

## PENYERAPAN LOGAM Ni DALAM LARUTAN OLEH NANOKOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -KARBON AKTIF

Siti Wardiyati, Adel Fisli dan Ridwan

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) - BATAN  
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang  
e-mail: siti-war@batan.go.id

### ABSTRAK

**PENYERAPAN LOGAM Ni OLEH NANOKOMPOSIT  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -KARBON AKTIF.** Telah dilakukan penyerapan logam Ni dengan nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -karbon aktif menggunakan sistem *batch*. Penelitian ini dilakukan guna meningkatkan efisiensi penyerapan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  terhadap logam Ni. Dipilih karbon aktif karena bahan ini mempunyai luas permukaan yang cukup besar dan mudah didapat. Parameter yang dipelajari adalah efektivitas adsorpsi nanokomposit terhadap logam Ni dengan berbagai komposisi perbandingan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan karbon dan jumlah adsorben dalam larutan. Penelitian dilakukan dengan waktu kontak 90 menit pada pH larutan 6,0 dan jumlah larutan umpan 50 mL dengan konsentrasi  $\text{Ni}^{2+}$  100 mg/L. Hasil percobaan menunjukkan bahwa perbandingan berat  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  terhadap karbon aktif optimum dicapai pada perbandingan 1 : 2 dengan jumlah berat adsorben 150 mg. Pada kondisi tersebut Ni yang terserap mencapai 78 %. Dengan menggunakan pendekatan persamaan *Langmuir* diperoleh daya serap komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -karbon aktif adalah 50,76 mg/g. Dengan kata lain pembentukan komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -karbon aktif menaikkan daya serap  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang cukup signifikan terhadap logam Ni dari 18,50 mg/g menjadi 50,76 mg/g

**Kata kunci:** Adsorpsi, Nanopartikel,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , Karbon aktif, Logam berat, Ion  $\text{Ni}^{2+}$

### ABSTRACT

**ADSORPTION OF NICKEL II FROM AQUEOUS SOLUTION ONTO NANOCOMPOSITE IRON OXIDE- ACTIVATED CARBON.** Absorption of Ni metal has been carried out by a nanocomposite iron oxide-activated carbon with batch system. Research was conducted in order to improve the efficiency of absorption of Ni metal, that is by making composites  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  with activated carbon. Activated carbon was chosen because the active carbon has pores that are very much. Hence has the surface area is large, and it is easy to obtain. The parameters studied were the effectiveness of nanocomposite adsorption of Ni, with respect to the comparison between the oxides of iron with active carbon in the nanocomposite and the amount of adsorbent Ni in solution. Experiments were conducted with 90 minutes contact time at pH optimum absorption of 6.0 and concentration of  $\text{Ni}^{2+}$  in the feed solution of 100 mg/L. The experimental results showed that the optimum condition is achieved on iron oxide weight ratio of active carbon 1 : 2 with 150 mg adsorbent weight, Ni is absorbed at 78%. In other word, the  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ - activated carbon composite increased the absorption capacity of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  to the metals Ni from 18.50 mg / g to 50.76 mg / g.

**Key words:** Adsorption, Nanoparticle,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , Activated carbon, Heavy metal,  $\text{Ni}^{2+}$  ion

### PENDAHULUAN

Teknologi nano di bidang kedokteran, elektronika dan industri semakin berkembang, tidak ketinggalan pula pengembangan teknologi nano dalam bidang penanganan limbah industri. Penanganan limbah industri ada beberapa cara, salah satu diantaranya dengan metode separasi. Teknologi separasi yang dilakukan pada umumnya menggunakan bahan penyerap berukuran makro dan mikro seperti batu, pasir, resin, zeolit dan lain sebagainya. Dewasa ini mulai dikembangkan bahan penyerap berukuran nano dengan tujuan untuk meningkatkan daya serap dari bahan tersebut sehingga

diperoleh hasil yang optimal. Bahan nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  telah terbukti mempunyai kemampuan serap tinggi terhadap logam berat seperti Hg(II), Pb(II), Cd(II) dan Cu(II) dari dalam air [1,2]. Akan tetapi bahan nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  mempunyai kemampuan serap rendah terhadap logam Ni [2], oleh karena itu perlu dilakukan pembentukan komposit dengan bahan lain agar dapat meningkatkan daya serap  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  terhadap logam Ni seperti karbon aktif.

Karbon aktif merupakan bahan penyerap yang handal [3-8] karena karbon aktif memiliki pori yang sangat

banyak sehingga mempunyai luas permukaan tinggi. Dengan luas permukaan yang tinggi akan mempunyai kapasitas adsorpsi yang tinggi pula. Selain itu karbon aktif mempunyai laju kinetika adsorpsi sangat cepat. Luas permukaan karbon aktif berkisar antara 300 m<sup>2</sup>/g hingga 3500 m<sup>2</sup>/g [3]. Bahan karbon aktif ini mudah diperoleh karena bahan ini dapat dibuat dari berbagai bahan atau limbah pertanian yang mengandung karbon, seperti tempurung kelapa, bijih kopi, kulit buah-buahan, serbuk gergaji, batu bara, dan tulang [5,6].

Pembentukan komposit nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif diharapkan akan meningkatkan efisiensi penyerapan atau daya serap komposit terhadap ion Ni. Perbandingan bahan pembentuk komposit sangat menentukan kemampuan serap komposit, karena perbandingan komposisi bahan pembentuk komposit akan menentukan luas permukaan komposit yang dihasilkan. Selain itu komposisi bahan pembentuk komposit juga akan berpengaruh terhadap nilai *pH point of zero charge* bahan komposit yang dihasilkan. *pH point of zero charge* adalah nilai pH pada titik temu antara garis lurus dari kurva pH awal terhadap pH akhir ( pada nilai pH awal sama dengan pH akhir) dengan pH akhir larutan (umpan) yang telah digunakan untuk merendam adsorben selama 48 jam. Pada nilai pH tersebut adsorben tidak lagi memberikan kontribusi terhadap perubahan pH [7,8].

Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh perbandingan komposisi antara Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan karbon aktif terhadap kemampuan serap komposit yang dihasilkan khususnya terhadap logam Ni

## METODE PERCOBAAN

### Bahan

Bahan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil sintesis secara presipitasi dari bahan dasar FeCl<sub>3</sub> dan FeCl<sub>2</sub> yang direaksikan dengan NaOH. Bahan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> hasil sintesis ini mempunyai ukuran sekitar 100 nm, sedangkan karbon aktif diperoleh dari Sigma Aldrich berupa serbuk dengan ukuran < 100 µm. Sebagai larutan umpan digunakan larutan Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O. Bahan lain yang digunakan adalah HNO<sub>3</sub> produk Aldrich, dan air demineralisasi.

### Alat

Peralatan yang digunakan untuk proses penyerapan logam Ni oleh nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif adalah *rolling* hasil rakitan PTLR-BATAN, pH meter merek IKA untuk mengatur pH larutan, dan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) Perkin Elmer tipe Analyst 400 yang ada di PTLR-BATAN untuk analisis ion Ni<sup>2+</sup>, *Brunauer Emmet Teller* (BET) untuk mengukur luas permukaan dan peralatan umum lainnya seperti timbangan analitik dan peralatan gelas.

## Cara Kerja

Percobaan penyerapan logam Ni menggunakan nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif dengan perbandingan sebesar 1 : 1, 1 : 2, dan 1 : 3. Sebelum dilakukan penyerapan logam Ni oleh nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif, dilakukan percobaan penyerapan logam Ni oleh karbon aktif terlebih dahulu guna mengetahui daya serap karbon aktif terhadap logam Ni. Penyerapan logam Ni oleh nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif dilakukan secara *batch* dengan mencampurkan 50 mL larutan umpan Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (konsentrasi Ni<sup>2+</sup> 100 mg/L) dengan berbagai komposisi bahan penyerap dalam jumlah bervariasi 50 mg, 75 mg, 100 mg, 125 mg, 150 mg dan 200 mg ke dalam botol, kemudian diputar menggunakan *rolling* selama 90 menit. Setelah proses penyerapan selesai, bahan penyerap dipisahkan dengan bantuan magnet permanen, dan selanjutnya filtrat dianalisis kandungan ion Ni<sup>2+</sup> dengan menggunakan alat AAS. Data hasil analisis dengan AAS berupa konsentrasi Ni dalam filtrat. Dari data tersebut dapat dicari jumlah Ni yg terserap oleh adsorben atau efisiensi penyerapan dengan rumus sesuai Persamaan (1)

$$\text{Efisiensi penyerapan (\%)} = \frac{[\text{Ni}]_{\text{awal}} - [\text{Ni}]_{\text{akhir}}}{[\text{Ni}]_{\text{awal}}} \times 100 \% \quad (1)$$

Dimana:

[Ni]<sub>awal</sub> = Konsentrasi Ni mula-mula dalam larutan umpan

[Ni]<sub>akhir</sub> = Konsentrasi Ni pada larutan setelah proses penyerapan

Sedangkan untuk menentukan kapasitas serap maksimum digunakan dengan pendekatan persamaan *Langmuir* seperti Persamaan (2) [2,7]:

$$\frac{C_e}{q} = \frac{1}{Q^o K} + \frac{C_e}{Q^o} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

C<sub>e</sub> = Konsentrasi ion logam (Ni) dalam larutan pada kesetimbangan (mg/L)

q = Jumlah ion logam (Ni) yang teradsorpsi per satuan massa adsorben (mg/g)

Q<sup>o</sup> = Kapasitas serap monolayer *Langmuir*

K = Konstanta *isotherm Langmuir* sehubungan dengan intensitas adsorpsi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan penyerapan logam Ni pada penelitian ini dilakukan pada pH 6,0 hal ini selain mengacu percobaan sebelumnya [2] juga berdasarkan penentuan *pH point of zero charge* adsorben. *pH point of zero charge* adalah pH suspensi adsorben, dimana gugus

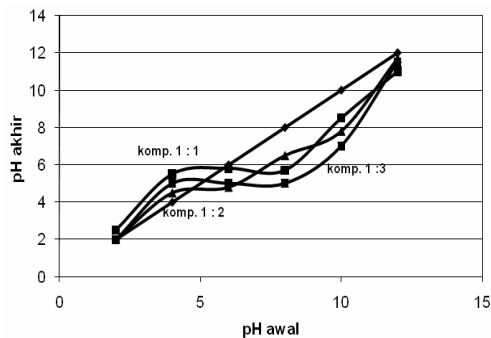
fungsional asam atau basa dari adsorben tidak berkontribusi terhadap pH suspensi [7].

### Penentuan *pH Point of Zero Charge*

Nilai *pH point of zero charge (pHpzc)* adalah nilai *point* pada titik temu antara garis lurus dari kurva pH awal terhadap pH akhir ( pada nilai pH awal = pH akhir) dengan pH akhir dari larutan yang digunakan untuk perendaman adsorben selama 48 jam [7,8]. Untuk menentukan *pH point of zero charge* dilakukan percobaan terhadap masing-masing adsorben dengan cara mencampurkan 50 mL larutan umpan pada pH 2, pH 4, pH 6, pH 8, pH 10 dan pH 12 dengan adsorben sejumlah 150 mg, kemudian diaduk selama 1 jam dan didiamkan selama 48 jam, selanjutnya pH akhir dari masing-masing percobaan diukur [7]. Hasil pengukuran di *plot* pada kurva garis lurus dimana pH awal sama dengan pH akhir. Nilai pH akhir dari ketiga jenis komposit dari hasil percobaan ditunjukkan pada Gambar 1.

Dari Gambar 1. menunjukkan nilai *pH point of zero charge* masing-masing komposit yang merupakan titik temu antara kurva garis lurus dengan kurva perubahan pH (kurva gelombang) masing-masing komposit yang selanjutnya dapat dituliskan pada Tabel 1. Kurva garis lurus adalah kurva nilai pH awal sama dengan nilai pH akhir, sedangkan kurva gelombang merupakan kurva perubahan nilai pH larutan sebelum dan sesudah perendaman adsorben.

Bila nilai pH diatas *pH point of zero charge*, permukaan adsorben memiliki muatan negatif, akan tetapi jika nilai pH dibawah *pH point of zero charge*, permukaan adsorben memiliki muatan positif [10]. Karena Nikel bermuatan positif maka penyerapan akan terjadi pada pH diatas *pH point of zero charge* yaitu ke arah asam lemah atau basa. Dengan melihat nilai *pH point of zero charge* masing-masing komposit yang ditunjukkan pada Tabel 1, menunjukkan bahwa pH percobaan pada proses penyerapan ion Ni oleh ketiga jenis komposit tersebut akan optimal diatas pH 5,8 dan dibawah 7,0 karena pada pH diatas 7,0 larutan Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> yang merupakan sampel pada percobaan ini akan menjadi keruk akibat terbentuknya endapan Ni(OH)<sub>2</sub>.



Gambar 1. Nilai *pH point of zero charge* komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif

Tabel 1. Nilai *pHpzc* komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-arang aktif dengan variasi perbandingan berat Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif

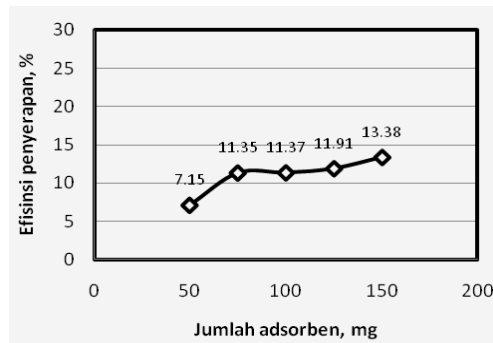
No.	Perbandingan Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> - arang aktif	Nilai pH <sub>pzc</sub>
1.	1 : 1	5,8
2.	1 : 2	4,8
3.	1 : 3	5,0

### Penyerapan Logam Ni oleh Karbon Aktif

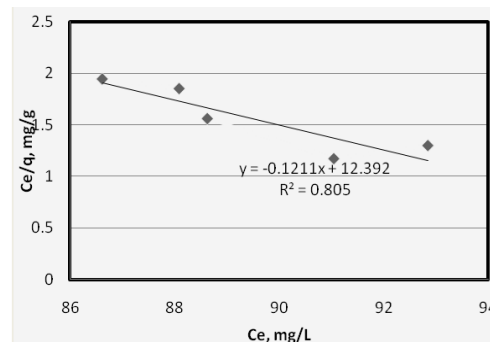
Tingkat efisiensi penyerapan karbon aktif terhadap logam Ni dalam larutan dapat dilihat pada Gambar 2, terlihat bahwa bertambahnya jumlah adsorben kenaikan efisiensi penyerapan tidak begitu nyata. Pada jumlah adsorben 150 mg, efisiensi penyerapan mencapai 13,38 %. Kondisi yang sama efisiensi penyerapan ion Ni<sup>2+</sup> oleh karbon aktif tersebut lebih rendah dibanding penyerapan ion Ni<sup>2+</sup> oleh oksida besi, yaitu 20,91 %. Daya serap (Q<sup>o</sup>) karbon aktif ditentukan dengan pendekatan persamaan *Langmuir* seperti Persamaan 2. Nilai besaran Q<sup>o</sup> adalah berbanding terbalik dengan *slope* garis lurus dari persamaan linier yang diperoleh. Berdasarkan persamaan garis lurus pada Gambar 3, diperoleh kapasitas serap karbon aktif terhadap ion Ni<sup>2+</sup> adalah 8,25 mg/g.

### Penyerapan Ion Ni oleh Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Karbon Aktif

Proses penyerapan ion Ni<sup>2+</sup> dari dalam larutan dengan menggunakan sistem komposit dilakukan sama



Gambar 2. Penyerapan logam Ni oleh karbon aktif pada [Ni<sup>2+</sup>] dalam 50 mL larutan umpan 100 mg/L, pH larutan 6,0 dan waktu kontak 90 menit



Gambar 3. Plot adsorpsi *isotherm Langmuir* ion Ni<sup>2+</sup> oleh karbon aktif

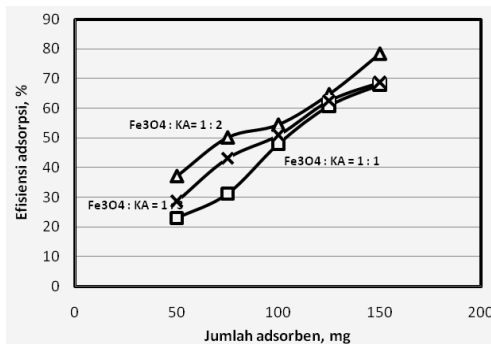
dengan kondisi pada penyerapan ion Ni<sup>2+</sup> oleh karbon aktif seperti tersebut diatas maupun Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> [2]. Data hasil analisis efisiensi penyerapan logam Ni oleh sistem komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif dengan berbagai komposisi dapat dilihat pada Gambar 4.

Pada Gambar 4. terlihat jelas bahwa komposisi perbandingan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan karbon aktif mempengaruhi efisiensi penyerapan. Pada perbandingan 1 : 1 dengan jumlah adsorben 150 mg, efisiensi penyerapan maksimum 68 %. Hasil ini hampir sama dengan adsorben pada perbandingan 1 : 3, sedangkan pada adsorben dengan perbandingan 1 : 2 efisiensi penyerapan lebih tinggi yaitu mencapai 78 %. Daya serap dari masing-masing komposit tersebut dapat dihitung dengan pendekatan persamaan *Langmuir* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

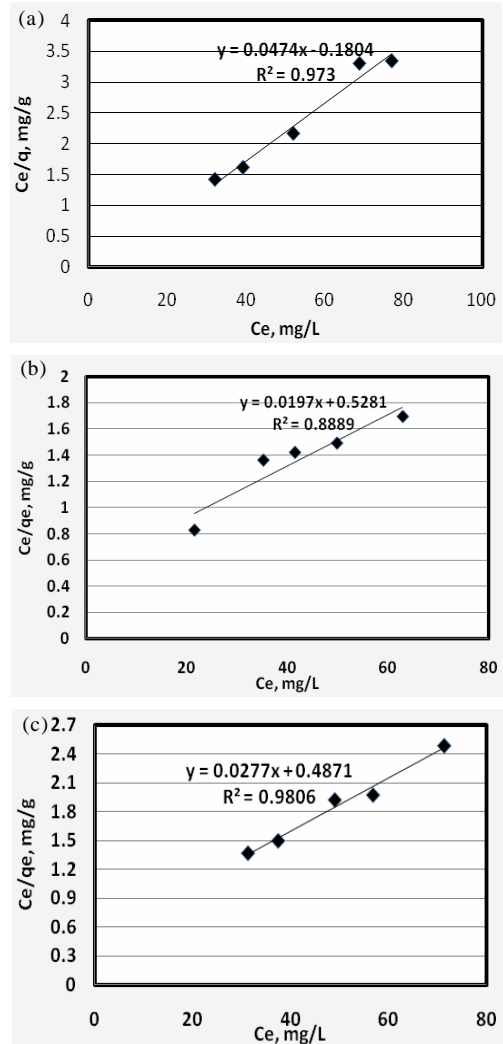
Seperti pada penyerapan logam Ni oleh karbon aktif, daya serap (Q<sup>o</sup>) untuk masing masing jenis komposit ditentukan dengan pendekatan persamaan *Langmuir*. Nilai besaran Q<sup>o</sup> untuk masing-masing komposit ditunjukkan seperti pada Tabel 1.

Pada Tabel 2 terlihat jelas bahwa dengan pembentukan komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif menaikkan daya serap yang cukup signifikan. Daya serap Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan karbon aktif terhadap ion Ni<sup>2+</sup> masing-masing dari 18,52 mg/g dan 8,25 mg/g naik menjadi 50,764 mg/g pada komposisi 1 : 2. Hasil ini lebih tinggi bila dibandingkan dengan percobaan peneliti lain yang memberikan kemampuan serap 38,3 mg/g [9]. Seperti halnya nilai efisiensi penyerapan ion Ni<sup>2+</sup> oleh komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>- karbon aktif, daya serap komposit tertinggi dicapai pada perbandingan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif 1 : 2. Komposisi perbandingan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif mempengaruhi daya serap komposit, hal ini disebabkan karena luas permukaan nanokomposit untuk masing-masing komposisi berbeda.

Pada umumnya nanokomposit dengan luas permukaan lebih besar mempunyai efisiensi penyerapan lebih tinggi. Nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif dengan perbandingan 1 : 2 diduga mempunyai luas permukaan lebih tinggi dibandingkan dengan nanokomposit 1 : 1 maupun 1:3. Hasil pengukuran luas permukaan nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>- karbon aktif untuk masing-masing komposisi dengan menggunakan analisis *BET* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Penyerapan Ni oleh komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif pada [Ni<sup>2+</sup>] dalam 50 mL larutan umpan 100 mg/L. pH 6,0 dan waktu kontak 90 menit

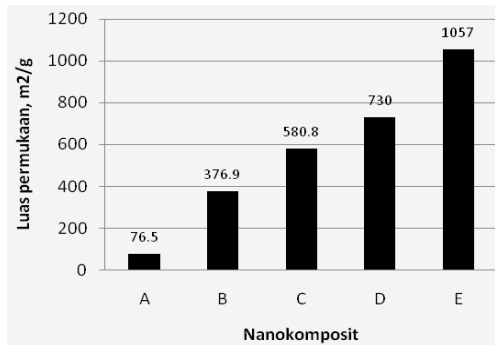


Gambar 5. Plot adsorpsi isotherm Langmuir ion Ni<sup>2+</sup> pada berbagai perbandingan komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif. (a) 1 : 1; (b) 1 : 2 dan (c) 1 : 3

Pada Gambar 6. terlihat karbon aktif mempunyai luas permukaan paling tinggi diantara bahan lainnya (1057 m<sup>2</sup>/g), diikuti nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif dengan perbandingan 1 : 3 (730 m<sup>2</sup>/g), nanokomposit 1 : 2 (580,8 m<sup>2</sup>/g), nanokomposit 1 : 1 (376,9 m<sup>2</sup>/g) dan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (76,5 m<sup>2</sup>/g). Nanokomposit yang mempunyai daya serap tertinggi terhadap logam Ni adalah nanokomposit dengan perbandingan 1 : 2. Dengan demikian adsorben yang mempunyai luas permukaan spesifik lebih besar belum tentu memberikan hasil efisiensi penyerapan atau daya serap lebih tinggi dibandingkan dengan adsorben

Tabel 2. Kapasitas serap komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif terhadap ion Ni<sup>2+</sup> pada berbagai perbandingan

No.	Jenis komposit, Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> : karbon aktif	Konstanta isotherm Langmuir (K)	Regresi linier, R	Slope, 1/ Q <sub>o</sub>	Kapasitas serap (Q <sub>o</sub> ), mg/g
1.	0: 1	12.392	0.805	0.1211	8,25
2.	1 : 0	0,9778	0,9919	0,05399	18,52
3.	1 : 1	0,0103	0,973	0,0474	21,097
4.	1 : 2	0,0424	0,8899	0,0197	50,764
5.	1 : 3	0,0487	0,9806	0,0277	36,101



**Gambar 6.** Hasil pengukuran Luas permukaan nanokompomposit pada berbagai perbandingan dengan BET. A = Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, B = 1 : 1, C = 1 : 2, D = 1 : 3 dan E = karbon aktif

yang mempunyai luas permukaan spesifik lebih kecil. Dari pernyataan diatas belum membuktikan adanya pengaruh luas permukaan spesifik terhadap daya serap adsorben, maka ada kemungkinan luas permukaan efektif yang mempengaruhi daya serap adsorben.

Hal ini dapat digambarkan bahwa dengan pembentukkan komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif, karbon aktif akan mengisi ruangan diantara partikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> sehingga luas permukaan efektif adsorben akan naik. Pada komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif dengan perbandingan 1 : 2 mempunyai luas permukaan efektif lebih besar dibandingkan komposit dengan perbandingan 1 : 1 dan 1 : 3, karena pada komposisi 1 : 1, masih ada ruangan diantara partikel yang belum memasukkan karbon aktif sehingga luas permukaan efektif lebih rendah. Sedang pada komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif dengan perbandingan 1 : 3, jumlah Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> berkurang sehingga luas permukaan berkurang.

## KESIMPULAN

Dari percobaan diatas disimpulkan bahwa pembentukkan komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif dapat menaikkan daya serap adsorben Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang cukup signifikan terhadap logam Ni, yaitu dari 18,52 mg/g menjadi 50,76 mg/g pada komposisi perbandingan antara Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> terhadap karbon aktif 1 : 2. Kenaikkan ini disebabkan oleh peningkatan luas permukaan spesifik

tetapi lebih dikarenakan peningkatan luas permukaan efektif Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> atau faktor lain yang perlu dikaji lebih lanjut.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung penelitian ini. Penelitian ini didanai oleh program Block Grant DIKTI-BATAN 2009, Nomer Surat Perjanjian 293/SP.PP/DP2M/V/2009, 06545/KS.00.01/V/2009.

## DAFTAR ACUAN

- [1]. J. F. LIU, Z. S. ZHAO, G. B. JIANG, *Environ. Sci. Technol.*, **42**(18) (2008) 6949-54
- [2]. SITI WARDIYATI, GRACE TJ. SULUNG BUDI, dan RIDWAN, *Journal Sains Materi Indonesia*, **11**(2) (2010) 83-87
- [3]. M. AJMAL, A. M. SULAIMAN and A. H. KHAN, *Journal Water, Air, & Soil Pollution*, **68** (3-4) (1993)485-492
- [4]. R. WIJAYANTI, Arang aktif dari ampas tebu sebagai adsorben pada pemurnian minyak, *Skripsi Sarjana Sains Departemen Kimia, FMIPA-IPB* (2009)
- [5]. M. L. MANTINEZ, L. MOIRAGHI, M. AGNESE, C. GUZMAN, *Journal Argentine Chemical Society*, **91** (4/6) (2003) 103-108
- [6]. STEVE KVECH and ERIKA TULL, *Activated Carbon, Water Treatment Primer, Ce 4124 : Enviromental Information Management, Civil Engineering Dept., Virginia Tech*, (1998)
- [7]. V. VIJAYAKUMARAN, S. ARIVOLI, and S. RAMUTHAI, *Journal Chemistry India*, **6**(S1) (2009)347-357
- [8]. S. H. BYON, D. KAVITHA, K. M. PONVEL, K.M. KIM and C. H. LEE, *Korean Journal Hem. Eng.*, **26**(6) (2009) 1748-1753
- [9]. P. PANNEERSELVAM, N. MORAD, K. A. TAN, *Journal of Hazardous Materials*, **186** (2011) 160-168