dalam pori-pori matriks hidrogel dibandingkan ion Cu²⁺.

Ditinjau dari sifat kimia, karakter reaksi adsorpsi hidrogel terhadap ion-ion logam transisi seperti ion Cu²⁺ dan Fe³⁺ pada dasarnya merupakan reaksi pembentukan ion kompleks pada umumnya [12]. Ion Cu²⁺ dan ion Fe³⁺ sebagai ion logam pusat (central metal ions) berfungsi sebagai donor orbital dan hidrogel yang terbentuk dari senyawa-senyawa yang mengandung pasangan elektron bebas berfungsi sebagai ligand. Oleh karena itu, maka hidrogel poli(AAm-ko-AA)-kitosan mengandung gugus



Gambar 6. Bentuk struktur ion kompleks ion logam Cu^{2+} dan Fe^{3+}

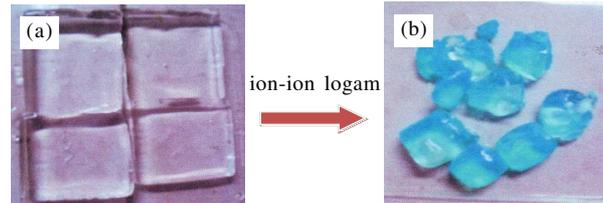
NH_2 , dan $-\text{COO}-$ pada rantai polimernya masing-masing mempunyai pasangan elektron bebas dalam struktur molekulnya yang berturut-turut berasal dari sumbangan akrilamida, asam akrilat dan kitosan dapat berfungsi sebagai *ligand*, dan selanjutnya bereaksi dengan Ion Cu^{2+} dan ion Fe^{3+} membentuk ion kompleks. Bentuk struktur ion kompleks yang terbentuk akibat reaksi ion Cu^{2+} dan ion Fe^{3+} dengan hidrogel disajikan pada Gambar 6.

Beberapa peneliti melaporkan [13-15] bahwa kondisi optimal adsorpsi ion-ion logam pada absorben dipengaruhi oleh luas permukaan absorben, waktu sentuh, konsentrasi larutan uji, jumlah berat dan pH larutan. Bentuk (ukuran) fisik absorben tersebut pada umumnya tidak mengalami perubahan setelah mengalami proses adsorpsi. Sedangkan bentuk fisik pada beberapa jenis hidrogel superabsorben dengan sifat permukaan yang peka terhadap ion logam, setelah proses adsorpsi mengalami *swelling* dikarenakan bersamaan dengan proses adsorpsi ion logam juga diserap air dari lingkungannya.

Hidrogel poli(AAm-ko-AA)-kitosan yang disintesis dalam penelitian ini dari hasil uji pendahuluan tidak dapat mengadsorpsi ion logam dalam kondisi kering jika dimasukkan dalam larutan ion-ion logam. Hal ini diduga kuat disebabkan oleh konsentrasi kitosan dalam matriks hidrogel yang relatif kecil (0,2%) dan terjebak dengan kuat dalam matriks hidrogel, sehingga kitosan sukar bereaksi dengan ion-ion logam.

Oleh karena itu, untuk mengatasi hal tersebut agar hidrogel ini dapat mengadsorpsi logam disiapkan hidrogel dalam bentuk *swelling* dengan asumsi bahwa pada kondisi *swelling* hidrogel akan membuka porinya menjadi lebar dan besar. Dengan demikian pada kondisi *swelling* tersebut, ion-ion logam akan mudah masuk ke dalam pori-pori hidrogel dalam jumlah yang relatif besar dan dengan mudah bereaksi dengan gugus-gugus NH_2 , $-\text{COO}-$, dan OH membentuk ion kompleks.

Data-data yang mendukung asumsi tersebut diatas telah dilaporkan pada hasil penelitian yang disajikan pada Gambar 5(a) dan Gambar 5(b) yang berupa pengaruh berat terhadap persen adsorpsi dalam konstan (10 menit) Pengaruh pH, konsentrasi ion, waktu sentuh



Gambar 7. Proses mengecil ukuran hidrogel pada proses adsorpsi ion logam (a) Hidrogel kondisi *swelling*. (b) Hidrogel menciut pada saat mengadsorpsi ion logam

belum dipelajari dalam penelitian ini karena waktu sentuh agar terjadi reaksi antara hidrogel dan ion logam dalam penelitian ini relatif cepat (10 menit). Bentuk fisik hidrogel poli(AAm-ko-AA)-kitosan dalam penelitian ini mengalami perubahan yang sangat drastis yaitu dari bentuk *swelling* pada awalnya (Gambar 7(a)), setelah dimasukkan kedalam larutan ion logam secara gradual (perlahan-lahan) mengecil ukurannya hingga pada akhirnya menjadi bentuk seperti awalnya disertai ion logam yang teradsorpsi (Gambar 7(b)). Proses mengecilnya ukuran hidrogel *swelling* diilustrasikan pada Gambar (7).

Mengecilnya ukuran hidrogel tersebut setelah mengadsorpsi ion logam diduga kuat disebabkan terjadinya pengusiran molekul-molekul air dalam matriks hidrogel akibat bereaksinya ion logam dengan gugus fungsi hidrogel (NH_2 , $-\text{COO}-$) yang pada awalnya mengikat molekul air. Oleh karena itu, sistem adsorpsi ini sangat berpotensi dapat dipakai untuk mengatasi masalah pencemar ion logam berat dalam larutan dengan kapasitas adsorpsi yang relatif besar dan limbahnya dapat didaur ulang dengan mudah.

KESIMPULAN

Hidrogel superabsorben poli(AAm-ko-AA)-kitosan dengan variasi konsentrasi kitosan 0 % hingga 0,20 % dapat disintesis menggunakan teknik iradiasi pada dosis tunggal 20 kGy. Walaupun kitosan bersifat mudah terdegradasi jika terkena paparan radiasi, Namun demikian meningkatnya konsentrasi kitosan hingga 0,20 % dalam sintesis hidrogel ini pada dosis 20 kGy masih dihasilkan fraksi gel yang relatif tinggi (~90 %).

Rasio *swelling* hidrogel meningkat dengan meningkatnya konsentrasi kitosan hingga 0,20 %, dan nilai *EDS* dapat mencapai 600 g/g dari berat keringnya selang waktu 72 jam. Hidrogel poli (AAm-ko-AA)-kitosan dalam rentang konsentrasi kitosan 0 % hingga 0,20% berkarakter mengadsorpsi ion logam dalam kondisi *swelling*, dan dapat mengadsorpsi ion Cu^{2+} dan ion Fe^{3+} pada konsentrasi yang relatif besar (~20.000 ppm) dan relatif cepat dalam waktu sentuh yang relatif pendek (10 menit).

Hidrogel poli (AAm-ko-AA)-kitosan pada rentang berat 10 g hingga 50 g mengadsorpsi ion Cu^{2+} relatif lebih kecil dibandingkan adsorpsinya terhadap ion Fe^{3+} pada kondisi pH yang sama disebabkan jari-jari ion

logam Cu^{2+} yang relatif besar dibandingkan jari-jari ion logam Fe^{3+} . Hidrogel superabsorben poli(AAm-ko-AA)-kitosan hasil iradiasi yang dapat mengadsorpsi ion Cu^{2+} dan Fe^{3+} dalam kondisi swelling ini berpotensi untuk digunakan untuk mengadsorpsi ion-ion logam lainnya dalam jumlah yang relatif besar pada kisaran waktu yang pendek untuk mengatasi pencemaran ion-ion logam berat yang mencemari air lingkungan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada rekan-rekan di fasilitas iradiasi Bidang IEI PATIR -BATAN yang telah banyak memberikan bantuan iradiasi sampel hingga penelitian ini selesai.

DAFTAR ACUAN

- [1]. T. SHALI, Z. YUJUN, G. HONGYU, *J. of Water and Environment Technology*, **5** (2007) 13-18
- [2]. J. LI, H. Y. WU, H. M. TAN, *Trasaction of Beijing Institute of Technology*, **26** (2006) 276-278
- [3]. J. LI, F. G. MA, H. M. TAN, *Journal of Beijing Institute of Technology*, **12** (2003) 312-315
- [4]. G. PENG, S. M. XU, Y. PENG, *Bioresource Technology*, **99**(2008) 444-447
- [6]. A. SANNINO, A. ESPOSITO, A. DE ROSA, *Journal of Biomedical Materials Research, Part A* **67**(2003) 444-447
- [7]. H.A.SHAWKY, M. H. EL SAYED, A. EL-HAQI ALI.M.S., ABDEL MOTTALEB, *Journal of Applied Polymer Science*, **100** (2006)3966-3973
- [8]. J. M. WASIKIEWICZ, F. YOSHII, N. NAGASAWA, R. A. WACH, H. MITOMO, *Radiat. Phys. Chem.*, **73** (2005) 287-295
- [9]. A. CHARLESBY, *Atomic Radiation and Polymers*, Pergamon Press, (1960)
- [10]. R. JINGZ. YANCUN, Z. Z. JIUQIANG LI, HONGFEI, *Radiat. Phys. Chem.*, **62** (2001)277-281
- [11]. R. S. VIERA, E. GUIBAL, E. A. M.M., BEPPU, *Adsorption*, **13** (2007)603-611
- [12]. S.L. SUN, Q. WANG, A. Q. WANG, *Biochem. Eng. J.*, **36** (2007) 131-138
- [13]. Z. XIAODONG, L. BIN, Z. ZHU, K. RUI, K. XUAN, *Water*, **2** (2010) 257-272