

## Remediasi Air Terkontaminasi Logam Berat dengan Nanopartikel Magnetik-Kitosan

Drs. Djony Izak R., M.Si<sup>1</sup>, Dr. Suryani Dyah Astuti, M.Si<sup>1</sup>, Yuli Estioningsih<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga  
[yuli.phy09@gmail.com](mailto:yuli.phy09@gmail.com)

**Abstract.** There had been conducted a research about the remediation of water which is contaminated by heavy metal with magnetic nanoparticles-chitosan. The research concentrated on the optimum status of the remediation on variation of mass addition Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and the immersion time. The research was started by creating Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> to be nanoparticles by applying High Energy Milling method which was the process used Milling time for 5 hours and the result was examined by XRD. The results of the process showed that particle diameter is 49,9 nm. Then, the research was continued by creating magnetic nanoparticles-chitosan by adding Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (75, 95, 105, 120) mg into 2% of chitosan solution which applied the Dung, KTD et.al, 2009 method. Furthermore, adsorption method was used to know the optimization of remediation with immersion time (30, 40, 50) minutes. This research deals with an experimental research laboratories by contaminating the water with heavy metal Pb<sup>2+</sup> 5 ppm. The results of the research showed that the remediation of water which is contaminated by heavy metal with magnetic nanoparticles Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-chitosan run optimally as much as 82.31% on a variation of mass 75 mg and within 50 minutes. Moreover, magnetic nanoparticles-chitosan was proven more effective in the remediation process. It can be seen from the results of remediation which only used chitosan created efficiency as much as 39.1%.

**Key words:** nanoparticles, heavy metals, optimum, remediation

**Abstrak.** Telah dilakukan penelitian remediasi air terkontaminasi logam berat dengan nanopartikel magnetik-kitosan. Adapun untuk melihat keadaan optimum saat remediasi digunakan variasi penambahan massa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan waktu perendaman bahan. Penelitian ini didahului dengan pembuatan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> menjadi ukuran nanopartikel yaitu dengan metode *High Energy Milling*. Pada proses ini digunakan waktu *Milling* selama 5 jam dan hasilnya di uji XRD. Hasil yang diperoleh didapat ukuran partikel sebesar 49,9 nm. Penelitian kemudian dilanjutkan dengan pembuatan nanopartikel magnetik-kitosan dengan menambahkan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (75,95,105,120) mg ke dalam larutan kitosan 2% menggunakan metode Dung, KTD et.al. 2009. Selanjutnya untuk mengetahui optimalisasi remediasi digunakan metode adsorpsi dengan lama perendaman (30,40,50) menit. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratoris dengan mencemari air dengan logam berat Pb<sup>2+</sup> 5 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa remediasi air terkontaminasi logam berat dengan nanopartikel magnetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> – kitosan berjalan optimal di variasi massa 75 mg dan waktu 50 menit sebesar 82,31%. Selain itu, nanopartikel magnetik-kitosan terbukti mampu bekerja lebih efektif saat proses remediasi, terbukti dari hasil remediasi yang hanya menggunakan kitosan menghasilkan efisiensi sebesar 39,1%.

**Kata Kunci:** nanopartikel, logam berat, optimasi, remediasi

## PENDAHULUAN

Perkembangan IPTEK memacu terjadinya pencemaran lingkungan baik pencemaran air, tanah dan udara. Pencemaran air yang diakibatkan oleh dampak perkembangan industri

harus dapat dikendalikan, karena bila tidak dilakukan sejak dini akan menimbulkan permasalahan yang serius bagi kelangsungan hidup manusia maupun alam sekitarnya.

Air merupakan zat penting dalam kehidupan makhluk hidup di dunia ini dari hewan yang berspesies terendah sampai yang tertinggi juga manusia dan tanaman. Apabila air sudah tercemar logam-logam berbahaya akan mengakibatkan hal-hal yang buruk bagi kehidupan. Berbagai macam kasus pencemaran logam berat pernah dilaporkan baik di negara maju maupun negara sedang berkembang. Begitu pula akibat buruk terhadap penduduk yang tinggal di sekitarnya.

Pencemaran logam berat merupakan permasalahan yang sangat serius untuk ditangani, karena merugikan lingkungan dan ekosistem secara umum. Sejak kasus merkuri di Minamata Jepang pada 1953, pencemaran logam berat semakin sering terjadi dan semakin banyak dilaporkan. Beberapa logam berat yang sering ditemukan dalam limbah industri yaitu Kromium (Cr), Kadmium (Cd), Besi (Fe), Seng (Zn), Timbal (Pb), Kobalt (Co), dan lain-lain [8].

Logam timbal (Pb) merupakan logam yang sangat populer dan banyak dikenal oleh masyarakat awam. Hal ini disebabkan oleh banyaknya Pb yang digunakan di industri non pangan. Timbal merupakan salah satu logam berat yang dapat menurunkan kualitas air. dalam kadar yang tinggi logam tersebut dapat mengganggu sistem saraf, organ, dan sistem organ. Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51/ Men LH/ 10/ 1990 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri ambang batas logam timbal (Pb) adalah 0,01-1 mg/L [7].

Remediasi logam berat di air limbah merupakan salah satu masalah yang paling penting karena efek logam berat yang masuk dalam perairan merugikan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Ion logam berat bersifat toksik dan karsinogenik bahkan pada konsentrasi relatif rendah. Mereka tidak ramah lingkungan dan dapat terakumulasi dalam organisme hidup. Oleh karena itu, logam berat dapat dianggap sebagai polutan yang paling penting untuk air dan air limbah. Polutan logam berat terutama berasal dari industri termasuk pertambangan, manufaktur perangkat listrik, pelapisan logam, dan sebagainya. Sehingga diperlukan remediasi logam berat pada limbah industri agar aman saat dilepaskan ke lingkungan.

Teknologi nano di bidang kedokteran, elektronika dan industri semakin berkembang, tidak ketinggalan pula pengembangan teknologi nano dalam penanganan limbah industri. Dewasa ini mulai dikembangkan bahan penyerap logam berat 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 [11].

Superparamagnetik besi oksida ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) nanopartikel memiliki keistimewaan sifat multifungsi seperti toksisitas yang rendah, ukuran kecil, biokompabilitas, superparamagnetik, dan lain-lain. Dibandingkan dengan sistem remediasi tradisional, seperti presipitasi kimia, pertukaran ion, koagulasi, elektrolisis dan proses *reverse* osmosis, nanopartikel magnetik memiliki sifat magnet yang optimal yang menyebabkan tingkat *removal* tinggi terhadap kontaminan, efisiensi absorpsi tinggi, cepat, dan mudah memisahkan absorben dari solusi melalui medan magnet [5].

Adapun standarisasi ukuran nanopartikel yang diharapkan adalah antara 20-50 nm. Partikel yang berukuran lebih kecil dari 20 nm akan cenderung kehilangan sifat magnetisnya sedangkan yang berukuran lebih besar dari 50 nm akan cenderung mengendap karena pengaruh gaya gravitasi. Selain itu, diharapkan bahwa produk nanopartikel magnetite yang dihasilkan memiliki sifat *monodisperse* dan tidak teraglomerasi. Sifat *monodisperse* dibutuhkan untuk kemudahan aplikasinya. Sedangkan sifat tidak teraglomerasi dibutuhkan agar diperoleh domain tunggal dari perilaku partikel-partikel tersebut [4].

Berbagai jenis nanopartikel magnetik untuk remediasi logam berat bisa dikomposit dengan menggunakan polimer sintetik alami yang berfungsi untuk memberikan reaktivitas permukaan. Shashwat *et.al*, (2006) dalam [5] memanfaatkan magnet yang dimodifikasi dengan permen arab untuk remediasi Cr (VI) dari limbah, dan Kochen, (1997) dalam [5] menggunakan resin polimer magnetik untuk menghilangkan aktinida dan logam berat lainnya dari air yang terkontaminasi.

Pada penelitian yang akan dilaksanakan ini menggunakan polimer kitosan sebagai pengikat  $Fe_3O_4$  yang bertujuan agar  $Fe_3O_4$  tetap stabil, tidak mudah teroksidasi, dan tidak membentuk agregat. Kitosan dikenal juga sebagai pengkelat logam-logam beracun. Serbuk atau larutan kitosan dapat menghilangkan atau mengurangi logam atau ion logam yang terdapat dalam air sungai, air laut, dan air limbah [9]. Kitosan merupakan biopolimer alam yang bersifat polielektrolit kationik yang berpotensi tinggi untuk penyerapan logam dengan mudah terbiodegradasi serta tidak beracun. [7] telah melaporkan bahwa logam Pb dapat terserap dengan baik oleh kitosan.

Magnetit atau  $Fe_3O_4$  merupakan salah satu fase oksidasi besi yang memiliki sifat magnet terbesar di antara fase-fase lainnya [5] sehingga kitosan yang telah terkomposit magnetit dapat merespon medan magnet dan akan memudahkan proses pemisahannya. Sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang adsorpsi logam  $Cd^{2+}$  dengan menggunakan kitosan magnetik nanopartikel [5]. Penelitian tersebut menghasilkan daya serap optimum pada komposisi nanopartikel magnetik-kitosan 75:10 mg sebesar 99,52% dengan variasi komposisi nanopartikel magnetik 30, 75, dan 120 mg.

[1] juga telah menggunakan kitosan magnetik nanopartikel untuk menyerap logam kadmium (Cd) dan tembaga (Cu) dengan variasi waktu kontak 10-60 menit dan menghasilkan daya serap optimum pada logam Cd sebesar 90,04% dan pada logam Cu sebesar 99,12% dengan waktu kontak 30 menit.

Berdasarkan hal tersebut di atas maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai optimasi bahan nanopartikel magnetik-kitosan untuk proses remediasi air terkontaminasi logam berat Pb. Pada penelitian ini akan dilakukan variasi waktu perendaman dan komposisi antara  $Fe_3O_4$  dengan kitosan karena diperkirakan akan mempengaruhi kinerjanya terhadap penyerapan logam berat Pb dalam proses remediasi. Untuk mengetahui ukuran partikelnya digunakan uji *X-ray Diffractometer* (XRD) dan hasil dari proses remediasi akan diuji menggunakan metode *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS).

## **METODE PENELITIAN**

### **Alat dan Bahan**

Alat yang digunakan dalam penelitian: beaker glass, erlenmeyer, gelas ukur, pipet tetes, krus, labu ukur, timbangan digital, kertas saring, magnet permanen, oven dan magnetic stirrer, High Energy Milling (HEM-E3D), X-Ray Diffractometer (XRD), Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)

Bahan yang digunakan dalam penelitian: Kitosan, serbuk  $Fe_3O_4$ , paraffin, carboxy methyl cellulose (CMC), glutaraldehyd 25%, etanol,  $HNO_3$ ,  $Pb(NO_3)_2$ , larutan standart, dan aquaderm.

### **Proses Pembuatan Serbuk Nanopartikel $Fe_3O_4$ -Kitosan**

#### **Proses Ball Milling Serbuk $Fe_3O_4$**

Pada awalnya serbuk  $Fe_3O_4$  yang didapat dari produk komersil digerus menggunakan HEM E3-D. Penggerusan menggunakan metode High Energy Milling agar mendapatkan bahan dengan ukuran nano. Penggerusan dilakukan dengan variasi lama waktu yaitu 5 jam dengan

kecepatan 1200 rpm. Setelah proses penggerusan selesai hasil dari proses penggerusan dengan HEM E3-D di uji karakteristik fasanya dengan X-Ray Diffractometer (XRD).

### **Karakterisasi Ukuran Partikel dengan X-Ray Diffractometer (XRD)**

Data hasil uji XRD dihasilkan pola difraksi berupa spektrum kontinu yang menggambarkan sudut-sudut terjadinya difraksi pada atom-atom bahan ( $2\theta$ ), besar nilai intensitas relatif yang dihasilkan ( $I/I_0$ ) dari jarak antar bidang ( $d$ ). Kemudian data difraksi tersebut direkam dan dicatat oleh komputer dalam bentuk grafik *peak* intensitas. Dengan mengamati distribusi intensitas yang terekam dalam spektrum hasil XRD, dapat dianalisa secara kualitatif.

Ukuran kristalit dan regangan kisi dianalisis berdasarkan *full width half maximum* (FWHM) masing-masing puncak difraksi sinar-x dengan formula Scherrer yang diameter partikelnya memenuhi persamaan [2] :

$$D = \frac{k \lambda}{B \cos \theta} \dots\dots\dots (1)$$

Selain formula Scherrer yang digunakan untuk mengetahui diameter partikel, digunakan juga persamaan Williamson-Hall [6] yaitu:

$$B \cos \theta = \frac{k\lambda}{D} + \eta \sin \theta \dots\dots\dots (2)$$

dimana: D=ukuran butir kristal (nm), k=konstanta dengan nilai 0,9-1,  $\lambda$ =panjang gelombang sinar-X, ( $\text{\AA}$ )=1,54187  $\text{\AA}$ , B=lebar puncak pada setengah maksimum (FWHM) (rad),  $\theta$ =sudut Bragg ( $^\circ$ ),  $\eta$ =slope dari grafik  $\sin\theta$  dengan  $B \cos\theta$ .

### **Percampuran Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> – Kitosan (Dung, KTD et.al, 2009)**

Langkah pertama yang dilakukan yaitu menimbang nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> sesuai dengan variasi yang ditentukan. Lalu membuat larutan kitosan 2% dengan menambahkannya dengan asam asetat. Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dicampur dengan larutan kitosan 2% diaduk sambil ditambahkan setetes demi setes larutan pengemulsi yang mengandung 30 ml paraffin dan 0,5 mL CMC 1%. Diaduk selama 5 jam pada suhu kamar. Kemudian tambahkan secara perlahan 10 mL glutaraldehid 25% dan diaduk sampai terbentuk endapan. Endapan nanopartikel magnetik kitosan yang terbentuk didiamkan dan disaring. Endapan nanopartikel magnetik kitosan dibilas dengan etanol. Kemudian dikeringkan pada suhu 90°C di dalam oven selama 2 jam dan disimpan di tempat yang kering.

### **Proses Remediasi**

#### **Persiapan Reaktor**

Hal pertama yang harus dilakukan adalah membuat larutan baku induk Timbal (Pb) 1000 ppm yaitu dengan cara melarutkan 1 gram Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> dalam 50 ml asam nitrat 2 M pada gelas ukur 100 ml, lalu diencerkan dengan aquadarm, selanjutnya dimasukkan dalam labu ukur 1000 ml dan ditepatkan volumenya dengan aquadarm. Larutan induk ini setara dengan 1000 mg/l atau 1000 ppm kadar Pb<sup>2+</sup>. Selanjutnya setelah terbentuk larutan baku induk maka yang dilakukan adalah membuat larutan yang tercemar logam Pb<sup>2+</sup> 5 ppm. Langkah pertama yang dilakukan adalah larutan baku induk dipipet sebanyak 5 ml kemudian dimasukkan kedalam labu ukur 1000 ml lalu ditambahkan dengan aquadarm sampai batas ukur sehingga konsentrasinya menjadi 5 ppm.

#### **Variasi Komposisi Bahan Nanopartikel Magnetik-Kitosan**

Pada komposisi bahan nanopartikel magnetik-kitosan yang divariasi adalah jumlah nanopartikel magnetiknya. Variasi yang digunakan yaitu 75 mg, 95 mg, 105 mg dan 120 mg. Masing-masing variasi komposisi disintesis dengan metode [3]. Setelah campuran dengan

variasi komposisi dibuat bahan nanopartikel magnetik-kitosan dimasukkan kedalam reaktor yang sudah disiapkan.

### Variasi Lama Perendaman Bahan Nanopartikel Magnetik-Kitosan

Pada variasi lama perendaman bahan nanopartikel magnetik-kitosan dalam air terkontaminasi logam berat digunakan variasi waktu 30, 40 dan 50 menit. Bahan-bahan yang divariasi komposisi yang sudah dimasukkan dalam reaktor direndam dengan variasi waktu tersebut. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan spektrometer serapan atom untuk mengetahui komposisi dan waktu kontak optimal dalam proses remediasi.

### Pengujian Spektrometer Serapan Atom

Air terkontaminasi logam berat yang sudah dilakukan proses remediasi diuji dengan menggunakan spektrometer serapan atom [10].

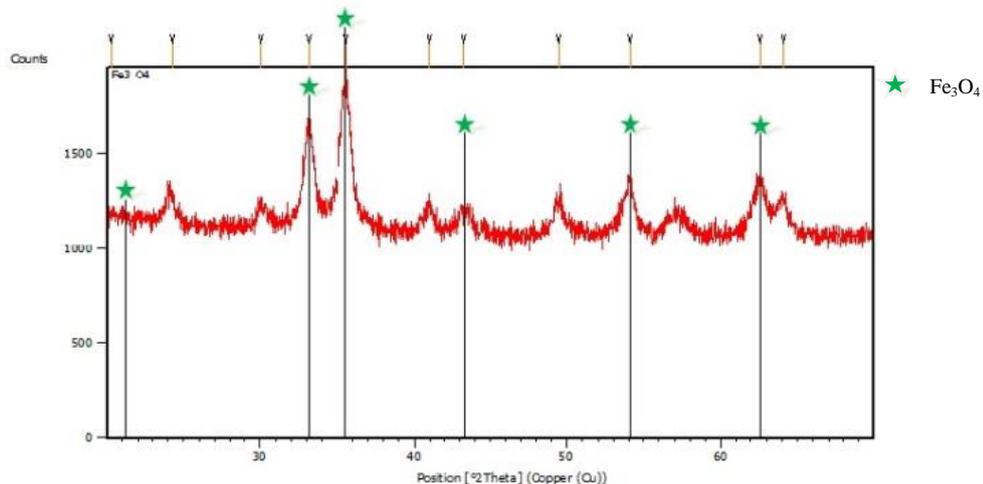
Larutan sampel dimasukkan ke dalam tabung khusus untuk reduksi logam berat dan ditambahkan 1 ml larutan SnCl<sub>2</sub> 10%. Selanjutnya diaduk dengan *magnetic stirrer* sampai terjadi kesetimbangan antara atom logam berat dalam fase uap dengan fase air, kurang lebih 1 menit. Udara kemudian dialirkan melalui aerator sehingga uap keluar melalui sel absorpsi. Absorban yang dihasilkan dibaca kemudian dihitung.

Untuk menghitung kandungan logam berat digunakan kurva standar dari logam berat yang dianalisis. Kurva standar dibuat dengan cara mengukur absorban dari beberapa larutan standar dengan berbagai konsentrasi yang berbeda.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Analisa Ukuran Partikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan X-Ray Diffractometer (XRD)

Partikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> direduksi menjadi ukuran nanopartikel dengan metode metalurgi serbuk dengan menggunakan metode *High Energy Milling* (HEM). Penggerusan dilakukan dengan lama waktu yaitu 5 jam dengan kecepatan 1200 rpm. Setelah proses penggerusan selesai hasil dari proses penggerusan dengan HEM E3-D di uji dengan X-Ray Diffractometer (XRD).



**Gambar 1.** Hasil XRD

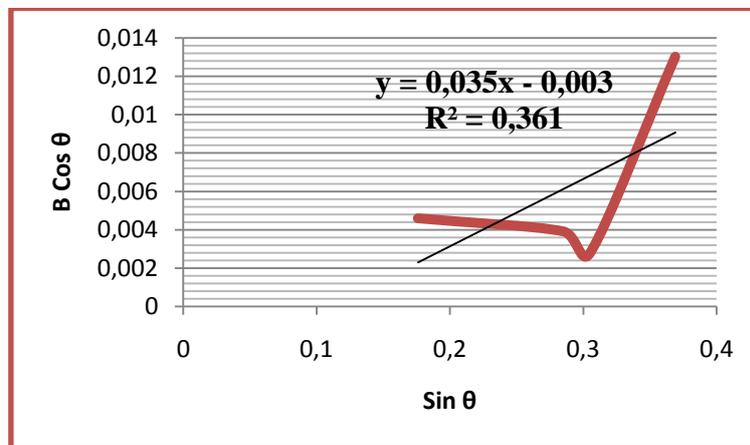
Hasil uji difraksi sinar-x selanjutnya untuk mengetahui fase dan struktur kristal. Fase kristal ditunjukkan dengan adanya puncak-puncak difraksi. Proses identifikasi fase didasarkan pada pencocokan data posisi-posisi puncak difraksi terukur dengan basis data (database). Puncak-puncak yang mempresentasikan senyawa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> terlihat pada Gambar 1 yaitu pada posisi 2θ sama dengan 20,28°, 33,15°, 35,61°, 43,31°, 54,06°, 62,59°. Selanjutnya untuk ukuran partikel dapat dianalisis dengan formula Scherrer yang diameter partikelnya memenuhi persamaan (1). Nilai 2θ yang digunakan untuk menghitung diameter partikelnya

yaitu  $35,61^\circ$  karena pada nilai tersebut dihasilkan puncak dengan intensitas tertinggi. Hasil yang didapat sebesar 49,9 nm.

Adapun cara yang lain yang digunakan untuk menghitung ukuran diameter partikel selain formula Scherrer, digunakan juga persamaan Williamson-Hall yaitu pada persamaan (2). Untuk menggunakan persamaan tersebut perlu dilakukan pembuatan grafik yang memetakan data pada tabel di bawah ini:

**Tabel 1.** Hasil Pengepasan Kurva XRD  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

$2\theta$	$\text{Sin } \theta$	$B \text{ Cos } \theta$
20,28	0,17	0,00459
33,15	0,28	0,00391
35,61	0,30	0,00278
43,31	0,36	0,01301



**Gambar 2.** Grafik Williamson-Hall

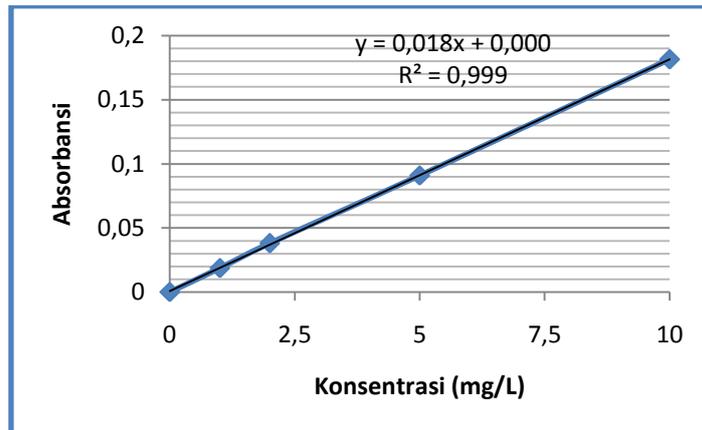
Garis yang terbentuk pada grafik tersebut memiliki persamaan  $y=0,035x-0,003$ . Nilai 0,003 adalah nilai  $\eta$ , yang akan menghasilkan nilai diameter partikel sebesar 46,25 nm.

Hasil tersebut dapat diketahui bahwa diameter ukuran partikel yang dihasilkan sudah memenuhi standarisasi ukuran nanopartikel. Selain itu, diharapkan bahwa produk nanopartikel magnetite yang dihasilkan memiliki sifat *monodisperse* dan tidak teraglomerasi. Sifat *monodisperse* dibutuhkan untuk kemudahan aplikasinya. Sifat tidak teraglomerasi dibutuhkan agar diperoleh domain tunggal dari perilaku partikel-partikel tersebut (Fajaroh dkk. 2009).

### Hasil Pengukuran Logam $\text{Pb}^{2+}$ dalam Larutan dengan AAS

Pengukuran kadar logam berat  $\text{Pb}^{2+}$  yang tersisa diuji dengan spektrometer serapan atom ZEENIT 700 di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Surabaya. Untuk melakukan pengujian kadar logam  $\text{Pb}^{2+}$  harus dibuat kurva standar terlebih dahulu yaitu dengan cara pengenceran larutan induk 1000 ppm yang dibuat dari 1,5985 gram  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  ditambahkan dengan  $\text{HNO}_3$  dan diambil beberapa konsentrasi 0 ppm, 1 ppm, 2 ppm, 5 ppm, dan 10 ppm. Konsentrasi dibuat dengan variasi konsentrasi diantara itu karena diharapkan hasil yang didapat berada pada kisaran nilai tersebut. Larutan tersebut dikarakterisasi dengan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) untuk mendapatkan nilai absorbansi atau konsentrasi yang dapat diserap sinar lampu pada AAS. Nilai absorbansi dan konsentrasi diplotkan sesuai hukum *Lambert beer* bahwa nilai konsentrasi sebanding dengan absorbansinya. Berdasarkan

konsentrasi tersebut dihasilkan kurva standar antara konsentrasi dengan absorbansi seperti pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Kurva Larutan Standar  $Pb^{2+}$

Dari kurva tersebut didapat persamaan linear  $y = 0,018x + 0,000$  dengan  $R^2 = 0,999$ . Dari persamaan linier tersebut akan diperoleh nilai konsentrasi akhir pada masing-masing adsorben yang meyerap ion  $Pb^{2+}$  dengan cara memasukkan nilai absorbansi masing-masing sampel (y) pada persamaan. Sehingga diperoleh nilai x yang menunjukkan konsentrasi sisa (akhir) setelah proses adsorpsi yang ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil Akhir Setelah Proses Adsorpsi (ppm)

Komposisi $Fe_3O_4$ Lama Perendaman	0 mg	75 mg	95 mg	105 mg	120 mg
	30 menit	2,712	0,992	1,108	1,322
40 menit	4,601	1,165	1,174	1,142	1,278
50 menit	3,045	0,884	1,190	1,336	1,884

### Hasil dari Proses Efisiensi Remediasi

Dari uji pengukuran kadar logam berat Pb tersisa yang diuji dengan spektrometer serapan atom maka dapat diketahui kapasitas serapan dan efisiensi remediasi dari beberapa variasi waktu dan massa.

Hasil Efisiensi remediasi dan kapasitas adsorpsi dari berbagai variasi dapat dilihat dalam Tabel 3. dan Tabel 4.

**Tabel 3.** Hasil Efisiensi Remediasi (%)

Lama Perendaman	Komposisi Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>				
	0 mg	75 mg	95 mg	105 mg	120 mg
30 menit	45,76	80,16	77,84	73,56	72,22
40 menit	7,98	76,70	76,52	77,16	74,44
50 menit	39,10	82,31	76,20	73,28	62,32

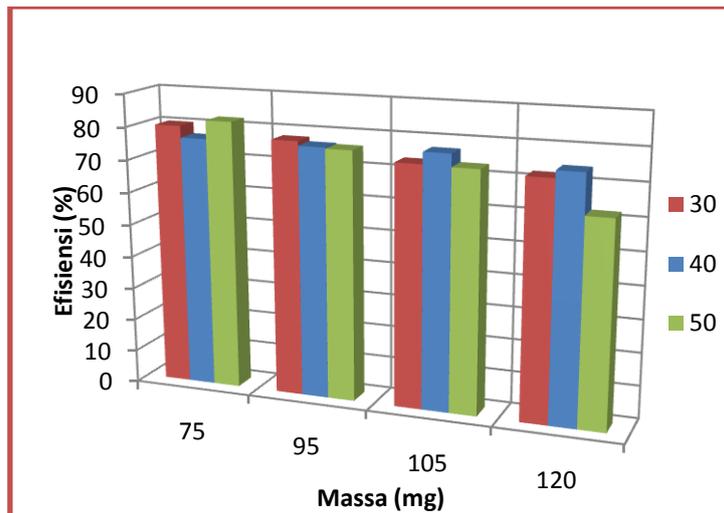
Pada tabel tersebut dapat diketahui hasil efisiensi remediasi dari berbagai variasi yang dilakukan dengan hasil remediasi yang tidak diberi perlakuan menunjukkan bahwa bahan yang diberi perlakuan penambahan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> menghasilkan efisiensi remediasi yang jauh lebih besar. Hal ini dikarenakan kemampuan kitosan terhadap logam berat sangat dipengaruhi oleh sifat kimia-fisikanya. Kitosan berikatan silang dengan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> mempunyai ketahanan fisik asam yang lebih baik daripada kitosan tidak berikatan silang.

**Tabel 4.** Hasil Kapasitas Adsorpsi (mg/g)

Lama Perendaman	Komposisi Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>				
	0 mg	75 mg	95 mg	105 mg	120 mg
30 menit	-	53,44	40,96	35,02	30,09
40 menit	-	51,13	40,27	36,74	31,01
50 menit	-	54,87	40,10	34,89	25,96

Berdasarkan analisis di atas telah diketahui bahwa nilai kapasitas adsorpsi mengalami penurunan setelah penambahan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Hal ini disebabkan adanya sifat magnetik akan mempercepat pengendapan sehingga suspensi adsorben dan larutan Pb<sup>2+</sup> akan lebih cepat jernih.

Pada proses remediasi ini dilakukan dengan variasi komposisi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan variasi lama perendaman. Uji pengukuran kadar logam berat Pb<sup>2+</sup> tersisa yang diuji dengan spektrometer serapan atom maka dapat diketahui efisiensi remediasi dari beberapa variasi waktu dan massa. Hasil dari variasi massa dapat dilihat pada Gambar 4.

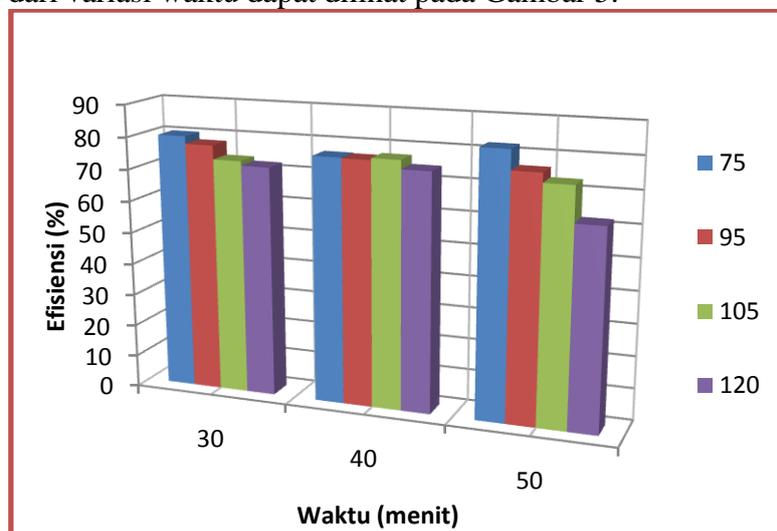


**Gambar 4.** Grafik Efisiensi Remediasi terhadap Massa

Grafik tersebut dapat diketahui bahwa bahan yang mempunyai daya serap optimal yaitu pada komposisi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  75 mg yaitu sebesar 82,31%. Sesuai dengan penelitian sebelumnya menghasilkan daya serap optimum pada komposisi nanopartikel magnetik 75 mg sebesar 99,52% dengan variasi komposisi nanopartikel magnetik 30, 75, dan 120 mg [5].

Adapun dari hasil tersebut diketahui bahwa nanopartikel magnetik-kitosan mempunyai batas jenuh pada komposisi nanopartikel 75 mg. Hal ini dikarenakan gugus amina kitosan telah habis berpasangan atau berikatan dengan partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sehingga semakin banyak penambahan partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada adsorben ion logam  $\text{Pb}^{2+}$  mengalami pelemahan ikatan dengan bahan adsorben. Sehingga terjadi pelepasan kembali ion yang berikatan dengan gugus aktif.

Untuk hasil dari variasi waktu dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Grafik Efisiensi Terhadap Waktu

Grafik tersebut dapat diamati bahwa bahan nanopartikel magnetik-kitosan mampu mengadsorpsi ion logam  $\text{Pb}^{2+}$  semakin meningkat dengan waktu kontak adsorpsi yang semakin lama. Waktu kontak optimum terjadi pada 50 menit, dimana terjadi absorpsi ion logam Pb dengan kapasitas absorpsi 82,31%.

### Pembahasan

Adapun setelah  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  terbentuk menjadi ukuran nanopartikel disintesis dengan kitosan dengan metode [3]. Sampel tersebut diaplikasikan dalam proses remediasi. Media remediasi

dibuat dengan cara mencemari aquadern dengan logam berat  $Pb^{2+}$ . Setiap satu 1 liter aquadern dicemari dengan logam berat  $Pb^{2+}$  5 ppm.

Proses Remediasi adalah pemulihan air yang terkontaminasi oleh zat-zat pencemar seperti logam berat dan atau senyawa organik untuk mengembalikan fungsi air sehingga dapat dimanfaatkan kembali dan tidak menimbulkan masalah bagi lingkungan. Metode yang digunakan dalam proses remediasi yaitu metode adsorpsi, adsorpsi adalah proses akumulasi substansi di permukaan antara dua fase yang terjadi secara fisika dan kimia, atau proses terserapnya molekul-molekul pada permukaan eksternal atau internal suatu padatan.

Proses adsorpsi berlangsung dalam 3 tahap yaitu: pergerakan molekul-molekul adsorbat menuju permukaan adsorben, penyebaran molekul-molekul adsorbat ke dalam rongga-rongga adsorben, dan penarikan molekul-molekul adsorbat oleh permukaan aktif membentuk ikatan yang sangat cepat.

Mekanisme penghilangan ion  $Pb^{2+}$  menggunakan kitosan termasuk reaksi pertukaran ion dimana kitosan mempunyai muatan negatif. Adanya muatan negatif pada kitosan menyebabkan kitosan mampu mengikat kation dengan ikatan yang lemah seperti kation  $N^+$ . Lemahnya ikatan ini akan menyebabkan kitosan bersifat sebagai penukar kation antara  $N^+$  dengan ion  $Pb^{2+}$ . Posisi ion  $N^+$  pada kitosan alam akan digantikan oleh ion  $Pb^{2+}$  dari larutan adsorbat  $PbNO_3$ .

Keberadaan besi oksida di dalam ruang antar lembar kitosan tidak mempengaruhi muatan kitosan karena besi oksida bersifat netral atau tidak bermuatan. Oksida besi ( $Fe_3O_4$ ) pada sampel berfungsi untuk mempercepat proses penyerapan dalam hal pengendapannya. Jadi, Adsorpsi kation Timbal ini terjadi pada permukaan dengan gugus amina pada kitosan dan kombinasi muatan positif dari kation  $Pb$  dan muatan negatif pada permukaan kitosan yang membentuk ikatan dengan senyawa kitosan.

Berdasarkan hasil berbagai variasi dapat diketahui bahwa proses remediasi dengan nanopartikel magnetik-kitosan berhasil dilakukan dengan hasil pada komposisi  $Fe_3O_4$  75 mg dengan waktu perendaman 50 menit. Sisa akhir logam berat 0,8844 mg/L yang sudah memenuhi syarat ambang batas yang ditetapkan oleh Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51/ Men LH/ 10/ 1990 sebesar 0,01-1 mg/L [7].

Selain hal itu proses pemisahan adsorben dari medium adsorbat lebih mudah. Hal ini dikarenakan komposit  $Fe_3O_4$ -kitosan dapat dikendalikan pergerakannya melalui tarikan magnet. Kitosan sebagai adsorben biasanya dipisahkan dari medium adsorbat dengan proses penyaringan menggunakan kertas saring. Proses pemisahannya ini memerlukan waktu lama.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan uraian hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya maka dapat diperoleh kesimpulan:

1. Variasi waktu berpengaruh terhadap proses remediasi air terkontaminasi logam berat berdasarkan pengurangan logam berat seiring dengan pertambahan waktu. Sedangkan untuk variasi massa atau penambahan  $Fe_3O_4$  tidak bekerja secara optimal yang bisa dilihat dari hasil logam berat yang tersisa.
2. Berdasarkan hasil berbagai variasi dapat diketahui bahwa proses remediasi air terkontaminasi logam berat dengan nanopartikel magnetik-kitosan berhasil dilakukan dengan hasil pada komposisi optimal  $Fe_3O_4$  75 mg dengan waktu perendaman optimal 50 menit. Sisa akhir logam berat 0,8844 mg/L dan efektivitas remediasi sebesar 82,31%.

## **SARAN**

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada penelitian ini, dapat disarankan bahwa:

1. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengurangan konsentrasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang lebih kecil untuk meningkatkan efisiensi remediasi.
2. Perlu dilakukan remediasi dengan jenis logam berat yang lain seperti Hg (II), Cr (VI), Cd (II), dan Cu (II) untuk mengetahui daya adsorpsi bahan magnetik-kitosan terhadap logam selain  $\text{Pb}^{2+}$ .

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penyusun sampaikan kepada Drs. Djony Izak R., M.Si sebagai pembimbing I dan Dr. Suryani Dyah Astuti, M.Si sebagai pembimbing II atas masukan dan bimbingannya serta teman – teman Fisika angkatan 2009 dan semua pihak yang telah membantu sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Daulay, Ainun Mardhiyah. 2011. *Penggunaan Kitosan Magnetik Nanopartikel Untuk Menyerap Logam Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu) dengan Menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)*. Tesis Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sumatra Utara. Medan.
- [2] Dodi, A., 2012. *Pengaruh Doping Ion  $\text{Mg}^{2+}$  Terhadap Struktur Dan Dielektrisitas pada Senyawa Nanokristal Delafosit  $\text{CuAl}_2\text{-XO}_2$  yang Disintesis Melalui Metode Solid State Reaction*. Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Malang
- [3] Dung, K.T.D., Hai, H.T., Phuc, H.L., Long, D.B., Vinh, K.L., Truc, N.P., 2009. *Preparation and characterization of magnetic nanoparticles with chitosan coating*. Journal of Physics: Conference Series 187. Vietnam.
- [4] Fajaroh, dkk, 2009, *Sintesis Nanopartikel Magnetic*, Institut Teknologi Surabaya.
- [5] Igder, A., Rahmani, A., Fazlavi, A., Azqhandi, M., & Omid, H. 2012. *Box-Behnken Design of Experiments Investigation for Adsorption of  $\text{Cd}^{2+}$  onto carboxymethyl Chitosan Magnetic Nanoparticles*. Journal of Mining & Environment. Vol.3, No.1, 2012, 51-59.
- [6] Rahman, Arif. *Pengaruh Tingkat Kekristalan  $\text{TiO}_2$  pada Tegangan Terbuka Sel Surya Tersensitisasi-Pewarna Berbasis  $\text{ZnC-TiO}_2$* . Universitas Indonesia. Depok. 2008
- [7] Sanjaya, dkk, 2007, *Adsorpsi Logam  $\text{Pb(II)}$  Oleh Kitosan Hasil Isolasi Kitin Cangkang Kepiting Bakau (*Scylla Sp*)*, Jurnal Ilmu Dasar, Vol. 8 No. 1, 2007: 30-36.
- [8] Shah, B.S., 2008, *Study of Heavy Metal Accumulation in Scleratinian Coral of Viti Levu, Fiji Islands*, School of Biological, Chemical and Environmental Sciences Faculty of Science and Technology, Fiji Island, Noumea Cedex New Caledonia
- [9] Sugita P, Sjachrizza A, Wahyono D. 2007. *Sintesis dan optimalisasi gel kitosanalginat*. J Sains Teknologi Indonesia 8:133-137.
- [10] Suyanto, 2009, *Pengujian Logam Secara AAS*, InfoPOM, Vol. 10
- [11] Zhou, Y.T., Nie, H.L. (2009). *Removal of  $\text{Cu(II)}$  from aqueous solution by chitosan-coated magnetic nanoparticles modified with-ketoglutaric acid*. J. Colloid Interface Sci. 330: 29–37.