

ADSORBEN MAGNETIK NANOKOMPOSIT Fe₃O₄-KARBON AKTIF UNTUK MEYERAP THORIUM

Adel Fisli¹, Anis Ariyani², Siti Wardiyati¹ dan Saeful Yusuf¹

¹Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) - BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang Selatan

²Departemen Kimia, FMIPA - IPB

Jl. Raya Pajajaran, Bogor

e-mail: adel@batan.go.id

ABSTRAK

ADSORBEN MAGNETIK NANOKOMPOSIT Fe₃O₄-KARBON AKTIF UNTUK MENYERAP THORIUM. Penelitian ini dilakukan untuk membuat suatu adsorben magnetik yang akan digunakan untuk menyerap thorium dalam air limbah. Adsorben magnetik dibuat dari pencampuran karbon aktif dan larutan garam Fe(III)/Fe(II) (rasio molar 2 : 1) dan ditambahkan larutan NaOH. Padatan dalam larutan dipisahkan dan dipanaskan pada suhu 100 °C dalam oven selama 2 jam. Padatan dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffractometer (XRD)*, *Vibrating Sample Magnetic (VSM)* dan *Brunauer Emmett Teller (BET)*. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa oksida besi fasa Fe₃O₄ berkelakuan superparamagnetik telah terbentuk di dalam komposit dan tertempel secara permanen pada permukaan karbon aktif. Jika komposit ini dimasukkan ke dalam air maka dapat dengan mudah dikumpulkan kembali menggunakan batangan magnet permanen sederhana. Uji adsorpsi terhadap thorium dengan variasi pH larutan menunjukkan bahwa semakin tinggi pH larutan maka efisiensi adsorpsi juga semakin tinggi. Pada pH > 7, kelarutan thorium rendah sehingga dapat terserap secara maksimum. Hasil analisis adsorpsi isothermal dan *Langmuir* menunjukkan bahwa adanya partikel Fe₃O₄ pada struktur karbon aktif hampir tidak menurunkan kapasitas adsorpsi Thorium. Komposit karbon aktif-Fe₃O₄ dapat digunakan sebagai adsorben alternatif untuk pengolahan limbah cair mengandung thorium.

Kata kunci : Adsorben, Komposit Fe₃O₄-karbon aktif, Thorium

ABSTRACT

MAGNETIC ADSORBENT OF ACTIVE CARBON-Fe₃O₄ NANOCOMPOSITE FOR THORIUM ADSORPTION. This research has been done in order to prepare a magnetic adsorbent that will be used to absorb thorium in wastes water. The magnetic adsorbent was prepared by mixing active carbon with salt solution of Fe(III)/Fe(II) (ratio molar 2 : 1) and adding NaOH solution. Solids part in the solution was separated and heated at 100 °C in oven for 2 hours. The solids part was then characterized by *X-Ray Diffractometer (XRD)*, *Vibrating Sample Magnetic (VSM)* dan *Brunauer Emmett Teller (BET)*. The characterization results showed that iron oxide Fe₃O₄ phase having superparamagnetic behaviour have been formed in composite and attached permanently on active carbon surface. When these composite was slurry in water, it can be recollected easily by using simple permanent magnet. The adsorption test for thorium by variation of pH indicates that higher pH solution is higher adsorption efficiency. At pH >7, the solubility of thorium was low so that it can be adsorbed maximally. Analysis result of isothermal and *Langmuir* adsorption indicated that the present of Fe₃O₄ particles on an active carbon structure mostly did not decrease the thorium adsorption capacity. Active carbon-Fe₃O₄ composite can be used as an alternative adsorbent for treatment of thorium contained waste water.

Keywords : Adsorbent, Active Carbon-Fe₃O₄, Thorium

PENDAHULUAN

Thorium (Th) adalah unsur radioaktif yang kejadiannya secara alami. Isotop radioaktif Thorium (Th-232) kelimpahannya cukup tinggi di alam, mencapai lebih dari 99% dengan waktu paroh mencapai 1,41 x 10¹⁰ tahun. Thorium digunakan secara luas dalam

Industri, seperti sebagai katalis untuk oksidasi ammonia menjadi asam nitrat, digunakan dalam alloy magnesium dan filamen tungsten untuk bola lampu dan tube electronic. Thorium juga ditambahkan pada pabrik refractive glass untuk pembuatan lensa kamera yang

lebih akurat [1]. Dalam industri nuklir, *Thorium* juga digunakan dalam bahan bakar nuklir, dimana *Thorium* sangat bermanfaat dalam menjaga pembelahan inti isotop U-233 dalam reaktor neutron termal. Dalam reaktor air ringan (*LWR*) telah dicobakan menggunakan bahan bakar jenis $(Th,U)O_2$ dan ThO_2 juga telah digunakan pelapis bahan dalam reaktor *LMFBR* dan *PHWR* [2]. Hasil samping proses penggunaan Th baik dalam industri nuklir dan non nuklir akan menghasilkan limbah radioaktif. Disamping itu juga, limbah radioaktif Th konsentrasi tinggi juga dihasilkan pada proses penambangan dan ekstraksi minyak dan gas bumi yang mengandung kelimpahan bahan radioaktif lain seperti uranium dan potasium [3].

Karbon aktif dibuat dari bahan alam yang mengandung karbon seperti: batubara, lignin, tempurung, dan kayu yang telah mengalami karbonisasi dan pengaktifan. Bahan ini bersifat adsorpsi, mempunyai luas permukaan yang tinggi dan struktur berporos, sehingga bahan ini banyak digunakan dalam pengolahan limbah cair. Bahan ini sangat efektif dalam menyerap berbagai kontaminan organik dan anorganik dalam limbah dan adsorpsi gas kontaminan. Dalam industri, karbon aktif banyak digunakan memisahkan polutan organik dan zat warna dalam bahan produksinya [4]. Karbon aktif ini juga dapat digunakan untuk menyerap berbagai radionuklida seperti thorium dan uranium dalam limbah nuklir [5,6].

Dengan menggabungkan nanopartikel magnet oksida besi dengan karbon aktif diperoleh suatu bahan komposit baru yang mempunyai sifat adsorpsi dan dapat merespon medan magnet luar. Sifat yang terakhir digunakan untuk mengambil partikel adsorben dari cairan limbah yang telah menyerap kontaminan dengan menggunakan batangan magnet permanen. Sehingga proses penyaringan untuk mengambil kembali partikel karbon aktif dalam cairan dapat dihidari.

Penelitian ini bertujuan membuat suatu adsorben magnetik komposit karbon aktif-oksida besi yang akan digunakan menyerap radionuklida thorium dalam larutan. Sifat fisik bahan dikarakterisasi dengan berbagai metode, di antaranya; sifat magnet dan fasa oksida besi yang terbentuk dalam adsorben dikarakterisasi dengan menggunakan *Vibrating Sample Magnetic (VSM)* dan *X-Ray Diffractometer (XRD)*. Luas permukaan dan volume pori bahan menggunakan *Brunauer Emmett Teller (BET)*. Uji adsorpsi bahan dilakukan dengan thorium dengan berbagai variasi dengan pH, kation dan adsorben.

METODE PERCOBAAN

Bahan

Bahan kimia yang telah digunakan dalam penelitian ini adalah $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ (*pro analysis*, Merck), $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (*pro analysis*, Merck) dan NaOH (*pro*

analysis, Merck) sebagai bahan awal pembentukan oksida besi. Sedangkan karbon aktif yang digunakan adalah Activated Carbon, Darco@G-60, Sigma-Aldrich dan uji adsorpsi menggunakan senyawa $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$.

Pembuatan Adsorben

Pembuatan nanokomposit mengacu pada penelitian yang dilakukan sebelumnya [7]. Adsorben dibuat dengan memasukkan karbon aktif ke dalam 200 mL air dan diaduk menggunakan magnet *stirrer* pada suhu 70 °C. Pada wadah lain, dibuat 200 mL campuran $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dan $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ dengan perbandingan mol 2 : 1. Campuran ini dimasukkan ke dalam larutan karbon aktif yang sedang diaduk dan dipanaskan. Ada tiga variabel adsorben yang dibuat berdasarkan perbandingan berat oksida besi dan karbon aktif yaitu; (KA : OB = 1 : 1); (KA : OB = 2 : 3) dan (KA : OB = 1 : 2). Kemudian pada campuran ini ditambahkan 100 mL NaOH 5 M tetes demi tetes sehingga endapan Fe yang terbentuk membentuk komposit dengan karbon aktif.

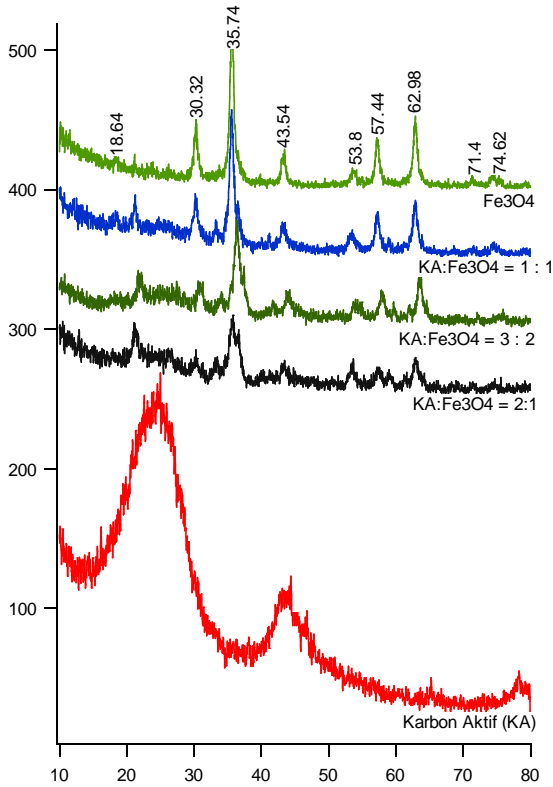
Partikel komposit dipisahkan dari larutan air dengan menggunakan batangan magnet. Endapan yang diperoleh dicuci beberapa kali dengan air bebas mineral sampai konduktivitas air tapisan < 100 μ S/m² dan dikeringkan pada suhu 100 °C selama 3 jam. Adsorben magnetik yang diperoleh selanjutnya digerus untuk mendapatkan serbuk yang halus.

Karakterisasi Adsorben

Adsorben dikarakterisasi dengan berbagai alat diantaranya; analisis fasa komposit dilakukan dengan teknik difraksi sinar-X pada rentang sudut pengukuran 10 ° hingga 80 ° menggunakan target Cu-K α ($\lambda = 0,154$ nm) menggunakan alat *X-Ray Diffractometer XD-610*. Sifat magnet bahan diketahui dari analisis kurva histeresis yang diambil dari pengukuran alat *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* Oxford Tipe 1.2 T. Pengukuran dilakukan pada suhu ruang dengan kecepatan 0,25T/menit dengan medan magnet luar maksimum 1 T. Luas permukaan komposit ditentukan dengan metode *Brunauer Emmett Teller (BET)* dengan pengukuran alat *Quantachrome Instrumen V10.01*.

Uji Adsorpsi

Proses adsorpsi dilakukan dengan sistem kolam yang diaduk selama lama 24 jam dengan bantuan alat *shaker*. Penentuan kandungan thorium dalam larutan awal dan sisa proses adsorpsi dilakukan dengan metode Analisis Aktivasi Neutron (AAN) [8]. Ada tiga parameter proses adsorpsi yaitu; variasi pH larutan dari 1 hingga 10, variasi jumlah adsorben dan variasi konsentrasi thorium.

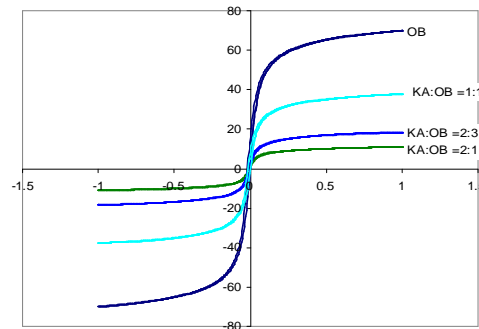


Gambar 1. Data hasil pengukuran XRD dari karbon aktif, komposit dan Fe₃O₄

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 adalah hasil pengukuran *X-Ray Diffractometer (XRD)* dari bahan karbon aktif, komposit oksida besi-karbon aktif dan oksida besi. Oksida besi hasil sintesis mempunyai pola difraksi yang mirip dengan *data base XRD* dari *JCPDS* No katalog 11-0614 yaitu; 18,277(40), 30,105(70); 35,451(100), 43,123(70); 53,478(60), 57,012(85); 62,585(85); 70,967(20);, 74,063(30), yang merupakan jenis mineral magnetite (Fe₃O₄). Hasil sintesis oksida besi ini dipastikan sebagian besar membentuk oksida besi fasa magnetik Fe₃O₄. Sementara pola difraksi karbon aktif mempunyai puncak utama pada 25,02° dan 43,86°. Puncak-puncak difraksi karbon aktif lebar, menunjukkan fasa amorf dari struktur karbon aktif dominan. Setelah karbon aktif dikompositkan dengan oksida besi maka puncak difraksi yang berasal dari karbon aktif hilang dan timbul puncak difraksi baru mengikuti pola difraksi fasa magnetite (Fe₃O₄). Hal ini menunjukkan bahwa pada permukaan struktur karbon aktif telah menempel partikel magnet fasa Fe₃O₄. Semakin banyak fraksi oksida besi Fe₃O₄ dalam komposit maka puncak yang berasal dari oksida besi ini juga semakin tinggi.

Gambar 2 adalah kurva histeresis hasil pengukuran dengan alat *Vibrating Sample Magnetic (VSM)*. Kurva histeresis dari Fe₃O₄ yang dihasilkan menunjukkan pola keteraturan superparamagnetik. Namun demikian, magnetisasi saturasi (Ms) Fe₃O₄ (70,04 emu/g) yang diperoleh lebih rendah dari yang



Gambar 2. Kurva histeresis dari masing-masing nanokomposit hasil pengukuran VSM

seharusnya, dimana magnetisasi saturasi maksimum dari fasa magnetite Fe₃O₄ adalah 92 emu/g [9]. Penurunan ini disebabkan oleh kemungkinan terbentuknya derajat kristalin Fe₃O₄ yang lebih rendah dan terdapatnya impuritas lain non-magnetite dalam struktur Fe₃O₄. Setelah oksida besi dikompositkan dengan karbon aktif, bentuk kurva hysteresis tidak berubah. Hasil ini menunjukkan sifat magnet pola keteraturan superparamagnetik dalam komposit masih tetap dipertahankan. Tetapi, magnetisasi saturasi turun setelah oksida besi dikompositkan dengan karbon aktif. Hal ini disebabkan ada fraksi non magnetik seperti karbon aktif dalam komposit. Semakin tinggi fraksi non magnetik dalam komposit maka magnetisasi saturasi juga semakin turun seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 1.

Tabel 2 adalah hasil pengukuran luas permukaan dari masing-masing sampel menggunakan metode *Brunauer Emmett Teller (BET)*. Karbon aktif mempunyai luas permukaan 1057 m²/g dengan volume pori sebesar 0,966 mL/g, sedangkan oksida besi mempunyai luas permukaan jauh dibawahnya (78,7 m²/g) dengan nilai volume pori 0,453 mL/g. Setelah karbon aktif ini di kompositkan dengan oksida besi nilai luas permukaan dan volume pori menjadi turun. Hal ini disebabkan terjadi pengisian atau penutupan sistim pori karbon aktif oleh oksida besi. Semakin banyak fraksi oksida besi dalam

Tabel 1. Saturasi magnet (Ms) pada 1 tesla dari masing-masing sampel hasil pengukuran VSM

Sampel	Ms (emu/g)
OB	70,04
KA : OB=1 : 1	37,854
KA : OB=3 : 2	18,412
KA : OB=2 : 1	10,946

Tabel 2. Penentuan luas permukaan karbon aktif, komposit dan Fe₃O₄ dengan metode BET

Sampel	Luas Permukaan (m ² /g)	Volume Pori (mL/g)
KA	1057,0	0,966
KA : OB = 2 : 1	580,8	0,604
KA : OB = 3 : 2	488,5	0,550
KA : OB = 1 : 1	376,9	0,453
OB	78,7	0,314

komposit maka semakin banyak pengisian sistem pori karbon aktif maka luas permukaan dan volume pori komposit semakin turun.

Analisis data adsorpsi pada variasi pH ditampilkan hubungan kapasitas adsorpsi terhadap pH larutan. Perhitungan kapasitas adsorpsi menggunakan Persamaan (1) sebagai berikut.

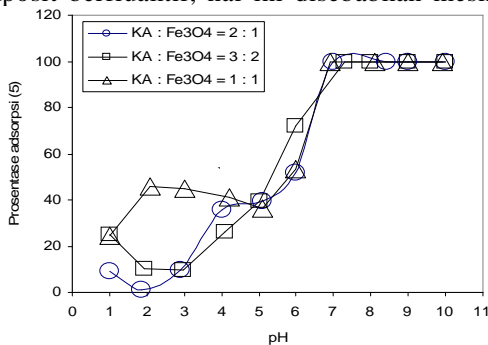
$$\text{Prosentase Adsorption (\%)} = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100\% \quad \dots (1)$$

Dimana,

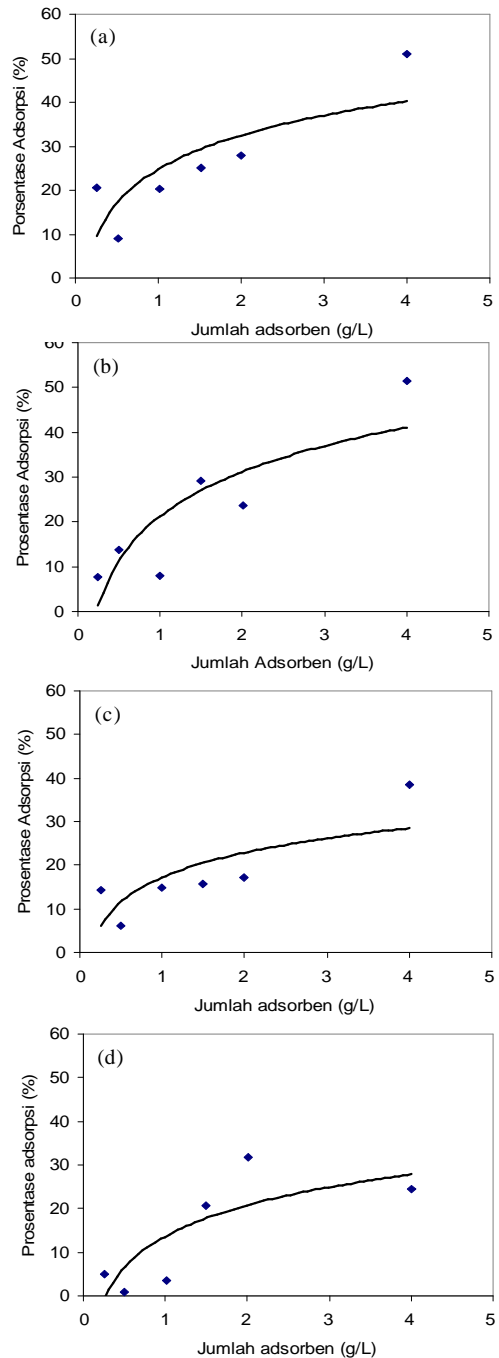
C_o = Konsentrasi awal thorium dalam larutan ($\mu\text{g/mL}$),
 C_t = Konsentrasi akhir thorium dalam larutan setelah proses adsorpsi oleh adsorben ($\mu\text{g/mL}$).

Parameter uji adsorpsi dilakukan pada kondisi konsentrasi awal thorium 200 $\mu\text{g/mL}$, volume larutan 50 mL dan berat adsorben 0,1 gram yang diaduk selama 24 jam pada suhu kamar dengan variasi pH 1 hingga 10. Gambar 4 adalah hasil uji adsorpsi thorium pada variasi pH larutan. Hasil yang diperoleh pada pH rendah 1 hingga 3, prosentase adsorpsi untuk komposit KA : OB = 2 : 1 dan KA : OB = 3 : 2 rendah di bawah 20 %. Namun demikian untuk untuk komposit KA : OB = 1 : 1 lebih baik dengan prosentase adsorbsinya sekitar 40%. Setelah pH dinaikan di atas 4 prosentase adsorpsi naik secara drastis sampai maksimum pada pH larutan mencapai 7. Peningkatan adsorpsi ini disebabkan oleh kelarutan ion thorium dalam air berkurang dengan cepat dengan meningkatnya pH larutan sehingga thorium lebih banyak terserap pada adsorben. Pada pH larutan diatas 7, ion thorium mengalami lewat jenuh membentuk endapan $\text{Th}(\text{OH})_4$ yang kelarutannya sangat kecil dalam air maka *Thorium* terserap mendekati maksimum (mendekati 100 %).

Gambar 5 adalah uji adsorpsi *Thorium* oleh komposit pada variasi jumlah adsorben. Kondisi uji adsorpsi komposit dilakukan pada konsentrasi *Thorium* dan pH larutan tetap tetapi jumlah adsorben dalam larutan divariasikan, yaitu; 0,25 g/L; 0,5 g/L; 1 g/L; 1,5 g/L; 2 g/L dan 4 g/L. Data adsorpsi ditampilkan hubungan antara prosentase adsorpsi dengan variasi jumlah adsorben. Dalam data adsorpsi ini terlihat bahwa prosentase adsorpsi yang dihasilkan untuk semua komposit berfluktuatif, hal ini disebabkan meskipun



Gambar 4. Hasil penyerapan *Thorium* oleh komposit karbon aktif-oksida besi pada variasi pH larutan.



Gambar 5. Hasil penyerapan *Thorium* oleh komposit karbon aktif-oksida besi pada variasi jumlah adsorben (a). karbon aktif, (b). karbon aktif : Fe_3O_4 (2 : 1), (c). karbon aktif : Fe_3O_4 (3 : 2) dan (d). karbon aktif : Fe_3O_4 (1 : 1)

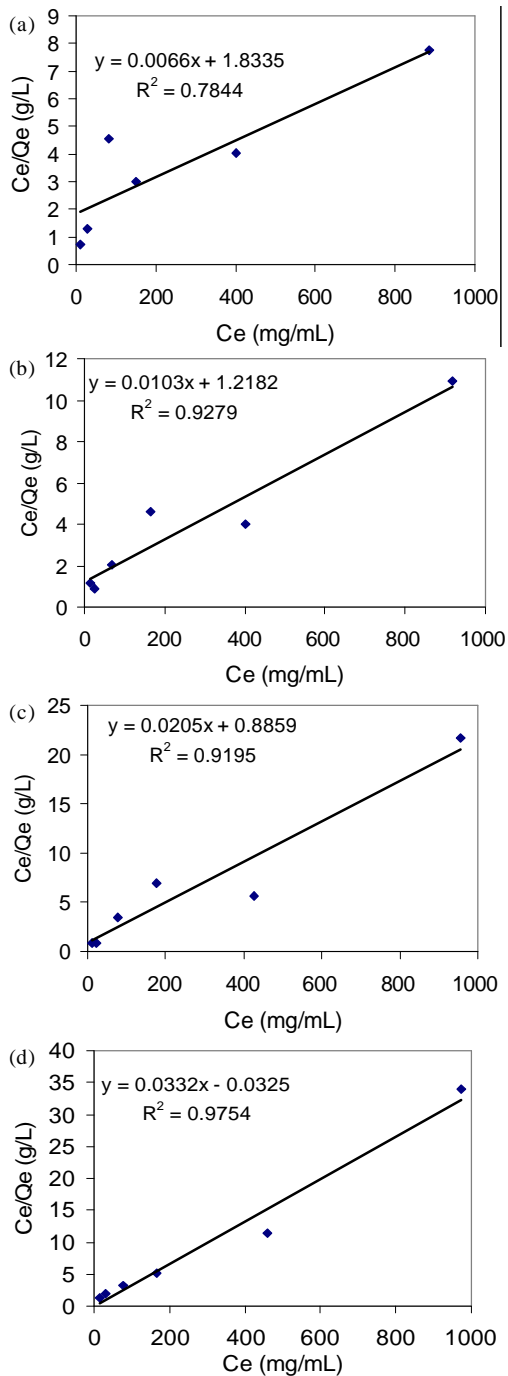
sebelum proses adsorpsi dilakukan, pH larutan telah diatur dengan tepat namun demikian selama proses adsorpsi berlangsung yang sambil diaduk terjadi sedikit perubahan pH larutan. Perubahan pH larutan dalam rentang pH 4-7 sangat mempengaruhi sifat adsorpsi komposit seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 4.

Namun dari hasil eksplotasi data-data ini dapat juga disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi adsorben dalam larutan maka prosentase adsorpsinya

juga meningkat. Hasil ini dihubungkan dengan semakin banyak sisi aktif adsorpsi dengan meningkatnya jumlah adsorben, maka jumlah thorium teradsorpsi juga meningkat. Prosentasi adsorpsi karbon aktif tidak jauh berbeda dengan komposit karbon aktif : $Fe_3O_4 = 2 : 1$. Hasil ini menunjukkan kemungkinan tidak sempurna penutupan sistem pori karbon aktif oleh nanopartikel Fe_3O_4 disamping itu juga Fe_3O_4 ikut andil mengadsorpsi ion thorium, meskipun daya adsorpsi Fe_3O_4 lebih rendah

Tabel 3. Hasil penghitungan Q_{max} dan b dari garis lurus langmuir

Sampel	Q_{max}	b
KA	151,5	0,0036
KA : OB 2:1	97,1	0,0085
KA : OB 3:2	48,8	0,0246
KA : OB 1:1	30,1	-0,0340



Gambar 6. Garis Langmuir dari Thorium oleh adsorben komposit karbon aktif-oksida besi (a). karbon aktif, (b). karbon aktif : Oksida Besi (2 : 1), (c). karbon aktif : Oksida Besi (3 : 2) dan (d). karbon aktif : Oksida Besi (1 : 1)

bila diadung dengan karbon aktif. Semakin meningkat fraksi Fe_3O_4 dalam komposit maka prosentase adsorpsi Th menurun. Hal ini menunjukkan sisi-sisi adsorpsi dari karbon aktif semakin banyak tertutupi oleh Fe_3O_4 , yang mana sejalan dengan penurunan luas permukaan dan volume pori dari komposit.

Analisis adsorpsi isotermal (Q_e) dilakukan terhadap jumlah Thorium yang terserap dalam komposit x/m (mg/g) terhadap konsentrasi Thorium dalam larutan keadaan kesetimbangan (C_e). Data-data adsorpsi isotermal dapat ditampilkan dalam garis lurus Langmuir menggunakan Persamaan (3).

$$Q_e = Q_{max} \cdot \frac{b \cdot C_e}{1 + b \cdot C_e} \quad \dots \dots \dots (3)$$

Persamaan disusun ulang menjadi Persamaan (4)

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_{max} \cdot b} + \frac{C_e}{Q_{max}} \quad \dots \dots \dots (4)$$

Persamaan (4) ini merupakan persamaan garis lurus hubungan C_e/Q_e vs C_e , dengan intersep $1/Q_{max} \cdot b$ dan kemiringannya $1/Q_{max}$. Q_e adalah jumlah Thorium yang terserap per unit adsorben (mg/g), C_e adalah konsentrasi Thorium dalam larutan keadaan setimbang, Q_{max} adalah jumlah kemungkinan maksimum Thorium yang terserap per unit komposit dan b adalah konstanta kesetimbangan yang dihubungkan dengan afinitas ikatan dari Thorium, semakin turun b maka afinitas Thorium terhadap adsorben semakin naik. Dalam Gambar 6 ini terlihat bahwa derajat linieritas dari persamaan garis lurus yang dihasilkan tidak begitu bagus terutama sekali bahan adsorben karbon aktif, dengan derajat linieritasnya yang rendah. hal ini diakibatkan oleh ketidak stabilan dari kation Th di dalam larutan dalam rentang pH yang diberikan. Tabel 3 adalah hasil penghitungan Q_{max} dan b dari garis lurus langmuir. Data ini memperlihatkan, semakin banyak fraksi karbon aktif di dalam komposit maka kapasitas adsorpsinya juga meningkat dan semakin banyak fraksi karbon aktif maka afinitas Thorium terhadap adsorben juga meningkat.

KESIMPULAN

Fe_3O_4 telah menempel secara permanen dalam struktur karbon aktif. Sifat magnet bahan mengikuti pola superparamagnetik. Komposit ini dapat dengan mudah dikumpulkan kembali setelah disebarakan kedalam air

menggunakan batangan magnet sederhana. Uji adsorpsi memperlihatkan, thorium terserap mendekati 100 % pada pH larutan diatas 7. Semakin banyak fraksi karbon aktif dalam komposit maka kapasitas adsorpsinya semakin baik. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa adsorben magnetik komposit oksida besi-karbon aktif dapat digunakan sebagai adsorben alternatif untuk menyerap thorium dalam limbah cair.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai dari DIPA BATAN Tahun Anggaran 2009. Terimakasih kami ucapkan kepada Kepala Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir dan Kepala Bidang Karakterisasi Analisis Nuklir yang telah memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

- [1]. R. DAHN, A.M. SCHIDEGGER, A. MANCEAU, E. CURTI, B. BAEYENS, *J. Colloid and Interface Science*, **249** (2002) 8-21
- [2]. IAEA, Thorium Fuel Cycle-Potential Benefits and Challenges, *IAEA-TECDOC-1450*, (2005)
- [3]. PASCHOA A.S., *Applied Radiation and Isotopes*, **49** (3) (1998) 189-196
- [4]. K.S. WALTON, C.L. CAVALCANTE JR. and M. DOUGLAS LE VAN, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, **23** (2006) 555-561
- [5]. ESSER B.K, W. MCCONACHEL, R. FISCHER, M. SUTTON, S. SZECHENYI, Radiochemical Analyses of the Filter Cake, Granular Activated carbon, and Treated Ground Water from DTSC Stringfellow Superfund Site Pretreatment Plant, *UCRL-TR-215113*, Lawrence Livermore National Laboratory, (2005)
- [6]. TSEZOS M, B. VOLESKY, *Biosorption of Uranium and Thorium, Biotechnology and Bioengineering*, John Wiley & Sons, Inc., **23** (1981), 583-604
- [7]. L.C.A. OLIVEIRA, R.V.R.A. RIOS, J.D. FABRIS, V. GARG, K. SAPAG, R.M. LAGO, *Carbon*, **40** (2002) 2177-2183
- [8]. ADEL FISLI, TH. RINA, ALFIAN, Aplikasi Teknik Analisis Aktivasi Dalam Uji Adsorpsi Suatu Adsorben, *Prosiding Seminar Nasional Analisis Aktivasi Neutron*, Yogyakarta, (2009) 205-208
- [9]. B.D. CULLITY, *Introduction to Magnetite Materials*, Addison-Wesley Publishing Company, London, (1972).