

Aplikasi Hidrogel Poli-(akrilamida) Hasil Iradiasi Gamma untuk Adsorpsi Zat Warna Biru Metilen dalam Larutan

The Application of Poly-(acrylamide) Hydrogel Prepared by Gamma Irradiation for Methylene Blue Adsorption in Aqueous Solution

Erizal, Hendig Winarno dan Basril Abbas

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN
Jl. Lebak Bulus No. 49 Jakarta Selatan 12440
e-mail : izza3035@yahoo.com

Diterima 22 Maret 2012; Disetujui 15 Mei 2012

ABSTRAK

Aplikasi Hidrogel Poli-(akrilamida) Hasil Iradiasi Gamma untuk Adsorpsi Biru Metilen dalam Larutan. Penelitian ini bertujuan mempelajari kemampuan hidrogel poli(akrilamida)(PAAM) mengadsorpsi zat warna sintetik biru metilen (BM) dalam larutannya. Hidrogel PAAM disintesis menggunakan iradiasi gamma pada beragam dosis (20-40 kGy), selanjutnya diproses menjadi serbuk kering dan diaplikasikan untuk mengadsorpsi larutan BM. Pengujian adsorpsi secara *batch* dilakukan pada variasi waktu kontak (0-120 menit), konsentrasi awal BM (2-10 mg/L), dan berat hidrogel (0-120 mg) serta perubahan struktur kimia hidrogel dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Hasil evaluasi menunjukkan bahwa hidrogel hasil iradiasi 20 kGy berkapasitas adsorpsi terhadap BM relatif lebih besar dibandingkan hasil iradiasi 30 dan 40 kGy. Meningkatnya berat hidrogel menyebabkan meningkatnya BM yang diadsorpsi oleh hidrogel. Hasil uji isoterms Langmuir dan Freundlich pada sistem adsorpsi BM menghasilkan koefisien korelasi (R^2) 0,9914 dan 0,9964 dengan kapasitas adsorpsi maksimum 1,67 mg/g pada pH 6,5. Hasil uji spektrum FTIR menunjukkan bahwa proses adsorpsi hidrogel PAAM pada BM adalah melalui ikatan hidrogen. Modifikasi hidrogel PAAM sangat potensial sebagai adsorben zat warna.

Kata Kunci ; hidrogel, poli(akrilamida), adsorpsi, biru metilen

ABSTRACT

The Application of Poly-(acrylamide) Hydrogel Prepared by Gamma Irradiation for Methylene Blue Adsorption in Aqueous Solution. The aim of the research is to study the capacity of poly(acrylamide)(PAAM) hydrogel to adsorb a synthetic dye of methylene blue (MB). PAAM hydrogel was synthesized by varying gamma radiation doses (20-40 kGy), and was then processed to dried powder (120 mesh) and used to adsorb MB dye from the aqueous solution. The batch adsorption experiment was carried out by varying contact time (0-120 min.), initial concentration of MB (2-10 mg/L), adsorbent dose (0-120 mg), and the chemical changes of hydrogels were characterized by Fourier Transform infra red (FTIR). The adsorption process of MB was examined with Langmuir and Freundlich isotherm models. The results showed that the hydrogel prepared at 20 kGy had higher adsorption capacities onto MB compare to the hydrogel at 30 and 40 kGy. With increasing hydrogel doses, the MB adsorbed increase. The results of Langmuir and Freundlich isotherm examination obtained the coefficient correlation (R^2) of 0,9914 and 0,9964 with maximum adsorption capacity 1.67 mg/g at a solution pH of 6.5. Modification of PAAM hydrogels will be potentially as dyes adsorbent.

Keywords : Hydrogel, poly(acrylamide), adsorption, methylene blue

PENDAHULUAN

Kontaminasi zat warna sintetik dalam air sungai atau danau telah banyak menarik perhatian pemerhati lingkungan, disebabkan oleh meningkatnya kerusakan ekosistem alami jika zat warna tersebut dibuang sebagai limbah [1-3]. Molekul zat warna atau metabolitnya yang berupa senyawa aromatis sangat mungkin toksik, berpotensi karsinogen, mutagenik dan allergenik jika terpapar pada organisme. Zat warna tidak hanya mengkontaminasi lingkungan, tetapi juga ikut terbawa pada rantai makanan yang menimbulkan *biomagnification* [4]. Zat warna bermuatan kation sangat mudah sekali berinteraksi dengan permukaan membran sel yang bermuatan negatif, kemudian masuk ke dalam sel dan terkonsentrasi pada *cytoplasm*.

Biru metilen (BM) merupakan salah satu zat warna sintetik yang banyak dipakai dalam berbagai keperluan, mulai dari sebagai pewarna kertas, pewarna rambut temporer, hingga pewarna beragam tekstil. zat warna BM pada umumnya banyak digunakan sebagai salah satu senyawa model untuk menguji kapasitas adsorpsi suatu adsorben [5-9]. Walaupun tidak berbahaya, BM dapat menyebabkan efek yang sangat fatal bagi manusia. Aliran buangan limbah BM dari pabrik dan industri tekstil umumnya bermuara ke sungai, danau dan ke tempat lain yang akan mengganggu kestabilan lingkungan ekosistem.

Zat warna pada umumnya bersifat menghalangi daya tembus cahaya, memperlambat aktivitas fotosintesis, menghalangi pertumbuhan biota dan berkecenderungan membentuk khelat dengan ion logam yang menghasilkan mikro toksis pada ikan dan mikroorganisme lainnya [10,11]. Oleh karena itu, secara konvensional telah dilakukan beberapa penelitian dalam upaya untuk menanggulangi pencemaran beberapa jenis zat warna dalam larutannya antara lain dengan menggunakan metode fisika-kimia dan biologis. Namun demikian, metode adsorpsi merupakan metode yang unggul

dibandingkan metode yang disebut sebelumnya dalam menanggulangi pencemaran zat warna [12]. Hal ini didasarkan pada rendahnya biaya yang dibutuhkan, desainnya sederhana, mudah operasinya dan tahan terhadap bahan-bahan toksik. Beberapa jenis adsorben yang telah diteliti antara lain karbon aktif, alginat, kitosan yang dimodifikasi, resin, dan hidrogel [13-16]. Di antara adsorben tersebut, hidrogel difokuskan oleh peneliti lingkungan sebagai adsorben, karena karakteristiknya yang spesifik yaitu *adsorption-regeneration*, ekonomis, fisibel, dan ramah lingkungan.

Hidrogel PAAM merupakan salah satu hidrogel yang sangat populer penggunaannya dalam bidang kesehatan, *biodegradable* dapat dengan mudah disintesis secara kimia dan iradiasi [17,18]. Selain itu, hidrogel PAAM dalam kerangka jaringannya yang berpori memungkinkan senyawa-senyawa (*solute*) berdifusi melalui strukturnya dan membengkak dalam air serta bergugus fungsi yang berpotensi sebagai adsorben zat warna [19,20].

Berdasarkan deskripsi tersebut, maka dilakukan penelitian mengenai kemampuan hidrogel PAAM hasil iradiasi dalam mengadsorpsi zat warna BM sebagai model. Hidrogel PAAM disintesis menggunakan teknik iradiasi dari monomer AAM dengan konsentrasi 10 % pada dosis 20 kGy. Hidrogel kering dalam bentuk serbuk ukuran 120 mesh diuji kemampuannya adsorpsinya terhadap BM dengan variasi waktu kontak (0-120 menit), konsentrasi awal BM (2-10 mg/L), dan berat hidrogel (0-120 mg) serta perubahan struktur kimia hidrogel dalam mengadsorpsi zat warna BM dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR).

BAHAN DAN METODE

Bahan

Akrilamida, asam akrilat, dan biru metilen buatan Merck dipakai tanpa diproses lebih lanjut. Bahan kimia lainnya

seperti kalium bromide (KBr) yang dipakai adalah kualitas pro analisis.

Alat

Spektrofotometer UV-VIS Genesis 2, buatan Amerika dipakai untuk menganalisis konsentrasi BM. Spektrofotometer FTIR model 8400 S, prestige -21, SHIMADZU, Jepang dipakai untuk mempelajari perubahan kimia yang terjadi pada hidrogel. Sumber iradiasi yang dipakai adalah sinar gamma dari iradiator karet (IRKA) PATIR-BATAN yang telah dikalibrasi.

Pembuatan hidrogel poli (akrilamida)

Larutan akrilamida 10 % dalam air suling dikemas dalam kantong plastik polipropilen (PP) ukuran 10 cm x 15 cm x 0,5 cm, kemudian masing-masing diiradiasi dengan sinar gamma pada dosis 20,30, dan 40 kGy (laju dosis 7,5 kGy/jam) dalam iradiator IRKA (Iradiator karet). Setelah diiradiasi, hidrogel yang dihasilkan dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C hingga beratnya konstan. Hidrogel dipotong-potong dengan ukuran 3 x 3 cm², diblender hingga berbentuk serbuk dan selanjutnya disaring dengan saringan 120 mesh, serbuk yang lolos dari saringan kemudian digunakan untuk pengujian adsorpsi biru metilen.

Uji kinetika adsorpsi hidrogel

Uji kinetika adsorpsi hidrogel PAAM terhadap BM dilakukan dengan merendam hidrogel dalam 10 mL larutan BM pada rentang konsentrasi 2-10 mg/L pada suhu pengujian 30 °C dan pH 6,5 dalam shaker inkubator pada goyangan 100 rpm. Pengaruh waktu kontak, berat, dan adsorpsi isothermis ditentukan dengan mengukur absorbansi larutan BM menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada $\lambda = 668$ nm. Konsentrasi BM yang teradsorpsi (Q_t) pada hidrogel pada selang waktu tertentu ditentukan berdasarkan persamaan [21,22]

$$Q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{m} \dots\dots\dots (1)$$

V = volume larutan (mL), m = berat hidrogel (g), C_0 dan C_t masing-masing adalah konsentrasi BM pada keadaan awal dan akhir pengujian. Pengerjaan dilakukan triplo.

Untuk pengujian sifat adsorpsi kesetimbangan isothermis dari BM pada permukaan hidrogel, hidrogel dimasukkan dalam botol tertutup ukuran 25 mL yang mengandung larutan BM pada pH 6,5, kesetimbangan diatur selama 2 jam pada suhu 30°C. Larutan hasil kesetimbangan ditentukan sesuai dengan prosedur pengerjaan diatas. Jumlah MB yang teradsorpsi (Q_e) dihitung dengan persamaan [21-23]

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \dots\dots\dots (2)$$

V = volume larutan (mL), m = berat hidrogel (mg), C_0 dan C_e masing-masing adalah konsentrasi awal dan akhir MB pada waktu kesetimbangan (mg/mL).

Karakterisasi HSA dengan FTIR

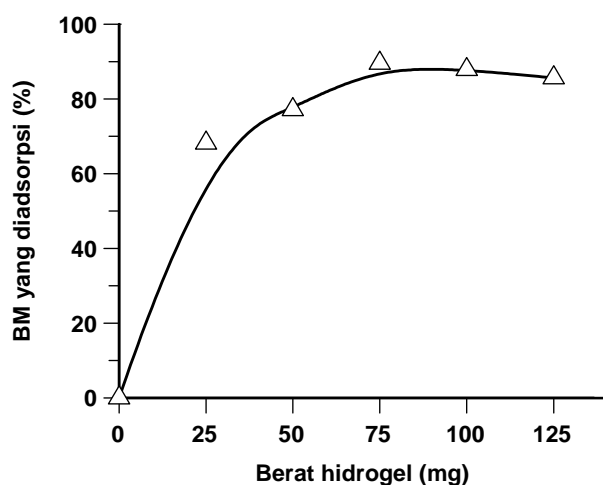
Hidrogel hasil iradiasi dan hidrogel hasil adsorpsi zat warna BM dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C dan ditimbang sampai bobot tetap. Kemudian hidrogel digerus halus (± 100 mesh), lalu dicampur dengan serbuk kalium bromida, lalu campuran serbuk tersebut dimasukkan dalam cawan khusus (*sample plate*) *stainless steel*. Kemudian spektrum FTIR direkam menggunakan FTIR -*prestige 21*, buatan Shimadzu, Jepang pada daerah panjang gelombang 400-4000 cm⁻¹. Selain itu dilakukan pula FTIR hidrogel PAAM hasil iradiasi dan biru metilen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh berat hidrogel terhadap kapasitas adsorpsi MB

Pengaruh jumlah berat hidrogel merupakan salah satu parameter yang penting pada penentuan kapasitas adsorpsi

suatu absorben. Berat hidrogel absorben PAAM hasil iradiasi 20 kGy dengan variasi berat 25, 50, 75, 100, dan 125 mg digunakan untuk menguji kemampuannya untuk adsorpsi larutan BM dengan konsentrasi 10 ppm dan diukur pada suhu kamar ($\pm 32^\circ\text{C}$) dengan interval waktu 2 jam pada setiap pengujian. Hubungan pengaruh berat hidrogel PAAM terhadap adsorpsi MB disajikan pada Gambar 1. Terlihat bahwa dengan meningkatnya berat serbuk dari 25 hingga 125 mg, kapasitas adsorpsi hidrogel meningkat mencapai 89,43% pada berat 75 mg, selanjutnya pada berat >75 mg kapasitas adsorpsinya relatif konstan. Hal ini mengindikasikan bahwa berat hidrogel 75 mg merupakan berat optimum adsorpsi hidrogel PAAM terhadap BM. Hal ini diduga kuat karena pada dosis berat 75 mg telah terjadi adsorpsi semua jumlah BM yang terdapat dalam larutan.

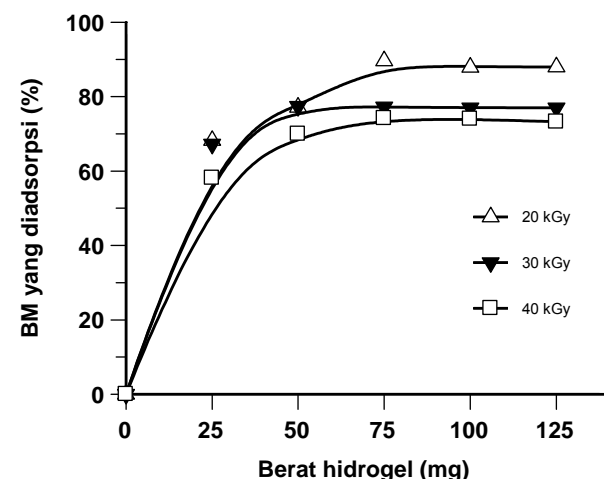


Gambar 1. Pengaruh berat hidrogel terhadap persen MB yang diadsorpsi

Pengaruh berat hidrogel dan dosis iradiasi terhadap kapasitas adsorpsi MB

Uji ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan hidrogel PAAM dalam mengadsorpsi larutan BM berdasarkan pengaruh berat dan dosis iradiasi. Pengaruh berat hidrogel hasil iradiasi dosis 20, 30 dan 40 kGy terhadap kapasitas adsorpsi BM

konsentrasi 10 ppm disajikan pada Gambar 2. Terlihat bahwa kapasitas adsorpsi optimum masing-masing hidrogel hasil iradiasi 20, 30 dan 40 kGy berturut-turut adalah 89,43%, 76,99% dan 76,64% pada berat optimum 75 mg. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi BM hidrogel hasil iradiasi 20 kGy relatif lebih besar dibandingkan hidrogel hasil iradiasi 30 dan 40 kGy. Hal ini disebabkan meningkatnya dosis iradiasi menyebabkan kerapatan ikatan silang hidrogel meningkat [17], sehingga kemampuan MB untuk berdifusi ke dalam matrik hidrogel semakin sulit dan daya adsorpsi hidrogel menurun. Oleh karena itu, hidrogel hasil iradiasi 20 kGy dengan berat 75 mg digunakan pada penelitian selanjutnya.

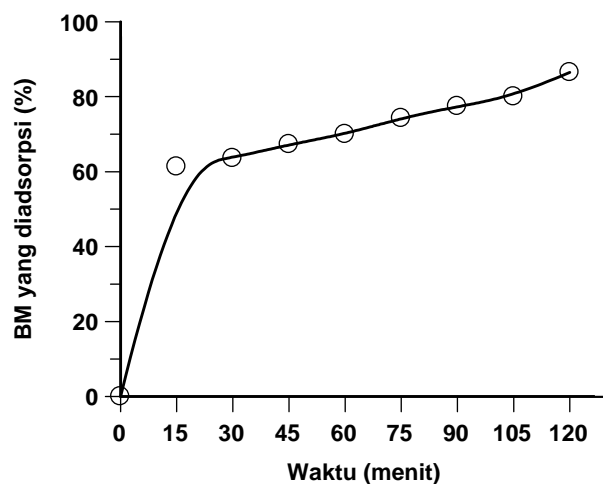


Gambar 2. Pengaruh berat hidrogel hasil iradiasi terhadap kapasitas adsorpsi BM

Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi BM

Uji ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan hidrogel PAAM dalam mengadsorpsi larutan BM berdasarkan pengaruh waktu perendamannya dan hasil pengaruh waktu kontak (*contact time*) hingga 120 menit dengan interval waktu 15 menit terhadap adsorpsi BM pada hidrogel hasil iradiasi 20 kGy pada suhu kamar disajikan pada Gambar 3. Terlihat bahwa kapasitas

adsorpsi pada waktu 15 menit telah mencapai 61,33% dan selanjutnya meningkat secara perlahan-lahan hingga waktu 120 menit dan mencapai nilai adsorpsi maksimum 86,55%. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi hidrogel dipengaruhi oleh lamanya waktu kontak dikarenakan proses adsorpsi merupakan kondisi kesetimbangan antara zat yang teradsorpsi dengan situs aktif pada permukaan hidrogel yang merupakan fungsi waktu.



Gambar 3. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi BM

Adsorpsi Isotermis

Adsorpsi Isotermis merupakan suatu model pada umumnya dipakai untuk menentukan kapasitas adsorpsi yang menggambarkan hubungan jumlah zat yang teradsorpsi pada sejumlah berat adsorben dalam kondisi kesetimbangan pada suhu tertentu. Model isotermis Langmuir didasarkan pada asumsi bahwa jumlah situs aktif (*active sites*) yang berfungsi untuk mengikat senyawa yang diuji tersebar secara merata pada permukaan adsorben secara homogen, situs-situs aktif ini berafinitas yang sama untuk proses adsorpsi dan berkecenderungan membentuk lapisan tunggal (*monolayer*). Secara matematis untuk mengetahui karakter permukaan adsorben

umumnya digunakan persamaan kesetimbangan adsorpsi isotermis Langmuir [24,25]

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_0} b + \frac{C_e}{Q_0} \dots\dots\dots (3)$$

b adalah konstanta kesetimbangan adsorpsi (L/mg), q_0 merupakan kapasitas adsorpsi permukaan *monolayer* dalam keadaan jenuh (mg/g). Memplotkan C_e/q_e terhadap C_e pada garis linier, maka akan diperoleh nilai q_0 dan b. Sedangkan menurut Freundlich untuk mengkaji kemungkinan adsorpsi pada permukaan yang bersifat heterogen dapat diramalkan dengan persamaan [26]

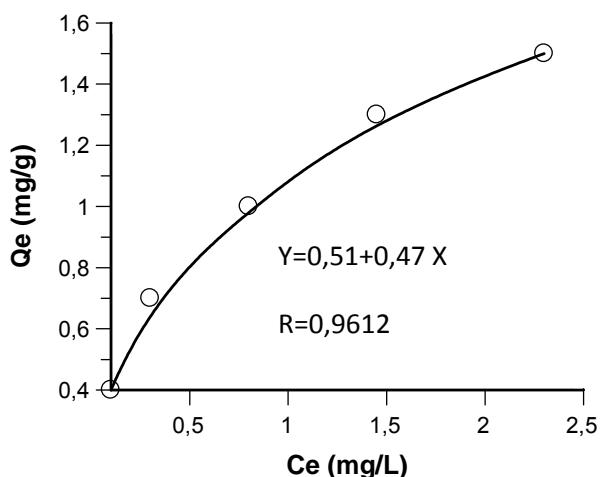
$$\ln Q_e = \ln KF + \frac{1}{n} \ln C_e \dots\dots\dots (4)$$

KF dan n masing-masing merupakan konstanta Freundlich yang mewakili kapasitas adsorpsi dan intensitas adsorpsi. KF dan n dapat dihitung dari persamaan linier dengan memplotkan $\ln Q_e$ terhadap $\ln C_e$.

Untuk mengkaji kemampuan adsorpsi adsorben hidrogel hasil iradiasi pada BM, maka dalam penelitian ini dilakukan pengujian dengan memvariasikan konsentrasi BM dari 2 ppm hingga 10 ppm pada pH 6,5 dengan waktu kontak 2 jam. Pada Gambar 4 disajikan hubungan kapasitas adsorpsi dari adsorben hidrogel terhadap konsentrasi BM dalam kondisi kesetimbangan. Terlihat bahwa pada kondisi adsorpsi kesetimbangan, kapasitas adsorpsi adsorben hidrogel meningkat dengan tajam yang menyebabkan meningkatnya konsentrasi BM dalam kesetimbangan.

Untuk mengkaji sifat permukaan adsorben hidrogel PAAM terhadap MB, maka dilakukan uji hubungan antara konsentrasi BM (C_e) terhadap kapasitas adsorpsi dalam keadaan kesetimbangan yang disajikan pada Gambar 5. Diperoleh hasil persamaan linier : $y = 0,51 + 0,47 x$ ($R = 0,9621$). Persamaan ini selanjutnya dimasukkan ke dalam persamaan kesetimbangan adsorpsi Langmuir (pers.3) dan Freundlich (pers.4). Hasil

perhitungannya disajikan pada Tabel 1. Terlihat bahwa kapasitas adsorpsi hidrogel terhadap BM dengan koefisien korelasi yang sangat mendekati 1 ($R=0.9964$) hasil pengujian persamaan Freundlich, dibandingkan koefisien korelasi ($R=0.9916$) hasil pengujian persamaan Langmuir dalam rentang batas uji penelitian ini. Oleh karena itu, model kesetimbangan Freundlich yang layaklah untuk kesetimbangan adsorpsi MB pada hidrogel yang menunjukkan bahwa proses adsorpsi BM pada hidrogel bersifat heterogen.



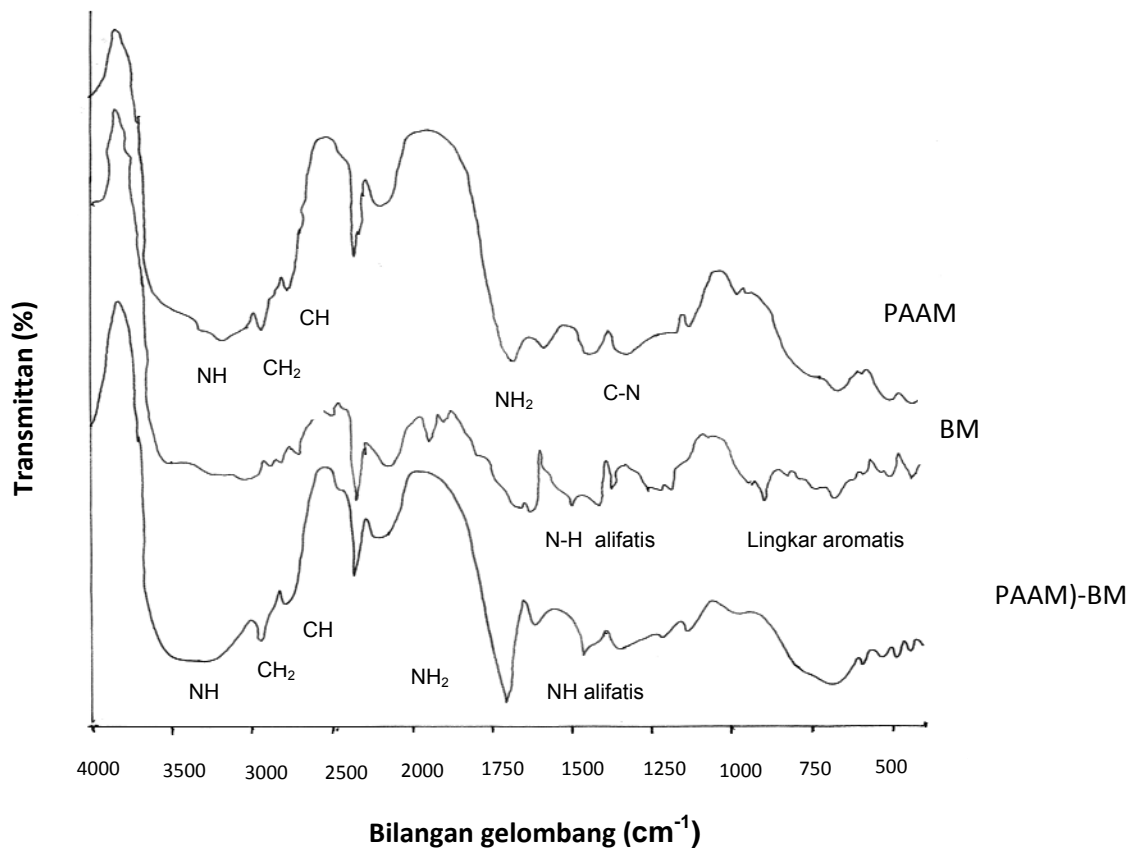
Gambar 4. Hubungan konsentrasi BM akhir (C_e) dan kapasitas adsorpsi hidrogel dalam kesetimbangan isotermis (Q_e)

Tabel 1. Konstanta persamaan Langmuir dan Freundlich kesetimbangan isotermis dan koefisien korelasinya

Model Isotermis	Nilai
Langmuir	
Q_o (mg/g)	1,67
B (l/mg)	2,50
R^2	0,9914
Freundlich	
K_F	1.04
n (L/mg)	2.27
R^2	0.9964

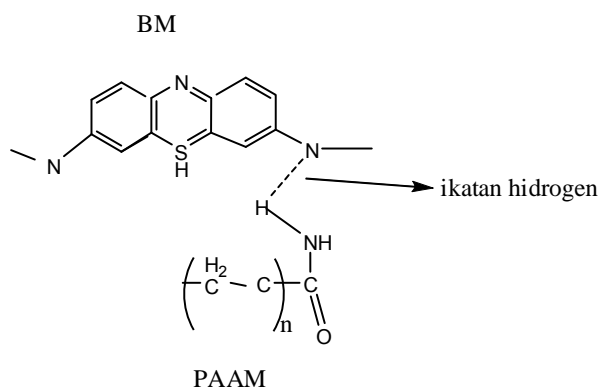
Karakterisasi gugus fungsi dengan FTIR

Karakterisasi spektrum FTIR hidrogel PAAM hasil iradiasi, BM, dan hidrogel PAAM yang mengandung BM setelah proses adsorpsi bertujuan untuk mengkaji perubahan gugus fungsi struktur kimia hidrogel yang terjadi akibat proses adsorpsi, dan hasil karakterisasinya disajikan pada Gambar 5. Spektrum hidrogel PAAM dicirikan dengan puncak gugus-gugus fungsi amida I, CH_2 , $-CH$, deformasi gugus $-NH_2$ (amida II), vibrasi tekuk gugus $-NH$, dan C-N serta gugus N-H (amida III) pada daerah bilangan gelombang berturut-turut adalah $3000-3425,7\text{ cm}^{-1}$, 3080 cm^{-1} , 2975 cm^{-1} , 1589 cm^{-1} , 1615 cm^{-1} , 1438 cm^{-1} , 1323 cm^{-1} , dan 1130 cm^{-1} . Spektrum BM dicirikan dengan gugus-gugus fungsi vibrasi deformasi gugus C-H dalam lingkaran aromatis *polynuclear*, vibrasi deformasi axial gugus C-N (amin alifatis) pada daerah bilangan gelombang berturut-turut yaitu 675 cm^{-1} dan 900 cm^{-1} , $1020\text{ cm}^{-1}-1250\text{ cm}^{-1}$, $1257\text{ cm}^{-1}-1360\text{ cm}^{-1}$ [27]. Sedangkan pada spektrum hidrogel PAAM yang mengadsorpsi BM terlihat bahwa terjadi penurunan intensitas dan pelebaran puncak gugus NH ke daerah panjang gelombang 3500 cm^{-1} dibandingkan puncak gugus NH dari PAAM yang terletak pada daerah bilangan gelombang $3000-3400\text{ cm}^{-1}$. Alexandro dkk. melaporkan [27] penelitian yang berkaitan adsorpsi BM pada adsorben karbon aktif yang dipreparasi dari kacang polong mengandung gugus fungsi fenol dan karboksilat, Diperoleh hasil kapasitas adsorpsi dengan nilai 890 mg/g yang relatif besar dibandingkan kapasitas adsorpsi dari hidrogel PAAM hasil penelitian ini dengan kapasitas adsorpsi $2,5\text{ mg/g}$. Pada pengujian spektrum FTIR yang dilakukannya terlihat penurunan intensitas yang sangat tajam pada daerah $3000-3500\text{ cm}^{-1}$. Hal ini disebabkan adanya interaksi anion dari karboksilat dan fenol dengan BM [27]. Terjadinya pelebaran puncak spektrum gugus NH ke daerah 3500 cm^{-1} setelah mengadsorpsi BM oleh hidrogel yang disertai nilai kapasitas adsorpsi yang relatif jauh lebih rendah dibandingkan adsorben karbon aktif, hal ini diduga kuat karena



Gambar 5. Spektrum FTIR hidrogel PAAM, BM dan PAAM-BM

terjadi interaksi ikatan hidrogen antara gugus NH dari PAAM (Gambar 6) yang non anionik dengan gugus NH dari BM.



Gambar 6. Interaksi ikatan hidrogen BM dengan PAAM hidrogel

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapatlah disimpulkan bahwa hidrogel PAAM hasil iradiasi gamma dapat digunakan sebagai adsorbent larutan BM. Waktu kesetimbangan terhadap adsorpsi BM dalam larutannya adalah 120 menit. Proses adsorpsi BM dapat dikaji menggunakan model isothermis Langmuir dan Freundlich. Pada pengujian persamaan Langmuir untuk uji mekanisme adsorpsi BM dihasilkan nilai $R=0,9964$ dan Freundlich $R=0,9916$. Adsorpsi BM pada hidrogel mencapai nilai kapasitas maksimum 2,5 mg/g pada pH 6.5. Adsorpsi BM pada hidrogel meningkat dengan meningkatnya dosis hidrogel. Untuk menaikkan kapasitas adsorpsi hidrogel PAAM hasil iradiasi selanjutnya dapat dilakukan dengan memodifikasi

kopolimerisasi dengan monomer/polimer yang ionik.

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, serta ucapan yang sama disampaikan kepada Ibu Lies Hardiningsih yang telah membantu penelitian ini hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

1. WENG, C.H., PAN, Y.F., Adsorption of cationic dye (methylene blue) onto spent activated clay, *J. Hazard. Mater.*, 144, 355-362 (2007),
2. BHATTACHARYYA, K.G, SHARMA, A., Kinetics and thermodynamics of methylene blue adsorption on Neem (*Azadirachta indica*) leaf Powder, *Dyes Pigments*, 65, 51-59 (2005).
3. BECHTOLD, T., BURTSCHER, E., TURCANU, A., Cathodic decolourization of textile wastewater containing reactive dyes using a multi-cathode electrolyser, *J.Chem.Technol.Biotechnol*, 76, 303 (2001).
4. KARCHER, S., KORMULLER, A., JEKEL, M., Anion exchange microsphere for removal of reactive dyes from textile wastewater, *Water Res.* 36, 4717 (2002).
5. SHENG, J., XIE, Y., ZHOU, Y., Adsorption of methylene blue from aqueous solution on pyrophyllite, *Applied Clay Sci.*, 46, 422-424 (2009).
6. VARLIKI, C., BEKIARI, V., KUS, M., BODUROGLU, N., ONER, L., LIANOS, P., LYBERATOS, G., ICLI, S., Adsorption of dyes on sahara desert sand, *J. Hazardous Mater.*, 170, 27-34 (2009).
7. ALZAYDIEN, A.S., Adsorption of methylene blue from aqueous solution onto a low-cost natural Jordanian tripoli, *American J. of Environ. Scie.*, 5(3), 197-208 (2009).
8. WARANUSANTIGUL, P., P., POKETHITIYOOK, M., KRUATRACHUE, UPATHAM, E.S., Kinetics of basic dye (methylene blue) biosorption by giany duckweed (*Spirodella polyrrhiza*), *Environ. Polutt.*, 125, 385-392 (2003).
9. OTERO, M.F., ROZADA, L.F., CALVO, A.L., GARCIA, MORAN, A., Kinetics and equilibrium modelling of methylene blue removal from solution by adsorbent materials produced from sewage sludges, *Biochem. Eng. J.*, 15, 59-68 (2003).
10. BABEL, S., KURNIAWAN, T.A., Low cost adsorbent for heavy metals uptake from contaminated water ; A Review, *J. Hazard Mater. B* 97, 219-243 (2003).
11. GARG, V.K., AMITA, M. KUMAR, R., GUPTA, R., Basic dye (methyele blue) removal from simulated wastewater by adsorption using indian rosewood sawdust : A Timber Industry, *Dyes Pigm.*, 76, 243-250 (2004).
12. ABDOU, L.A.W., HAKEIM, Q.A., MAHMOUD, M.S., EI-NAGGAR, A.M., Comparative study between the efficiency of electron beam and gamma irradiation for treatment of dye solutions, *Chemical Eng. J.* 168 (2), 752-758 (2011).

13. DOGAN, M., ALKAN, M., Adsorption kinetics of methyl violet onto perlite, *Chemosphere*, 50,517 (2003).
14. KANNAN, N., SUNDARAM, M.M., Kinetics and mechanism of removal of methylene blue by adsorption on various carbons-a comparative study, *Dyes pigments*, 51, 25 (2001).
15. WALKER, G.M., HANSEN, L. HANNA, J.A., ALLEN, S.J., Kinetics of a reactive dye adsorption onto dolomitic sorbents, *Water Res.* 37, 2081 (2003).
16. XU, Z.Y, ZHANG, Q.X., FANG, H.P., Applications of porous resin sorbents in industrial wastewater treatment and resource recovery, *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 33, 363 (2003).
17. ERIZAL, ZAINAL ABIDIN dan SUDIRMAN, Efek dosis Iradiasi dan konsentrasi pada sintesis superbisorben hidrogel poli(Akrilamida) berikatan silang menggunakan Iradiasi Gamma, *Majalah Ilmiah Pengakjian Industri*, 5, 9-16 (2011).
18. PETER, J.H., JENNIFER, A.C., JULI, C.N., DAVEY, I.J., Model and field studies of the degradation of cross-linked polyacrylamide gels used during the revegetation of slate waste, *Science of The Total Environment*, 336, 1-3, 18-24 (2005).
19. CAULFIELD, M.J. QIAO, G.G., SOLOMON, D.H., Some aspects of the properties and degradation of polyacrylamide, *Chem.Rev.*, 102, 3067-3084 (2002).
20. MURAT, M.O., CVALENTINE, M.D., OGUZ, Q., Preparation of macroporous poly(acrylamide) hydrogels in DMSO/water mixture at subzero temperature, *Polymer Bulletin*, 60, 169-180 (2008).
21. SAYARI, A., HAMOUDI, S., YANG, Y., Applications of pore-expanded mesoporous silica .removal of heavy metal cations and organic pollutants from wastewater, *Chem.Mater.*, 17, 212-216 (2005).
22. DURAN, S., SOLPAN, D., GUVEN, O., Synthesis and characterization of acrylamide-acrylic hydrogels and adsorption of some textile dyes, *Nucl. Instrum., Methods Phys. Res.* B151, 196-199 (1999).
23. BEKIARI, V., LIANOS, P., Ureasil gels as a highly efficient adsorbent for water purification, *Chem.Mater.*, 18, 4142-4146.
24. PONNUSAMI, V., VIKRAM, S., SRIVASTAVA, S.N., Guava (*Psidium guayava*) leaf powder: Novel adsorbent for removal of methylene blue from aqueous solutions, *J. Hazard Mater.*, 152, 276-286 (2008).
25. IQBAL, M.J., ASHIQ, M.N., Adsorption of dyes from aqueous solutions on activated charcoal, *J. Hazard Mater*, 139, 57-66 (2007).
26. SUEN, S., A Comparison of Isotherm and kinetics models for binary - solute adsorption to affinity membranes, *J. Chem., Technol. Biotechnol.*, 65, 249-257 (1996).
27. ALEXANDRO, CAZETTA, A.L., KUNITA, M.M., SILVA, T.L. ALMEIDA, V.C., Adsorption of methylene blue on activated carbon produced from flamboyant pods (delomix regia): Study of adsorption isotherm and kinetics models., *Chemical Engineering J.*, 168 ,722-730 (2011).

