

Studi Penurunan Kadar Logam Fe dan Co pada Limbah Cair dengan Sistem Purifikasi Berbasis Adsorben Nanopartikel Magnetik Fe₃O₄

Dewi Sartika, Fitri Puji A dan Edi Suharyadi*

Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia Sekip Utara PO BOX BLS.21 Yogyakarta 55281, Indonesia

*Corresponding Author : esuharyadi@ugm.ac.id

Abstrak – Proses purifikasi limbah cair mengandung logam Fe dan Co dengan menggunakan adsorben nanopartikel magnetik Fe₃O₄ berukuran 14,5 nm telah dilakukan. Pada konsentrasi Fe₃O₄ 0,01 g/ml, kadar logam Co dan Fe mengalami penurunan lebih besar daripada konsentrasi Fe₃O₄ 0,008 g/ml, yaitu masing-masing sebesar 71% dan 99%. Penurunan kadar logam Co dan Fe juga terserap secara efektif oleh adsorben dengan ukuran partikel 11,5 nm daripada yang berukuran 14,5 nm yaitu masing-masing Co dan Fe sebesar 99,855% dan 100%. Pada proses adsorpsi kedua (amplifikasi) kadar logam Co dan Fe mengalami penurunan secara maksimal yaitu sebesar 100%.

Kata Kunci: Purifikasi, Absorpsi, dan Adsorben Fe₃O₄

Abstract - Purification of wastewater contained metal Co and Fe by using adsorben nanoparticle magnetic Fe₃O₄ with 14,5 nm particle size has done. At concentration of Fe₃O₄ 0,01 g/ml, Co and Fe decreased greater than concentration Fe₃O₄ 0,008 g/ml, they are 71% and 99%, respectively. Reduction metals of Co and Fe adsorbed efectively by adsorbent has particle size 11,5 nm than adsorbent has particle size 14,5 nm, they are 99,855% and 100%, respectively. Reduction metals of Co and Fe decreased 100% on second adsorption.

Key words: Purification, Absorption, and Adsorbent of Fe₃O₄

I. PENDAHULUAN

Semakin pesatnya aktivitas perindustrian dewasa ini, berbagai jenis limbah logam berat yang dihasilkan dapat menjadi permasalahan serius bagi kesehatan dan lingkungan. Limbah industri merupakan salah satu jenis limbah yang perlu diperhatikan karena limbah tersebut biasanya mengandung logam berat yang berbahaya bagi kehidupan manusia, seperti Cobalt (Co) dan besi (Fe) [1].

Seiring dengan perkembangan zaman, muncul masalah-masalah terkait limbah industri. Logam besi dan kobalt merupakan logam yang bersifat toksik yang dapat meracuni tubuh manusia dan merusak lingkungan. Menurut KEPMENKES RI No. 907/MENKES/VII/IV/2002 tanggal 29 Juli 2002 tentang syarat-syarat pengawasan kualitas air minum, kadar Fe dalam air konsumsi yang diperbolehkan yaitu sebesar 0,3 mg/l. Pada air minum yang telah tercemar oleh limbah cair tentu kadar logam yang terkandung melebihi ambang batas dari yang telah ditentukan [2].

Pada umumnya ion limbah logam limbah cair biasanya dihilangkan dengan proses presipitasi, evaporasi, ekstraksi pelarut, pertukaran ion, *reverse osmosis*, atau separasi membran. Namun hal itu dipercaya bahwa proses presipitasi membutuhkan bahan kimia yang besar dan menghasilkan sampah dalam jumlah besar, sehingga cara ini belum optimal [3].

Berkaitan dengan hal tersebut, pada penelitian ini dilakukan pengolahan limbah yang mengandung Co dan Fe dengan metode purifikasi dengan adsorben nanopartikel

magnetik Fe₃O₄. Metode purifikasi dapat mengabsorpsi limbah Co dan Fe. Proses absorpsi dapat menurunkan kadar logam yang terlarut pada limbah cair dengan cara menyerap logam-logam tersebut ke dalam permukaan adsorbennya. Nanopartikel Fe₃O₄ merupakan partikel yang memiliki sifat magnetik. Nanopartikel Fe₃O₄ sangat tepat dijadikan sebagai adsorben logam karena ukuran partikel yang berada pada skala nanometer memiliki luas permukaan partikel yang besar yang dapat menyerap banyak logam.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh konsentrasi Fe₃O₄ dalam larutan limbah terhadap tingkat penyerapan logam berat Co dan Fe. Menentukan pengaruh ukuran partikel Fe₃O₄ terhadap tingkat penyerapan logam Co dan Fe, dan menentukan hasil amplifikasi guna untuk mengetahui turunnya kadar logam.

II. METODE PENELITIAN

Sintesis nanopartikel Fe₃O₄ dilakukan dengan menggunakan metode kopresipitasi. Bahan-bahan yang digunakan untuk sintesis nanopartikel Fe₃O₄ ini antara lain FeSO₄.7H₂O (Iron (II) sulfate heptahydrate) 4,1703 g, FeCl₃.6H₂O (Iron (III) chloride, hexahydrate) 8.109 g, NH₄OH (Ammonia Solution) 10% 24 ml, 4% dan aquades.

Pembuatan nanopartikel magnetik Fe₃O₄ dengan mencampurkan 4,1703 gram FeSO₄.7H₂O dengan 8,109 gram FeCl₃.6H₂O ke dalam 30 ml aquades dan diletakkan di atas magnetik stirer selama 5 sampai 10 menit, dengan perlakuan

suhu 60°C dan kecepatan 450 rpm selama 90 menit sambil ditetesi NH₄OH sedikit demi sedikit sampai warnanya hitam, kemudian dilakukan pencucian 5-7 kali sampai garamnya hilang, terakhir adalah dipanaskan di dalam *furnace*. Ketika sudah kering maka sampel nanopartikel Fe₃O₄ dihaluskan sampai menjadi serbuk nanopartikel Fe₃O₄ [4].

Pembuatan sampel densitas antara nanopartikel Fe₃O₄ dengan *artificial* limbah yaitu masing-masing 0,005 gram/ml, 0,006 gram/ml, 0,008 gram/ml, dan 0,01 gram/ml. Pembuatannya dengan cara mencampurkan 0,4 gram Fe₃O₄ ke dalam 80 ml *artificial* limbah, kemudian diletakkan di atas magnet stirer selama 3 jam, dan mengatur pHnya sampai 9. Selama proses ini, sampel diletakkan di atas magnet permanen 2 kali, masing-masing 30 menit. Kemudian sampel tersebut dikarakterisasi dengan AAS (*Atomic Absorbion Spectroscopy*) untuk mengetahui konsentrasi *artificial* limbah yang terserap oleh absorben nanopartikel magnetik Fe₃O₄. Nanopartikel magnetik Fe₃O₄ yang digunakan dalam penelitian ini berukuran 14,5 nm.

Dalam eksperimen ini dilakukan pencampuran *artificial* limbah dengan nanopartikel Fe₃O₄ yang memiliki ukuran masing-masing 11,5 nm, 14,5 nm, 30 nm, dan 80 µm. Untuk nanopartikel yang berukuran 11,5: mencampurkan 100 ml *artificial* limbah dengan 0,5 gram nanopartikel Fe₃O₄ di atas magnet stirer selama 3 jam dan memberikan cairan NH₄OH sampai pHnya sampai 9. Untuk ukuran nanopartikel berukuran 14,5 nm: mencampurkan 65 ml *artificial* limbah dengan 0,325 gram nanopartikel Fe₃O₄. Untuk ukuran nanopartikel berukuran 30 nm: mencampurkan 80 ml *artificial* limbah dengan 0,4 gram Fe₃O₄. Untuk ukuran nanopartikel 80 µm: mencampurkan 80 ml *artificial* limbah dengan 0,4 gram Fe₃O₄. Pada eksperimen ini menggunakan parameter yang sama yaitu pada suhu kamar, pH 9, dan lama pengadukan selama 3 jam. Kemudian larutannya disaring menggunakan kertas saring. Kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorbion Microscopy*)

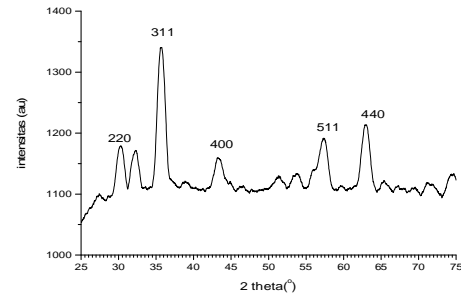
Hasil pencampuran antara nanopartikel Fe₃O₄ berukuran 11,5 nm dengan *artificial* limbah yang telah disaring, kemudian diamplifikasi dengan parameter-parameter yang sama yaitu pada temperatur ruang, pH 9, dan lama pengadukan 3 jam. Kemudian larutannya disaring untuk dikarakterisasi dengan AAS.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Nanopartikel Magnetik Fe₃O₄

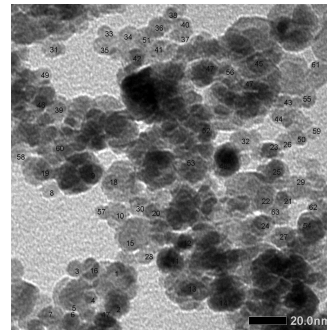
Berdasarkan hasil analisis pola difraktogram nanopartikel magnetik yang ditunjukkan pada Gambar 1 menunjukkan indikasi terbentuknya fasa Fe₃O₄ di dalam sampel hasil sintesis nanopartikel Fe₃O₄. Indikasi tersebut

didasarkan pada nilai parameter kekisi yang telah diestimasi dari sudut $2\theta = 35,68^\circ$ yaitu pada puncak difraksi utama dengan indek (311). Dari hasil tersebut juga diketahui nilai parameter kekisi 8,32 Å dan jarak antar bidang kristalnya 2,51 Å. Pada nilai parameter kekisi 8,324 Å mendekati nilai parameter referensi kekisi Fe₃O₄ dalam bentuk *bulk* (8,4 Å) [5]. Indikasi yang menunjukkan fasa Fe₃O₄ adalah adanya puncak-puncak difraksi indeks miller lain seperti (220), (400), (511), dan (440). Adanya puncak-puncak indeks miller tersebut menunjukkan indeks khas dari struktur spinel Fe₃O₄ yang biasa muncul dalam difraktogram XRD bahan Fe₃O₄.



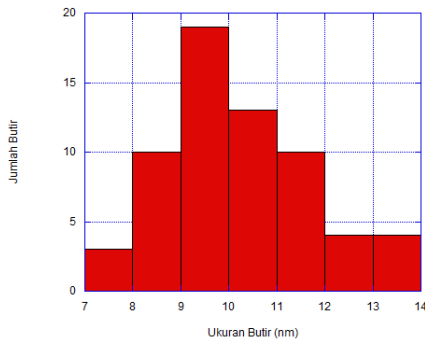
Gambar 1. Hasil XRD Nanopartikel Fe₃O₄ [7]

Hasil karakterisasi TEM pada nanopartikel Fe₃O₄ diperoleh bentuk morfologi Fe₃O₄ yang bulat dengan diameter nanopartikel yang beragam. Bentuk morfologi dari nanopartikel Fe₃O₄ dapat ditunjukkan pada Gambar 2.



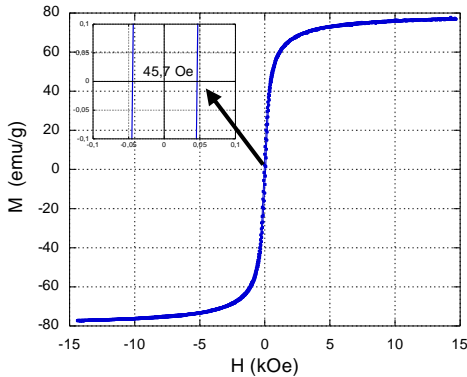
Gambar 2. Morfologi Nanopartikel Magnetik Fe₃O₄ [7]

Dari hasil TEM dapat dihitung diameter masing-masing partikel menggunakan *software ImageJ*. Hasil perhitungan masing-masing partikel kemudian dapat dibuat distribusi partikelnya menggunakan *Kaleidagraph*. Distribusi nanopartikel Fe₃O₄ ditunjukkan pada Gambar 3. Pada Gambar 3 diperoleh hasil 10 nm.



Gambar 3. Distribusi Ukuran Diameter nanopartikel magnetik Fe₃O₄

Gambar 4. menunjukkan kurva loop histerisis nanopartikel magnetik Fe₃O₄. Pengukuran sifat magnet melalui bentuk kurva loop histerisis memberikan informasi bahwa nanopartikel magnetik Fe₃O₄ yang disintesis ini mempunyai sifat superparamagnetik, hal ini dapat dilihat dari bentuk kurvanya yang menyerupai kurva superparamagnetik. Sampel Fe₃O₄ memiliki medan koersif 45,7 Oersted, magnetisasi remanen sebesar 7,846 emu/g, dan magnetisasi saturasi (M_s) sebesar 76,99 emu/g. Sifat superparamagnetik dari nanopartikel Fe₃O₄ membuatnya sangat rentan terhadap medan magnet luar, hal ini dapat dilihat pada kurva dengan memberikan sedikit medan magnet nanopartikel dapat mengalami magnetisasi saturasi. Dengan sifat yang mudah termagnetisasi maka nanopartikel Fe₃O₄ merupakan material *soft* magnetik.



Gambar 4. Kurva loop histerisis Fe₃O₄ [7]

Pengaruh Konsentrasi adsorben Fe₃O₄ terhadap Presentase Penurunan Kadar logam Co dan Fe

Tabel 1. Menunjukkan hasil pengujian pengaruh variasi konsentrasi adsorben Fe₃O₄ terhadap presentase penurunan kadar logam Co dan Fe.

Tabel 1. Pengaruh Konsentrasi adsorben Fe₃O₄

Semakin besar konsentrasi Fe₃O₄ menunjukkan tingkat penyerapan Fe₃O₄ terhadap Co dan Fe semakin besar. Hal ini bisa terjadi karena tumbukkan antara adsorben dengan adsorbet. Fe₃O₄ sebagai adsorben memiliki peran menyerap limbah Co dan Fe dengan cara menyerap logam-logam tersebut ke dalam permukaan adsorbennya. Nanopartikel

| No | Parameter | Row material (A) | Konsentrasi Fe ₃ O ₄ | | |
|----|-----------|------------------|--|-----------|---------|
| | | | 0,008 g/ml | 0,01 g/ml | |
| 1 | Co | 1058,073 | Rata-rata | 455,399 | 302,816 |
| | | | Persentase penurunan (%) | 56,959 | 71,380 |
| 2 | Fe | 1501,603 | Rata-rata | 0,551 | 0,122 |
| | | | Persentase penurunan (%) | 99,963 | 99,991 |

Fe₃O₄ sebagai material magnetik yang memiliki ukuran partikel yang berada pada skala nanometer memiliki luas permukaan partikel besar dapat menyerap banyak logam berat Co dan Fe. Sementara Co dan Fe juga merupakan material yang bersifat magnetik. Saat limbah bertumbukkan dengan adsorben, adsorbet menempel pada permukaan adsorben dan limbah Co dan Fe tidak dilepaskan lagi. Waktu pengadukan antara ion logam dengan adsorben merupakan parameter yang penting untuk mengetahui kecepatan reaksi absorpsi. Semakin sedikit waktu interaksi, laju reaksi makin cepat yang berarti juga laju absorpsi makin tinggi [6].

Pengaruh Ukuran butir adsorben Fe₃O₄ terhadap Presentase Penurunan Kadar logam Co dan Fe

Tabel 2. Menunjukkan hasil pengujian pengaruh variasi ukuran partikel adsorben Fe₃O₄ terhadap presentase penurunan kadar logam Co dan Fe

Tabel 2. Pengaruh ukuran partikel adsorben Fe₃O₄

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel menyebabkan kadar penurunan Co dan Fe semakin besar. Ini disebabkan karena ukuran partikel adsorben Fe₃O₄ memiliki ukuran partikel berada pada skala nanometer dan memiliki luas permukaan partikel besar yang menyerap banyak logam. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran partikel adsorben Fe₃O₄ yang lebih kecil mampu mengabsorpsi logam Co dan Fe lebih besar.

Pengaruh Amplifikasi pada Penurunan Kadar Logam Fe

| No | Parameter | Raw material (A) | Ukuran butir adsorben Fe ₃ O ₄ | | |
|----|-----------|------------------|--|---------|--------|
| | | | 14,5 nm | 11,5 nm | |
| 1 | Co | 1058,073 | Rata-rata | 1,654 | 1,533 |
| | | | Persentase penurunan (%) | 99,843 | 99,855 |
| 2 | Fe | 1501,603 | Rata-rata | 0,133 | 0 |
| | | | Persentase penurunan (%) | 99,991 | 100 |

dan Co dalam Artificial Limbah

Tabel 3. Pengaruh Amplifikasi

| No | Parameter | Raw material | Adsorpsi | | |
|----|-----------|--------------|--------------------------|--------|-----|
| | | | Pertama | Kedua | |
| 1 | Co | 1058,073 | Rata-rata | 1,540 | 0 |
| | | | Presentase penurunan (%) | 99,854 | 100 |
| 2 | Fe | 1501,603 | Rata-rata | 0 | 0 |
| | | | Presentase penurunan (%) | 100 | 100 |

Amplifikasi (pengulangan) merupakan parameter penting yang digunakan dalam proses penyerapan logam. Pengujian amplifikasi dilakukan sebanyak dua kali dengan perlakuan pH 9 dan waktu pengadukan 3 jam untuk setiap sampel. Dari hasil analisis SSA yang ditampilkan pada Tabel 3 diperoleh hasil logam Co dan Fe mengalami penurunan kadar logam maksimal pada amplifikasi ke dua yaitu mencapai 100%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak proses pengulangan mengakibatkan konsentrasi penurunan logam Fe dan Co semakin besar.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa adsorben nanopartikel Fe₃O₄ mampu menurunkan kadar logam Co dan Fe dalam *artificial* limbah.

Penurunan kadar logam Co dan Fe terjadi pada konsentrasi Fe₃O₄ 0,01 g/ml yaitu Co 71,38% dan Fe 99,991% . Penurunan kadar logam Co dan Fe terserap secara maksimal terjadi pada ukuran partikel Fe₃O₄ 11,5 nm yaitu Co 99,855% dan Fe 100%. Pengaruh amplifikasi mampu menjadikan nanopartikel Fe₃O₄ dalam menyerap logam Fe dan Co secara signifikan.

V. PUSTAKA

[1] Siti Wardiyati dkk, Adsorpsi Ion Pb²⁺ dan Ni²⁺ oleh Nanopartikel γ -Fe₂O₃/Fe₃O₄, 2007.

[2] Andreas, D.P. dan Ali, M, Penurunan Kadar Besi oleh Media Zeolit Alam Ponorogo Secara Kontinyu, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS, 2004.

[3] Y.F. Shen.etc, Tailoring Size and Structural Distortion of Fe₃O₄ nanoparticles for the purification of Contaminated water, Biosource Technology, 2009.

[4] Jing Sun.etc, Synthesis and Characterization of Biocompatible Fe₃O₄ Nanoparticles, Wiley InterScience DOI:10.1002/jbm.a.30909, 2006.

[5] Coey, J.M.D, Magnetism and Magnetic Materials, United States of America, Cambridge University Press, 2009.

[6] Feng Huixia.etc, Preparation and Characterization of the Cobalt Ferrite Nano-Particles by reverse Coprecipitation, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2013.

[7] Seveny Nuzully, Karakteristik Sifat Kemagnetan Pada Polyethylene Glicol (PEG) Coated Nanopartikel Magnetite (Fe₃O₄) untuk Pengikat DNA, Tesis, 2013.