

## ADSORPSI ION $Pb^{2+}$ DAN $Ni^{2+}$ OLEH NANOPARTIKEL $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$

Siti Wardiyati, Grace Tj. Sulungbudi dan Ridwan

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN)-BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang

e-mail : siti-war@batan.go.id

### ABSTRAK

**ADSORPSI ION  $Pb^{2+}$  dan  $Ni^{2+}$  OLEH NANOPARTIKEL  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$ .** Telah dilakukan studi adsorpsi ion logam berat  $Pb^{2+}$  dan  $Ni^{2+}$  oleh nanopartikel  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$  hasil sintesis secara presipitasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui daya serap nanopartikel  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$  murni terhadap ion logam berat  $Pb^{2+}$  dan  $Ni^{2+}$ . Parameter yang divariasikan adalah pH larutan, waktu adsorpsi dan konsentrasi  $Pb^{2+}$  dalam larutan umpan  $Pb(NO_3)_2$  dan  $Ni^{2+}$  dalam larutan umpan  $Ni(NO_3)_2$ . Penentuan jumlah ion yang teradsorpsi diukur menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Kondisi optimum adsorpsi terjadi pada pH larutan umpan = 6,0, waktu adsorpsi = 90 menit hingga 120 menit dan konsentrasi larutan =  $Pb^{2+}$  50 mg/L dan  $Ni^{2+}$  25 mg/L dengan 50 mg adsorben. Efisiensi adsorpsi pada kondisi optimum mencapai 100% untuk  $Pb^{2+}$  maupun  $Ni^{2+}$  dengan kapasitas serap masing-masing adalah 37,73585 mg/g dan 18,51852 mg/g adsorben.

**Kata kunci :** Adsorpsi, Nanopartikel,  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$ , Ion  $Ni^{2+}$ , Ion  $Pb^{2+}$

### ABSTRACT

**ADSORPTION OF  $Pb^{2+}$  AND  $Ni^{2+}$  IONS BY  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$  NANOPARTICLE.** Adsorption of  $Pb^{2+}$  and  $Ni^{2+}$  heavy metal ion by precipitated  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$  was carried out. The purpose of this study is to determine adsorption capacity of  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$  nanoparticle on  $Pb^{2+}$  and  $Ni^{2+}$  heavy metal ions. The varied parameters are pH solution, adsorption time and concentration of  $Pb^{2+}$  and  $Ni^{2+}$  in feed solution. Adsorbed ions were analyzed by using AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer). The optimal condition is feed solution at pH 6.0 with adsorption time of 90 minutes to 120 minutes and feed solution concentration of 50 mg/L for  $Pb^{2+}$  and 25 mg/L for  $Ni^{2+}$  onto 50 mg adsorbent. The adsorption efficiency on optimum condition is 100% for  $Pb^{2+}$  and  $Ni^{2+}$  with adsorption capacity of 37.73585 mg/g and 18.51852 mg/g adsorbent respectively.

**Key words :** Adsorption, Nanoparticle,  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$ ,  $Ni^{2+}$  ion,  $Pb^{2+}$  ion

### PENDAHULUAN

Permasalahan limbah di negara yang sedang berkembang seperti Indonesia belum ditangani secara serius. Hal ini disebabkan belum adanya kesadaran dari pihak industri dan didukung oleh lemahnya aparat yang berwenang menangani permasalahan ini. Permasalahan limbah akan terselesaikan dengan adanya penanganan yang serius oleh pihak-pihak terkait. Penelitian tentang penanganan limbah, baik itu limbah radioaktif ataupun non radioaktif telah dilakukan oleh beberapa peneliti [1-4]. Limbah industri merupakan salah satu jenis limbah yang perlu diperhatikan karena limbah tersebut biasanya mengandung logam berat yang berbahaya bagi kehidupan manusia, seperti logam Pb, Ni, Zn, Cr dan Cd.

Logam Pb dan Ni merupakan unsur yang terkandung dalam limbah proses *electroplating* dari suatu industri pelapisan material. Mengingat bahaya unsur-unsur tersebut terhadap kehidupan manusia maka

perlu dilakukan penyerapan atau pengambilan logam berat tersebut terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Logam Ni dan senyawanya merupakan bahan karsinogenik yang bisa mengakibatkan kematian terhadap manusia. Senyawa Ni dalam bentuk Ni-sulfida akan menyebabkan kanker paru-paru, kanker rongga hidung dan juga bisa terjadi kanker pita suara. Menurut baku mutu yang diizinkan, kadar Ni dalam limbah cair adalah 1,0 mg/L [5]. Sedangkan Pb akan menimbulkan gangguan pada saraf perifer dan sentral, sel darah, gangguan metabolisme vitamin D dan kalsium sebagai unsur pembentuk tulang dan gangguan ginjal. Unsur Pb juga dapat menembus plasenta sehingga mempengaruhi pertumbuhan janin [6]. Menurut baku mutu yang diizinkan kadar Pb dalam air lingkungan 0,03 mg/L [6].

Ada beberapa metode pengolahan limbah, salah satu diantaranya metode pengolahan limbah (yang

banyak digunakan) adalah dengan sistem penukar ion. Pengolahan limbah dengan sistem penukar ion menggunakan bahan penukar ion atau bahan penyerap seperti resin penukar ion, zeolit dan bentonit. Pada kesempatan ini dilakukan pengolahan limbah yang mengandung ion  $Pb^{2+}$  dan  $Ni^{2+}$  dengan menggunakan bahan penyerap  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$  yang bersifat magnet. Penggunaan bahan penyerap yang bersifat magnet ini mempunyai kelebihan yaitu proses penyaringan setelah proses penyerapan selesai tidak diperlukan atau ditiadakan, sehingga dapat mempersingkat waktu proses penyerapan.

Proses penyerapan atau adsorpsi ion  $Pb^{2+}$  dan  $Ni^{2+}$  oleh  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$  mengikuti model reaksi penukar ion antara logam dengan permukaan proton hidroksil. Penyerapan ion logam tersebut dibagi dalam dua proses yaitu : (1) deprotonisasi permukaan hidroksil dan (2) pertukaran ikatan ion logam ( $Pb^{2+}$  dan  $Ni^{2+}$ ) dengan proton hidroksil [7]. Pada penelitian ini analisis kandungan  $Pb^{2+}$  dan  $Ni^{2+}$  dalam filtrat dilakukan dengan menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)*.

## METODE PERCOBAAN

### Bahan

Bahan yang digunakan adalah  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$ ,  $Pb(NO_3)_2$ ,  $Ni(NO_3)_2$ ,  $HNO_3$  dan air demineralisasi.  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$  merupakan hasil proses presipitasi dari bahan dasar  $FeCl_3$  dan  $FeCl_2$  yang direaksikan dengan  $NaOH$  dengan ukuran sekitar 100 nm [8].

### Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk proses penyerapan logam  $Pb$  dan  $Ni$  adalah *rolling* untuk proses penyerapan, pH meter untuk mengatur pH larutan dan *Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)* Perkin Elmer tipe *Analyst 400* untuk analisis ion  $Pb^{2+}$  dan  $Ni^{2+}$  dan peralatan umum lainnya seperti timbangan analitik dan peralatan gelas.

### Cara Kerja

Percobaan penyerapan logam  $Pb$  dan  $Ni$  oleh  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$  dilakukan secara *batch* atau dengan menggunakan *rolling* atau alat putar buatan PTPLR. Sebagai larutan umpan digunakan larutan  $Pb(NO_3)_2$  dengan konsentrasi  $Pb^{2+}$  bervariasi dari 25 mg/L hingga 200 mg/L dan larutan  $Ni(NO_3)_2$  dengan konsentrasi  $Ni^{2+}$  bervariasi dari 25 mg/L hingga 200 mg/L. Proses penyerapan dilakukan dengan mencampurkan larutan umpan  $Pb(NO_3)_2$  atau  $Ni(NO_3)_2$  dengan bahan penyerap  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$ , kemudian diputar dengan menggunakan *rolling* selama waktu tertentu (bervariasi dari 30 menit hingga 180 menit). Setelah proses penyerapan selesai, bahan penyerap yang telah menyerap ion dipisahkan

dari larutan dengan bantuan magnet permanen, dan selanjutnya filtrat diambil dan dianalisis kandungan ion  $Pb^{2+}$  atau  $Ni^{2+}$ -nya dengan menggunakan alat AAS. Parameter yang dipelajari adalah pengaruh pH larutan umpan, waktu adsorpsi dan konsentrasi larutan umpan terhadap efisiensi adsorpsi.

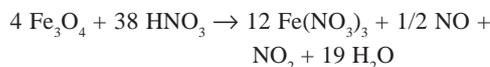
Hasil percobaan studi adsorpsi  $Fe_3O_4$  terhadap logam  $Pb$  dan  $Ni$  dibahas sebagai berikut. Efisiensi adsorpsi dihitung berdasarkan Persamaan (1) :

$$\text{Efisiensi adsorpsi (\%)} = \frac{[Pb]_{\text{awal}} - [Pb]_{\text{akhir}}}{[Pb]_{\text{awal}}} \times 100\% \dots (1)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

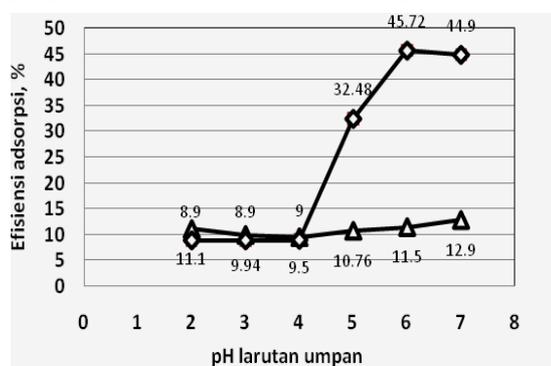
### Pengaruh pH Larutan Umpan Terhadap Efisiensi Adsorpsi

Pengaruh pH larutan umpan terhadap efisiensi adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 1. Pada gambar tersebut terlihat bahwa pada pH asam yaitu pada  $pH \leq 4,0$  efisiensi adsorpsi rendah, baik untuk logam  $Pb$  ataupun  $Ni$ . Hal ini disebabkan karena pada pH rendah  $Fe_3O_4$  akan pecah atau larut membentuk  $Fe(NO_3)_3$ , dengan reaksi sebagai berikut [9]:



Pada pH diatas 4,0 maka kenaikan pH akan menaikkan efisiensi adsorpsi, karena kestabilan  $Fe_3O_4$  semakin bertambah. Dengan kenaikan kestabilan  $Fe_3O_4$ , reaksi diatas akan semakin berkurang atau tidak terjadi, sehingga jumlah adsorben  $Fe_3O_4$  tidak mengalami pengurangan dan proses penyerapan akan berjalan semakin sempurna atau optimal.

Proses penyerapan  $Pb^{2+}$  dan  $Ni^{2+}$  ini dibatasi sampai pH netral yaitu 7,0 karena pada pH basa kedua



Gambar 1. Pengaruh pH larutan umpan terhadap efisiensi adsorpsi pada konsentrasi  $Pb^{2+}$  dan  $Ni^{2+}$  100 mg/L, jumlah larutan umpan 50 mL, jumlah adsorben 50 mg dan waktu adsorpsi 90 menit

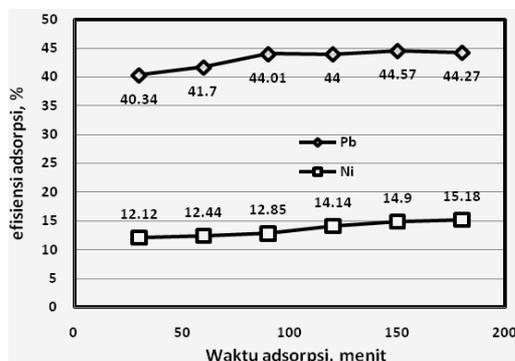
**Tabel 1.** Hasil kali kelarutan  $Pb(OH)_2$  dan  $Ni(OH)_2$  (hasil perhitungan) dengan konsentrasi  $Pb^{2+}$  dan  $Ni^{2+}$  (media nitrat) 100 mg/L pada berbagai pH

pH larutan	Hasil kali kelarutan $Ni(OH)_2$ pada $[Ni^{2+}]$ , 100 ppm	Hasil kali kelarutan $Pb(OH)_2$ pada $[Pb^{2+}]$ , 100 ppm
1,0	$1,7 \times 10^{-26}$	$0,48 \times 10^{-26}$
2,0	$1,7 \times 10^{-24}$	$0,48 \times 10^{-24}$
3,0	$1,7 \times 10^{-22}$	$0,48 \times 10^{-22}$
4,0	$1,7 \times 10^{-20}$	$0,48 \times 10^{-20}$
5,0	$1,7 \times 10^{-18}$	$0,48 \times 10^{-18}$
6,0	$1,7 \times 10^{-16}$	$0,48 \times 10^{-16}$
7,0	$1,7 \times 10^{-14} > K_{sp}$ . $Ni(OH)_2$	$4,8 \times 10^{-13} > K_{sp}$ . $Pb(OH)_2$

unsur tersebut membentuk endapan. Hal ini bisa ditunjukkan dari nilai hasil kelarutan ( $K_{sp}$ ) dari  $Pb^{2+}$  dan  $Ni^{2+}$  yaitu  $3 \times 10^{-16}$  untuk  $Pb(OH)_2$  dan  $6 \times 10^{-16}$  untuk  $Ni(OH)_2$  [10]. Pada pH 7,0 hasil kali kelarutan  $Pb^{2+}$  dan  $Ni^{2+}$  lebih besar dari nilai  $K_{sp}$  (Tabel 1), sehingga endapan  $Pb(OH)_2$  dan  $Ni(OH)_2$  mulai terbentuk. Dengan terbentuknya endapan tersebut efisiensi adsorpsi yang diperoleh bukan hanya karena terjadinya pengikatan ion  $Pb^{2+}$  atau  $Ni^{2+}$  oleh oksida besi saja, akan tetapi juga karena terbentuknya endapan  $Pb(OH)_2$  atau  $Ni(OH)_2$  yang menyebabkan kandungan  $Pb^{2+}$  atau  $Ni^{2+}$  dalam filtrat berkurang.

### Pengaruh Waktu Adsorpsi Terhadap Efisiensi Adsorpsi

Waktu adsorpsi berpengaruh terhadap efisiensi adsorpsi, seperti terlihat pada Gambar 2. Pada gambar tersebut terlihat bahwa pada awalnya kenaikan waktu adsorpsi (*rolling*) akan menaikkan efisiensi adsorpsi ion  $Pb^{2+}$ . Setelah 90 menit, tidak ada lagi kenaikan efisiensi adsorpsi yang berarti. Demikian juga untuk  $Ni^{2+}$  mengalami hal yang sama pada waktu adsorpsi di atas 120 menit, kenaikan waktu adsorpsi tidak memberikan kenaikan efisiensi yang berarti. Hal tersebut disebabkan karena bahan penyerap telah jenuh, sehingga meskipun waktu diperpanjang tidak akan mempengaruhi efisiensi



**Gambar 2.** Pengaruh waktu adsorpsi terhadap efisiensi adsorpsi pada konsentrasi  $Pb^{2+}$  dan  $Ni^{2+}$  100 mg/L, pH larutan 6,0, jumlah larutan umpan 50 mL, dan jumlah adsorben 50 mg

adsorpsi. Dari percobaan pengaruh waktu adsorpsi terhadap efisiensi adsorpsi dapat disimpulkan bahwa waktu adsorpsi optimum dengan pengadukan *rolling* untuk ion  $Pb^{2+}$  adalah 90 menit sedangkan untuk ion  $Ni^{2+}$  120 menit.

### Pengaruh Konsentrasi Pb dan Ni dalam Larutan Umpan Terhadap Efisiensi Adsorpsi

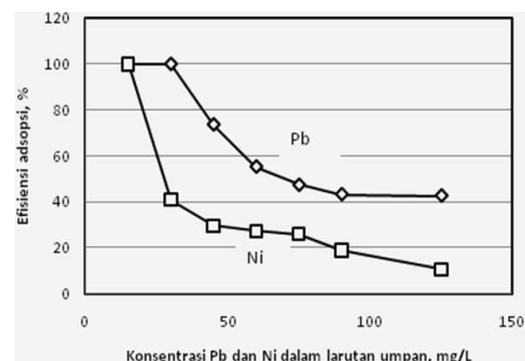
Pengaruh konsentrasi ion  $Pb^{2+}$  dan ion  $Ni^{2+}$  dalam larutan umpan terhadap efisiensi penyerapan ditunjukkan pada Gambar 3. Pada gambar tersebut terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi ion  $Pb^{2+}$  ataupun  $Ni^{2+}$  dalam larutan umpan, efisiensi adsorpsi semakin rendah. Hal ini jelas karena semakin tinggi konsentrasi ion dalam larutan umpan, semakin tinggi jumlah ion yang harus diserap, sedangkan jumlah bahan penyerap tetap, akibatnya efisiensi berkurang. Efisiensi adsorpsi tertinggi dicapai pada konsentrasi 25 mg/L untuk Ni dan 50 mg/L untuk Pb. Pada konsentrasi tersebut efisiensi adsorpsi mendekati 100%. Dari hasil tersebut terlihat bahwa efisiensi penyerapan  $Ni^{2+}$  lebih rendah dibandingkan dengan  $Pb^{2+}$ . Hal ini terjadi karena *hydrated radius*  $Ni^{2+}$  ( $4,04 \text{ \AA}$ )  $>$   $Pb^{2+}$  ( $4,01 \text{ \AA}$ ), sehingga pembentukan ikatan dengan oksida besi berkurang [11].

Untuk menentukan kapasitas maksimum adsorben pada studi adsorpsi *isotherm* dilakukan analisis dengan pendekatan model *Langmuir* dengan persamaan sebagai berikut[12];

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

dimana :

- $C_e$  = Konsentrasi logam dalam larutan pada kesetimbangan (mg/L)
- $q$  = Jumlah ion logam yang teradsorpsi per satuan massa adsorben (mg/g)
- $Q^o$  = Kapasitas serap *monolayer Langmuir*
- $K$  = Konstanta *isotherm Langmuir* sehubungan dengan intensitas adsorpsi



**Gambar 3.** Pengaruh konsentrasi Pb dalam larutan umpan terhadap efisiensi adsorpsi pada pH larutan umpan 6,0 jumlah larutan umpan 50 mL, jumlah adsorben 50 mg dan waktu adsorpsi 90 menit ( $Pb^{2+}$ ) dan 120 menit ( $Ni^{2+}$ )

**Tabel 2.** Konstanta *isotherm Langmuir* untuk adsorpsi ion  $Pb^{2+}$  dan  $Ni^{2+}$  pada oksida besi  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$  dan  $R^2$  (koefisien korelasi)

Ion	$Q^o$ (mg/g)	$K$ (L/mg)	$R^2$
$Pb^{2+}$	37,73585	0,97786	0,9919
$Ni^{2+}$	18,51852	0,191489	0,956

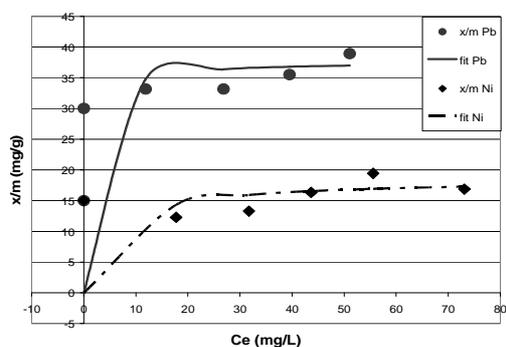
Dari data yang diperoleh seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 di atas, dengan persamaan regresi linear, diperoleh konstanta-konstanta persamaan *Langmuir* dari adsorpsi ion  $Pb^{2+}$  dan  $Ni^{2+}$  pada oksida besi  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$ , seperti terlihat pada Tabel 2.

Nilai  $Q^o$  menyatakan kapasitas ikatan adsorpsi antara adsorben dan ion yang terserap. Dalam Tabel 2, terlihat bahwa kapasitas serap  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$  untuk ion  $Pb^{2+}$  dua kali lipat dari ion  $Ni^{2+}$ . Nilai  $K$  menunjukkan energi ikatan adsorpsi/desorpsi  $Pb^{2+}$  atau  $Ni^{2+}$  pada oksida besi  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$ . Nilai  $K$   $Pb^{2+}$  jauh lebih besar daripada  $Ni^{2+}$ , hal ini jelas karena efisiensi penyerapan  $Pb^{2+} > Ni^{2+}$ . Nilai  $R^2$  menunjukkan tingkat kecocokan model *isotherm Langmuir* pada sistem adsorpsi ion  $Pb^{2+}$  dan  $Ni^{2+}$  pada oksida besi  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$ ; Nilai  $R^2$  ini dianggap bagus bila mendekati angka 1,0, yang berarti tingkat kecocokan dengan model *Langmuir* semakin tinggi.

Untuk lebih jelasnya kapasitas serap  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$  terhadap ion  $Pb^{2+}$  dan ion  $Ni^{2+}$  dapat dibuat grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Garis penuh pada grafik merupakan hasil *fitting* data pengukuran dengan persamaan *Langmuir* untuk ion  $Pb^{2+}$ , sedangkan garis potong-potong merupakan hasil *fitting* data pengukuran untuk ion  $Ni^{2+}$ .  $C_e$  menyatakan konsentrasi bahan terserap yang masih tersisa,  $q$  ( $x/m$ ) adalah jumlah massa bahan terserap dibagi massa penyerap. Dari Gambar 4 terlihat jelas bahwa kapasitas serap ( $q$ )  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$  untuk ion  $Pb^{2+}$  dua kali lipat dari ion  $Ni^{2+}$ .

Dari hasil percobaan adsorpsi ion logam  $Pb^{2+}$  dan ion  $Ni^{2+}$  oleh  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$  di atas terlihat bahwa  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$  dapat dimanfaatkan untuk penyerapan logam berat Pb dalam larutan, sedangkan untuk logam Ni belum memberikan hasil yang memuaskan. Untuk itu perlu dilakukan percobaan lanjutan dengan mengkompositkan oksida besi



**Gambar 4.** Plot adsorpsi *isotherm Langmuir* ion  $Pb^{2+}$  dan  $Ni^{2+}$  pada  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$

dengan senyawa lain dengan tujuan untuk menaikkan efisiensi penyerapan terhadap logam Ni sehingga dapat diaplikasikan untuk pengolahan limbah dari proses *electroplating* yang sebenarnya.

## KESIMPULAN

Hasil percobaan adsorpsi ion logam  $Pb^{2+}$  dan ion  $Ni^{2+}$  oleh  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$  menunjukkan bahwa adsorpsi optimum terjadi pada pH larutan umpan = 6,0, waktu adsorpsi = 90 menit untuk ion  $Pb^{2+}$  dan 120 menit untuk ion  $Ni^{2+}$ , dengan konsentrasi 50 mg/L untuk ion  $Pb^{2+}$  dan 25 mg/L untuk ion  $Ni^{2+}$ . Pada kondisi tersebut efisiensi adsorpsi mendekati 100 %. Hasil percobaan membuktikan bahwa  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$  mempunyai daya serap tinggi terhadap ion  $Pb^{2+}$  dan kurang terhadap ion  $Ni^{2+}$ .

## UCAPAN TERIMA KASIH

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

## DAFTAR ACUAN

- [1]. SITI WARDIYATI, ADEL FISLI dan SARYATI, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, **10** (3) (2009) 278-283
- [2]. HANAFI, ADEL FISLI dan SUGENG PURNOMO, *Jurnal Sains Materi Indonesia, Edisi Khusus Oktober 2007*, (2007) 187-190
- [3]. BAOLIANG-JIN, XIALI-LI and LIN MIE-QIONG, A New Polymer Absorbent for Immobilization Waste, *Annual report of China Institute of Atomic Energy*, (2005)
- [4]. ZHANG YING-JIE, SU XI-GUANG, ZENG JI-SHU and FAN XIAN-HUA, Adsorption Behavior of Pu in Ca-Bentonit, *Annual report of China Institute of Atomic Energy*, (2005)
- [5]. TARZAN PURNOMO dan MUCHYIDDIN, *Neptunus*, **14** (1) (2007) 68-77
- [6]. KEMENTERIAN NEGARA KEPENDUDUKAN dan LINGKUNGAN HIDUP, *Pedoman Penetapan Baku Mutu Air laut*, Keputusan No. 51/MNKLH/I/2004
- [7]. H. TAMURA, N. KATAYAMA and R. FURUICHI, *Journal of Colloid and Interface Science*, **195** (1) (1997) 192-202
- [8]. RIDWAN, Laporan Akhir Program *Block Grant* DIKTI-BATAN, Nomor Surat Perjanjian 293/SP.PP/DP2M/V/2009, 06545/KS 00.01/V/2009 dengan Judul: "Modifikasi Permukaan Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticle (SPION) dan Nanoparticle Zero Valent Ion

- (NZVI) untuk Pengolahan Limbah Nuklir dan Non-Nuklir', (2009)
- [9]. Balance Chemical Equation, <http://www.greghatcher.org/Chemistry/BalancechemicalEquation.aspx?starts>
- [10]. ARTHUR I. VOGEL, *Quantitative Inorganic Analysis*, Longmans, Green and Co., London-New York-Toronto, Second Edition, (1951)
- [11]. L. PAULOWSKI, M.R. DUDZINSKA and A. PAULOWSKI, *Environmental Engineering*, (2007) 142
- [12]. WAID OMAR and HOSSAM AL-ITAWI, *American Journal of Applied Sciences*, **4** (7) (2007) 502-507
- [13]. SLAMET, R. ARBIANTI dan DARYANTO, *Makara Teknologi*, **9** (2) (2005) 66-71