

ARTIKEL RISET

Studi Adsorpsi Logam Co(II), Cu(II), dan Ni(II) dalam Limbah Cair Buatan Menggunakan Adsorben Nanopartikel Magnetik Fe₃O₄ dan ZnFe₂O₄

Desiana Wuryanti dan Edi Suharyadi*

Abstrak

Telah berhasil dilakukan studi adsorpsi logam Co(II), Cu(II), dan Ni(II) dalam limbah cair buatan menggunakan adsorben nanopartikel magnetik Fe₃O₄ dan ZnFe₂O₄. Nanopartikel Fe₃O₄ dan ZnFe₂O₄ disintesis menggunakan metode kopresipitasi. Pengaruh suhu (30°C, 60°C, 90°C, 120°C, dan 150°C), dan lama pengadukan (10 menit, 60 menit, dan 120 menit), serta perbandingan efektivitas adsorben nanopartikel Fe₃O₄ dan ZnFe₂O₄ dilakukan pada penelitian ini. Adsorpsi dalam pengaruh suhu untuk adsorben nanopartikel Fe₃O₄ menunjukkan penurunan adsorpsi. Adsorpsi maksimum terjadi pada suhu rendah (30°C) dengan persentase adsorpsi logam Co(II), Cu(II), dan Ni(II) masing-masing sebesar 20,34%, 88,90%, dan 22,86%. Pada adsorben nanopartikel ZnFe₂O₄ terjadi kenaikan adsorpsi. Adsorpsi maksimum terjadi pada suhu tertinggi (150°C) dengan persentase adsorpsi logam Co(II), Cu(II), dan Ni(II) masing-masing sebesar 28,90%, 100%, dan 29,40%. Adsorpsi dalam pengaruh lama pengadukan menggunakan kedua adsorben mengalami penurunan adsorpsi. Adsorpsi logam Co(II), Cu(II), dan Ni(II) oleh adsorben ZnFe₂O₄ lebih efektif dibandingkan Fe₃O₄ karena memiliki ukuran butir lebih kecil.

kata kunci: adsorpsi; Co(II); Cu(II); Ni(II); adsorben

Abstract

Adsorption studies of Co(II), Cu(II), and Ni(II) in artificial wastewater using Fe₃O₄ and ZnFe₂O₄ magnetic nanoparticles adsorbents have been successfully done. Fe₃O₄ and ZnFe₂O₄ nanoparticles were synthesized using coprecipitation method. The effect of temperature (30°C, 60°C, 90°C, 120°C, dan 150°C), and stirring time (10 minutes, 60 minutes, and 120 minutes), and the comparative effectiveness of adsorbent Fe₃O₄ and ZnFe₂O₄ nanoparticle was performed in this study. Effect of temperature in adsorption study of Fe₃O₄ nanoparticle adsorbent have showed a decrease in adsorption with maximum adsorption occurs at low temperature (30°C) with the percentage of metal adsorption Co(II), Cu(II), and Ni(II) was 20.34%, 88%, 90%, and 22.86%, respectively. The effect of temperature in adsorption study of ZnFe₂O₄ nanoparticle adsorbent have showed increase in adsorption, maximum adsorption occurs at the highest temperature (150°C) with the percentage of metal adsorption Co(II), Cu(II) and Ni(II) was 28.90%, 100% and 29.40% respectively. While the influence of difference in stirring time at metal adsorption in both adsorbent have showed decrease in adsorption. Adsorption of Co(II), Cu(II), and Ni(II) on adsorbent ZnFe₂O₄ more effective than Fe₃O₄ because it has a smaller on particle sizes. Thus, the adsorbent of Fe₃O₄ and ZnFe₂O₄ magnetic nanoparticles can be used to adsorb of Co(II), Cu(II), and Ni(II).

keywords: adsorption; Co(II); Cu(II); Ni(II); adsorbents

1. Pendahuluan

Limbah industri sebagian besar mengandung bahan-bahan kimia berbahaya. Perhatian utama

diberikan pada bahan kimia beracun yang ditemukan di sungai, yaitu logam berat. Logam berat merupakan elemen yang tidak dapat terurai (persisten) dan dapat terakumulasi melalui rantai makanan (bioakumulasi), dengan efek jangka panjang yang merugikan pada makhluk hidup [1]. Metode adsorpsi merupakan salah satu metode yang baik digunakan untuk pemurnian

*Korespondensi: esuharyadi@ugm.ac.id

Department of Physics, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara PO BOX BLS 21, 55281, Yogyakarta, Indonesia

Informasi lengkap tentang penulis dapat dilihat pada akhir artikel

air dari logam berat. Metode Adsorpsi adalah metode yang prosesnya sederhana, biaya relative murah dan cepat. Metode adsorpsi melibatkan pembentukan ikatan antara adsorben (zat penjerap) dan adsorbat (zat terjerap).

Adsorben yang saat ini sedang banyak dikaji oleh dikaji oleh para peneliti adalah adsorben nanopartikel magnetik. Pada partikel berukuran nano, partikel adsorben memiliki luas permukaan yang besar sehingga memiliki kapasitas yang besar untuk mengadsorpsi ion logam berat [2]. Salah satu sifat istimewa dari nanopartikel magnetik adalah sifat superparamagnetik, yakni sifat suatu material yang memiliki magnetisasi yang besar ketika diberi medan magnet eksternal. Adsorben nanopartikel magnetik yang menarik untuk diteliti adalah Fe_3O_4 dan ZnFe_2O_4 .

Pada penelitian ini dilakukan adsorpsi logam Co(II), Cu(II), dan Ni(II) dalam limbah cair buatan. Adsorpsi dilakukan dibawah pengaruh suhu dan lama pengadukan dengan menggunakan adsorben nanopartikel magnetik Fe_3O_4 dan ZnFe_2O_4 . Selain itu, membandingkan efektivitas penggunaan adsorben nanopartikel magnetik Fe_3O_4 dan ZnFe_2O_4 dalam menurunkan kadar logam Co(II), Cu(II), dan Ni(II) di dalam limbah cair buatan.

2. Metode Penelitian

2.1 Pembuatan limbah cair buatan

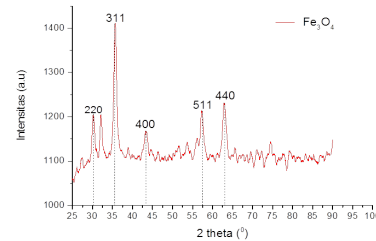
Bahan dasar untuk limbah cair buatan logam Co(II), Cu(II), dan Ni(II) yang digunakan CoSO_4 , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, dan $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Seluruh bahan dicampur diaduk dengan kecepatan 450rpm selama 4 jam. Larutan tersebut diatur pada pH 7, kemudian diuji AAS.

2.2 Sintesis Nanopartikel Fe_3O_4

Proses sintesis Fe_3O_4 dengan metode kopresipitasi dilakukan dengan bahan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, dan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan NH_4OH dicampurkan. Proses sintesis dengan suhu 60°C selama 90 menit dan kecepatan 450 rpm. Setelah itu larutan Fe_3O_4 udian dicuci dan diendapkan kemudian dikeringkan menggunakan furnace dengan suhu 60°C selama 90 menit.

2.3 Sintesis nanopartikel ZnFe_2O_4

Proses sintesis ZnFe_2O_4 dengan metode kopresipitasi dilakukan dengan dicampurkan 1,149 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 2,162 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, dan 3,37 mL HCl didalam 20 mL aquades. Selanjutnya, campuran tersebut dimasukkan kedalam larutan NaOH 2,99 g dalam 50 mL aquades tetes demi tetes secara perlahan dengan suhu 90°C selama 1 jam dan kecepatan pengadukan 1000 rpm.



Gambar 1: Hasil karakterisasi XRD sampel Fe_3O_4

Tabel 1: Parameter Kisi dan Ukuran Partikel

No	Sampel	Ukuran partikel (nm)	Parameter kisi (Å)
1	Fe_3O_4	(8, 34 ± 0, 29)	(12, 10 ± 0, 10)
2	ZnFe_2O_4	(8, 44 ± 0, 30)	(9, 40 ± 0, 10)

Setelah itu, larutan dicuci dan diendapkan. Endapan magnet ZnFe_2O_4 yang sudah bersih dan tidak berbau (murni) dikeringkan di dalam furnace pada suhu 90°C selama 4-5 jam.

2.4 Karakterisasi nanopartikel magnetik Fe_3O_4 dan ZnFe_2O_4

Karakterisasi nanopartikel magnetik Fe_3O_4 dan ZnFe_2O_4 hasil sintesis menggunakan alat XRD di Laboratorium Kimia Analitik, Kimia UGM. Setelah data diperoleh kemudian diolah menggunakan *software origin.9* sehingga diperoleh grafik dengan puncak-puncak. Kemudian dihitung parameter kekisi dan indeks miller.

2.5 Adsorpsi logam dalam limbah cair buatan

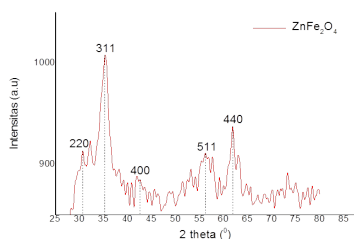
Adsorpsi logam dalam limbah cair buatan dilakukan dengan dilarutkan 0,1 gram nanopartikel magnetik ke dalam 20 mL larutan limbah cair buatan. Kemudian diaduk dengan kecepatan 1000 rpm dengan suhu dan waktu pengadukan divariasi. Setelah proses selesai larutan diendapkan dengan magnet permanen hingga mengendap seluruhnya kemudian larutan disaring menggunakan kertas saring kemudian larutan sampel diuji menggunakan AAS.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakterisasi Nanopartikel Fe_3O_4 dan ZnFe_2O_4 Menggunakan XRD

Karakterisasi Sampel Fe_3O_4

Pola difraktogram dari hasil analisa karakterisasi XRD sampel Fe_3O_4 (gambar 1) mengindikasikan bahwa telah terbentuk fasa Fe_3O_4 . Hal tersebut didasarkan pada nilai parameter kekisi yang telah diestimasi pada sudut $2\theta = 35,68^\circ$ dengan indeks bidang (311) adalah

Gambar 2: Hasil karakterisasi XRD sampel ZnFe_2O_4

Tabel 2: Data kadar awal limbah buatan

No	Ion logam	Kadar logam (ppm)
1	Co	285 ± 3
2	Cu	$2,2 \pm 1,5$
3	Ni	306 ± 4

8,34 dengan jarak antar bidang kristal 2,51 mendekati nilai parameter kekisi Fe_3O_4 dalam keadaan bulk (8,397) [3]. Selain itu, terbentuk puncak-puncak difraksi dengan indeks miller (220), (400), (511) dan (440) yang merupakan indeks khas dari struktur kubik spinel Fe_3O_4 yang selalu muncul dalam difaktogram XRD bahan Fe_3O_4 (JCPDS No.2210-12). Ukuran butir nanopartikel dihitung menggunakan persamaan scherrer diperoleh 12,1 nm. Ukuran partikel ini menunjukkan bahwa sampel Fe_3O_4 yang diperoleh berukuran nanopartikel.

Pola difaktogram dari hasil analisa karakterisasi XRD sampel ZnFe_2O_4 (gambar 2) mengindikasikan bahwa telah terbentuk fasa ZnFe_2O_4 . Fasa ZnFe_2O_4 ini terindikasi dari terbentuknya puncak-puncak difraksi dengan indeks bidang (220), (311), (400), (511), dan (440) yang merupakan puncak difraksi ZnFe_2O_4 pada material bulk. Hal tersebut diperkuat dengan menganalisa salah satu puncak dengan intensitas tertinggi dengan indeks (311) diperoleh parameter kekisi 8,44 dengan jarak antar bidang kristal 2,54 sesuai dengan JCPDS No 2210-12. Menggunakan persamaan scherer diperoleh ukuran butir partikel 9,4nm yang merupakan ukuran nanopartikel dari ZnFe_2O_4 .

3.2 Hasil Limbah Cair Buatan

Pada tabel 2 menunjukkan bahwa kadar awal logam dalam limbah cair buatan memiliki perbedaan yang cukup besar. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya pengendapan selama kenaikan pH menuju pH netral (pengaturan pH). pH suatu larutan menunjukkan aktivitas ion hidrogen (H^+) dalam larutan tersebut dan dinyatakan sebagai konsentrasi ion hidrogen (dalam mole per liter) pada suhu tertentu

adanya pengendapan selama kenaikan pH menuju pH netral (pengaturan pH). pH suatu larutan menunjukkan aktivitas ion hidrogen (H^+) dalam larutan tersebut dan dinyatakan sebagai konsentrasi ion hidrogen (dalam mole per liter) pada suhu tertentu. Endapan akan terbentuk karena ion (H^+) bergabung dengan ion logam dan membentuk endapan dengan konsentrasi ion logam dan ion (H^+) saat itu lebih tinggi dari hasil kali kelarutan. Tiap logam memiliki pH spesifik saat kelarutannya minimum sehingga dapat mengendap dengan maksimal[4]. Oleh sebab itu, dapat diasumsikan bahwa pH spesifik untuk ion logam mengendap pada $\text{Cu}^{2+} < \text{Co}^{2+} < \text{Ni}^{2+}$ sehingga kadar ion logam Cu^{2+} pada kadar yang paling sedikit.

3.3 Pengaruh Suhu Terhadap Adsorpsi Kadar Logam Co(II), Cu(II), dan Ni(II) pada Limbah Cair Buatan

3.3.1 Pengaruh suhu terhadap penurunan kadar logam Co(II), Cu(II), dan Ni(II) dengan adsorben Fe_3O_4

Pada penelitian ini, hasil yang ditunjukkan pada tabel 3 menunjukkan adanya adsorpsi pada ion logam Co^{2+} , Cu^{2+} , dan Ni^{2+} dengan menggunakan adsorben nanopartikel Fe_3O_4 . Sebelum diberikan perlakuan peningkatan suhu atau pada suhu 30°C (suhu ruang) terdapat perbedaan adsorpsi antar ion logamnya. Adsorpsi ion logam $\text{Cu}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Co}^{2+}$, hal tersebut mungkin dikarenakan, proses adsorpsi merupakan terjadinya ikatan antara adsorben dan adsorbat. Karakteristik adsorbat diantaranya sifat kemagnetan, massa molekul, elektronegativitas, daya hantar panas, dan massa molekul sangat memengaruhi tingkat adsorpsi. Ion logam Cu^{2+} menunjukkan tingkat adsorpsi tertinggi dibandingkan ion logam lainnya. Hal ini mungkin karena kadar awal ion logam Cu^{2+} yang sangat kecil dibandingkan ion logam lainnya dengan jumlah konsentrasi adsorben yang sama sehingga ion logam Cu^{2+} memiliki peluang untuk teradsorpsi lebih banyak. Selain itu, bisa juga karena nilai elektronegativitas $\text{Cu}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Co}^{2+}$ sesuai dalam tabel periodik yang menyatakan dari kiri ke kanan nilai elektronegativitas makin tinggi. Nilai elektronegativitas ini menyatakan kecenderungan atom untuk menarik pasangan elektron ikatan sehingga ion logam dengan elektronegativitas lebih tinggi akan lebih mudah berinteraksi dengan adsorben.

Hasil yang diperoleh secara keseluruhan, seluruh ion logam cenderung mengalami penurunan persentase adsorpsi seiring dengan kenaikan suhu. Hasil tersebut diperoleh karena ketika suhu semakin tinggi, maka partikel akan bergerak aktif. Hal tersebut akan menyebabkan tumbukan antar partikel dan terjadi

Tabel 3: Pengaruh suhu terhadap penurunan kadar logam Co(II), Cu(II), dan Ni(II) dengan adsorben Fe₃O₄

Suhu (°C)	Logam					
	Co		Cu		Ni	
	kadar akhir (ppm)	% penurunan	kadar akhir (ppm)	% penurunan	kadar akhir (ppm)	% penurunan
30	227,12 ± 4,12	20,34 ± 0,63	0,20 ± 0,01	88,90 ± 0,48	236,11 ± 4,12	22,80 ± 0,69
60	229,60 ± 0,87	19,45 ± 1,17	0,25 ± 0,02	88,34 ± 0,82	233,90 ± 2,06	23,60 ± 1,59
90	239,00 ± 0,00	16,10 ± 0,94	0,34 ± 0,01	84,00 ± 0,61	241,00 ± 1,84	21,30 ± 1,31
120	275,00 ± 3,34	3,50 ± 1,13	0,53 ± 0,01	75,50 ± 0,25	304,50 ± 3,20	0,50 ± 2,02
150	273,90 ± 1,92	3,94 ± 1,28	0,54 ± 0,01	74,78 ± 0,44	311,90 ± 13,33	0

Tabel 4: Pengaruh suhu terhadap adsorpsi kadar logam Co(II), Cu(II) dan Ni(II) dengan adsorben ZnFe₂O₄

Suhu (°C)	Logam					
	Co		Cu		Ni	
	kadar akhir (ppm)	% penurunan	kadar akhir (ppm)	% penurunan	kadar akhir (ppm)	% penurunan
RT	222,80 ± 2,04	21,80 ± 1,52	0,05 ± 0,03	97,70 ± 0,02	241,50 ± 1,85	21,10 ± 1,16
60	228,20 ± 3,34	24,90 ± 0,27	Ttd	100	240,38 ± 5,53	21,50 ± 2,05
90	218,30 ± 3,34	23,40 ± 1,77	Ttd	100	230,70 ± 8,48	24,60 ± 3,53
120	211,60 ± 3,36	25,70 ± 1,04	Ttd	100	216,80 ± 4,89	29,20 ± 0,73
150	202,70 ± 1,92	28,90 ± 1,43	Ttd	100	202,90 ± 1,85	29,40 ± 1,03

*ttd=tidak terdeteksi dibawah batas deteksi alat
Batas Deteksi : Cu = 0,01 ppm

pemutusan rantai hidroksil akibat evaporasi yang terjadi pada air dan menyebabkan desorpsi. Desorpsi adalah pelepasan ion-ion logam yang terikat di permukaan maupun pori-pori adsorben. Selain itu, pengaruh suhu terhadap adsorpsi menunjukkan semakin rendahnya kapasitas adsorpsi, yaitu ketika suhu dinaikkan dikarenakan melemahnya energi ikat antara adsorben dan adsorbat[5].

Perbedaan adsorpsi dibawah pengaruh suhu antara ion logam Co²⁺ dan Ni²⁺ menunjukkan perbedaan yang signifikan seiring kenaikan suhu. Diketahui pada adsorpsi sebelum adanya perlakuan suhu, adsorpsi keduanya menunjukkan hasil perbedaan yang tidak signifikan. Pada kenaikan suhu adsorpsi 30°C -90°C ion logam Ni²⁺ menunjukkan tingkat adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan ion logam Co²⁺. Hal ini dapat diasumsikan karena adanya perbedaan penyerapan kalor pada ion logam Ni²⁺ yang lebih cepat dibandingkan ion logam Co²⁺. Oleh karena itu, dengan serapan kalor yang lebih cepat menyebabkan ion logam Ni²⁺ lebih cepat panas sehingga ion logam Ni²⁺ lebih aktif bergerak dan lebih aktif menuju situs aktif pada adsorben. Oleh karena itu adsorpsi ion logam Ni²⁺ lebih tinggi daripada adsorpsi ion logam Co²⁺. Pada suhu tinggi yakni pada suhu 90°C -150°C adsorpsi ion logam Co²⁺ lebih tinggi daripada ion logam Ni²⁺, hal ini diasumsikan karena serapan kalor logam Ni²⁺ yang lebih cepat mengakibatkan gerak ion Ni²⁺ lebih aktif. Partikel adsorben juga bergerak cepat ketika suhu tinggi sehingga terjadi tumbukan yang lebih kuat antarpartikel. Hal ini menyebabkan terjadinya pelepasan ikatan antara ion logam Ni²⁺ dari partikel adsorben.

3.3.2 Pengaruh suhu terhadap adsorpsi logam Co(II), Cu(II), dan Ni(II) pada limbah cair buatan dengan adsorben ZnFe₂O₄

Hasil pengujian pengaruh suhu terhadap adsorpsi ion logam Co²⁺, Cu²⁺, dan Ni²⁺ dengan adsorben ZnFe₂O₄ ditunjukkan pada tabel 4. Pada suhu 30°C, adsorpsi menggunakan adsorben ZnFe₂O₄ telah menunjukkan adanya penurunan persentase adsorpsi pada ion-ion logam. Ion logam Cu²⁺, diserap tinggi dengan nilai persentase 97,70% dan lebih tinggi dari ion logam Co²⁺ dan Ni²⁺ yang nilai persentase penurunannya relatif sama dengan selisih yang tidak signifikan. Hal ini tentu saja karena ion logam Cu²⁺ kadarnya sangat sedikit dalam larutan sehingga persentase adsorpsi lebih besar.

Berdasarkan tabel 4 menunjukkan bahwa persentase adsorpsi ion logam tembaga Cu²⁺ cenderung konstan dengan adsorpsi 100%, sedangkan pada ion logam Cu²⁺ dan Ni²⁺ cenderung naik sedikit atau tidak terlalu signifikan seiring kenaikan suhu adsorpsi. Hal ini mengindikasikan bahwa kenaikan suhu sangat memengaruhi tingkat adsorpsi ion logam Co²⁺ dan Ni²⁺. Akan tetapi, kenaikan suhu tidak memengaruhi pada adsorpsi ion logam Cu²⁺ dengan adsorben ZnFe₂O₄. Hal tersebut tentu saja karena kadar ion logam Cu²⁺ yang sedikit sehingga dengan suhu yang dinaikkan membuat ion logam Cu²⁺ lebih aktif menuju permukaan adsorben sehingga teradsorpsi sempurna.

Adsorpsi pada ion logam Co²⁺ dan ion logam Ni²⁺ cenderung mengalami kenaikan walaupun tidak terlalu signifikan. Kenaikan tingkat adsorpsi ion logam seiring kenaikan suhu disebabkan karena penurunan pH_{pzc} dari adsorben ZnFe₂O₄ [6]. Penurunan pH_{pzc} tersebut disebabkan oleh peningkatan suhu.

Penurunan pH_{pzc} menyebabkan penambahan muatan negatif pada permukaan adsorben untuk pH larutan yang sama sehingga menambah gaya tarik dengan adsorbat yang bermuatan positif dan menambah kemampuan adsorben untuk menarik adsorbat. Pada pH_{pzc} yang rendah tingkat adsorpsi lebih memberikan hasil yang efektif. Menurut [7] adsorpsi pada pH tinggi hasil adsorpsi kurang sempurna karena terbentuknya senyawa oksidasi dari ion-ion logam sehingga akan menutupi permukaan adsorben dan menghalangi proses adsorpsi.

3.3.3 Perbedaan pengaruh suhu terhadap adsorpsi logam Co(II), Cu(II) dan Ni(II) pada limbah buatan dengan adsorben Fe₃O₄ dan ZnFe₂O₄

Pada tabel 3 menunjukkan pengaruh suhu terhadap adsorpsi ion logam dengan adsorben Fe₃O₄ menunjukkan kecenderungan penurunan persentase adsorpsi, sedangkan pada tabel 4 menunjukkan pengaruh suhu terhadap adsorpsi ion logam dengan adsorben ZnFe₂O₄ yang menunjukkan kecenderungan kenaikan adsorpsi. Diketahui bahwa pengaruh suhu tinggi terhadap adsorpsi menunjukkan semakin rendahnya kapasitas adsorpsi ketika suhu dinaikkan, ini dikarenakan melemahnya energi ikat antara adsorben dan adsorbat [5]. Hal tersebut berlaku pada adsorben Fe₃O₄, akan tetapi pada adsorben ZnFe₂O₄ fenomena tersebut tidak terjadi. Kecenderungan kenaikan adsorpsi dengan menggunakan adsorben ZnFe₂O₄ terjadi karena adanya penurunan pH_{pzc} pada permukaan adsorben seiring kenaikan suhu sehingga terjadi kenaikan adsorpsi.

3.4 Pengaruh Lama Pengadukan Terhadap Penurunan Kadar Co(II), Cu(II) dan Ni(II) Pada Limbah Buatan

3.4.1 Pengaruh lama pengadukan terhadap persentase penurunan logam Co(II), Cu(II) dan Ni(II) menggunakan adsorben Fe₃O₄

Berdasarkan tabel 5, dalam lama pengadukan 10 menit atau waktu kontak yang singkat telah menunjukkan terjadinya penurunan kadar. Hal ini dapat diasumsikan adsorpsi telah terjadi dalam waktu yang singkat dengan menggunakan adsorben Fe₃O₄. Hasil persentase penurunan ion logam Cu²⁺ > Co²⁺ > Ni²⁺. Ion logam Cu²⁺ menunjukkan adsorpsi tertinggi karena kadar ionnya yang kecil. Pada ion logam Co²⁺ lebih tinggi dari adsorpsi ion logam Ni²⁺ dengan nilai masing-masing 40,64% dan 21,20%, sehingga dapat diasumsikan bahwa ion logam Cu²⁺ lebih cepat teradsorpsi dibandingkan ion logam Ni²⁺. Hal tersebut dikarenakan sifat adsorben magnetit menunjukkan sifat feromagnetik dan ion logam Co²⁺ memiliki sifat yang lebih kuat dibandingkan dengan ion logam Ni²⁺. Sifat magnetik

ini merujuk pada proses penurunan kadar logam yang melibatkan dua tahap, yaitu proses adsorpsi dan proses pengendapan hasil adsorpsi dengan bantuan medan magnet luar. Ketika proses pengendapan adsorben bertambah magnetisasinya akibat medan magnet eksternal yang diberikan sehingga adsorben dapat menarik lebih banyak ion logam yang memiliki sifat magnetik lebih kuat.

Pada ion logam Co²⁺ penurunan kadar logamnya cenderung turun. Pada menit ke 10 sampai menit ke 120 terjadi penurunan adsorpsi yakni 40,6% ke 10,50%. Penurunan persentase adsorpsi mungkin dikarenakan, ion logam Co²⁺ yang telah teradsorpsi pada menit ke 10 mengalami desorpsi pada menit selanjutnya akibat tumbukan antar partikel sehingga melepaskan jerapan adsorben pada adsorbat. Pada ion logam Cu²⁺ pada lama pengadukan 10 menit ke 180 menit persentase adsorpsi cenderung konstan dengan memperhatikan perhitungan ralat memberikan hasil yang besarnya relatif sama. Adanya perubahan waktu tersebut belum memberikan pengaruh yang signifikan pada adsorpsi ion logam Cu²⁺ dengan adsorben Fe₃O₄. Hal ini juga dikarenakan kadar ion logam Cu²⁺ yang sangat kecil.

Pada ion logam Ni²⁺, persentase penurunan kadar logamnya cenderung berfluktuasi. Pada menit 10 ke 60 mengalami kenaikan dari 21,2% ke 22,8% dan menit 60 ke 120 mengalami penurunan adsorpsi dari 22,8% ke 8,6%. Kenaikan adsorpsi mungkin dikarenakan pada menit 10 ke menit 60 memberikan waktu yang lebih lama untuk ion logam Ni²⁺ bergerak menuju ke situs aktif pada permukaan adsorben. Ketika terjadi penurunan pada menit ke 60 mungkin dikarenakan desorpsi akibat tumbukan antar partikel yang frekuensinya menjadi lebih lama sehingga menyebabkan ion logam yang telah terjepit kemudian terlepas kembali.

3.4.2 Pengaruh waktu pengadukan terhadap penurunan kadar logam Co(II), Cu(II), dan Ni(II) pada limbah cair buatan dengan adsorbent ZnFe₂O₄

Pengaruh lama pengadukan terhadap penurunan kadar ion logam Co²⁺, Cu²⁺, dan Ni²⁺ menggunakan adsorben ZnFe₂O₄ ditunjukkan pada tabel 6 Ion logam telah teradsorpsi dengan baik dalam waktu singkat. Pada penelitian [8] diketahui bahwa adsorpsi maksimal pada adsorben ZnFe₂O₄ terjadi dalam waktu 10 menit. Adsorpsi tertinggi pada ion logam Cu²⁺, kemudian ion logam Ni²⁺, dan paling rendah ion logam Co²⁺. Perbedaan tingkat adsorpsi ini mungkin karena bentuk adsorpsi ion logam Cu²⁺ > Ni²⁺ > Co²⁺ pada adsorben nanopartikel ZnFe₂O₄ adalah Multilayer [6]. Ion-ion logam berkompetisi untuk

Tabel 5: Pengaruh lama pengadukan terhadap penurunan kadar logam Co(II), Cu(II), dan Ni(II) dengan adsorben Fe₃O₄

Waktu (menit)	Logam					
	Co		Cu		Ni	
	kadar akhir (ppm)	% penurunan	kadar akhir (ppm)	% penurunan	kadar akhir (ppm)	% penurunan
10	169,20 ± 1,32	40,64 ± 0,20	0,23 ± 0,01	89,10 ± 0,60	241,00 ± 2,04	21,20 ± 0,539
60	227,10 ± 4,02	20,30 ± 0,63	0,24 ± 0,01	88,90 ± 0,485	236,10 ± 4,12	22,80 ± 0,69
120	255,00 ± 3,34	10,50 ± 1,09	0,21 ± 0,01	90,00 ± 0,41	279,90 ± 4,89	8,60 ± 2,25

Tabel 6: Pengaruh lama pengadukan terhadap penurunan kadar logam Co(II), Cu(II), dan Ni(II) dengan adsorben ZnFe₂O₄

Waktu pengadukan (menit)	Logam					
	Co		Cu		Ni	
	kadar akhir (ppm)	% penurunan	kadar akhir (ppm)	% penurunan	kadar akhir (ppm)	% penurunan
10	158,20 ± 0,76	44,50 ± 0,41	0,05 ± 0,03	97,60 ± 0,39	154,40 ± 3,55	49,60 ± 1,82
60	222,75 ± 2,04	21,80 ± 1,52	0,05 ± 0,03	97,70 ± 0,02	241,40 ± 1,85	21,10 ± 1,17
120	233,80 ± 1,93	17,90 ± 1,14	0,55 ± 0,38	74,40 ± 0,67	243,60 ± 0,00	20,40 ± 1,02

menempati layer terdalam pada adsorben. Dengan elektronegativitas $\text{Cu}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Ni}^{2+}$ memungkinkan dengan elektronegativitas lebih tinggi akan lebih mudah berinteraksi dengan adsorben dan menempatkan adsorben pada layer lebih dalam. Ion logam yang berada pada layer lebih luar akan lebih mudah terjadi perubahan efisiensi adsorpsi. Pada keseluruhan hasil menunjukkan bahwa persentase penurunan kadar logam mengalami fluktuasi seiring dengan bertambahnya lama pengadukan.

Adsorpsi ion logam Co^{2+} dan Ni^{2+} mengalami fluktuasi dengan lama pengadukan yang sama. Hal tersebut mungkin karena sifat ion logam Co^{2+} dan Ni^{2+} hampir sama dari segi kemagnetan bahan, yakni bersifat feromagnetik yang berpengaruh pada proses pengendapan hasil adsorpsi. Adsorpsi mengalami penurunan dari menit ke 10 ke menit 120 dengan nilai masing-masing 44,50% dan 49,60% menurun ke 17,90% dan 20,40%. Hal tersebut diasumsikan bahwa penurunan persentase adsorpsi ini disebabkan oleh adanya lama pengadukan yang meningkat. Lamanya pengadukan mengakibatkan desorpsi. Hal tersebut memperkuat pernyataan bahwa adsorpsi menggunakan adsorben ZnFe₂O₄ terjadi dalam waktu singkat yakni 10 menit[8].

Adsorpsi ion logam Cu^{2+} mengalami fluktuasi, yaitu terjadi penurunan adsorpsi pada menit ke 10 ke menit 120 dari 97,06% ke 74,04% dan mengalami kenaikan adsorpsi dari menit 120 ke 180 yakni 74,40% ke 96,8%. Adanya penurunan adsorpsi dari menit 10 ke menit 120 dikarenakan adsorpsi telah mencapai equilibrium time. Dengan demikian, semakin lama waktu kontak maka frekuensi tumbukan antar partikel akan meningkat dan adsorben telah jenuh sehingga terjadi desorpsi yang menurunkan kapasitas adsorpsi.

3.4.3 Perbedaan pengaruh lama pengadukan terhadap adsorpsi logam Co(II), Cu(II) dan Ni(II) pada limbah cair buatan dengan adsorben Fe₃O₄ dan ZnFe₂O₄

Adsorpsi dengan adsorben nanopartikel Fe₃O₄ dan adsorben ZnFe₂O₄ keseluruhan menunjukkan penurunan adsorpsi. Hal ini diasumsikan adsorpsi menggunakan kedua adsorben seiring bertambahnya waktu kontak akan mengakibatkan desorpsi karena diasumsikan adsorben Fe₃O₄ dan adsorben ZnFe₂O₄ menjerap ion logam dalam waktu yang singkat. Oleh karena itu, dengan frekuensi tumbukan yang lama maka adsorpsi menurun.

3.5 Perbandingan Efektivitas Adsorpsi Adsorben Fe₃O₄ dan ZnFe₂O₄

3.5.1 Variasi adsorben Fe₃O₄ dan ZnFe₂O₄ pada suhu RT dan lama pengadukan 10 menit

Tabel 7 menunjukkan perbandingan Adsorpsi Fe₃O₄ dan ZnFe₂O₄ pada waktu pengadukan 10 menit dan suhu RT. Pada adsorpsi ion logam Cu^{2+} menunjukkan hasil adsorpsi yang tinggi dengan menggunakan adsorben ZnFe₂O₄ dibandingkan dengan adsorben Fe₃O₄. Nilai persentase penurunan kadar ion logam menggunakan adsorben Fe₃O₄ sebesar 97,60% dan adsorben Fe₃O₄ sebesar 89,10%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ion logam Cu^{2+} berinteraksi lebih baik dengan adsorben ZnFe₂O₄ dibandingkan dengan adsorben Fe₃O₄.

Ion logam Co^{2+} teradsorpsi dengan adsorben ZnFe₂O₄ lebih efektif, mungkin karena reaksi adsorpsi antara ion logam Co^{2+} dan ZnFe₂O₄ lebih cepat terjadi dibandingkan dengan adsorben Fe₃O₄. Begitu pula dengan adsorpsi logam Ni^{2+} Pada adsorpsi ion logam Ni^{2+} adsorpsi dengan menggunakan adsorben Fe₃O₄ dan ZnFe₂O₄ menunjukkan persentase penurunan masing-masing 21,2% dan 49,6%. Hasil ini menunjukkan bahwa adsorben ZnFe₂O₄ lebih efektif

Tabel 7: Perbandingan adsorpsi Fe_3O_4 dan ZnFe_2O_4 pada suhu 60° dan waktu pengadukan 60 menit

Logam	Kadar Awal	Adsorben			
		Fe_3O_4		ZnFe_2O_4	
		kadar akhir (ppm)	% penurunan	kadar akhir (ppm)	% penurunan
Cu	2,15	$0,23 \pm 0,01$	$89,10 \pm 0,60$	$0,05 \pm 0,03$	$97,60 \pm 0,39$
Co	285,13	$169,20 \pm 1,32$	$40,60 \pm 0,20$	$158,20 \pm 0,76$	$44,50 \pm 0,41$
Ni	306,11	$241,00 \pm 2,04$	$21,20 \pm 0,54$	$154,40 \pm 3,55$	$49,60 \pm 1,82$

Tabel 8: Perbandingan adsorpsi Fe_3O_4 dan ZnFe_2O_4 pada waktu pengadukan 10 menit dan suhu RT

Logam	Kadar Awal	Adsorben			
		Fe_3O_4		ZnFe_2O_4	
		kadar akhir (ppm)	% penurunan	kadar akhir (ppm)	% penurunan
Cu	2,15	$0,25 \pm 0,02$	$88,30 \pm 0,82$	Ttd	100
Co	285,13	$229,60 \pm 0,88$	$19,50 \pm 1,17$	$228,20 \pm 3,34$	$24,90 \pm 0,27$
Ni	306,11	$233,90 \pm 2,06$	$23,60 \pm 1,59$	$240,38 \pm 5,53$	$21,50 \pm 2,05$

dibandingkan adsorben Fe_3O_4 dalam mengadsorpsi ion logam Ni^{2+} .

Hasil yang ditunjukkan pada tabel 7 dan tabel 8, secara keseluruhan adsorben ZnFe_2O_4 memiliki efektivitas adsorpsi yang lebih tinggi daripada adsorben Fe_3O_4 . Hal ini diasumsikan karena adsorben ZnFe_2O_4 lebih reaktif daripada adsorben Fe_3O_4 yang ditinjau dari perbedaan ukuran partikel adsorben. Berdasarkan hasil analisa XRD menunjukkan bahwa ukuran nanopartikel ZnFe_2O_4 , yakni 9,4 nm dan lebih kecil dibandingkan ukuran nanopartikel Fe_3O_4 yang memiliki ukuran 12,1 nm. Hal tersebut membuat nanopartikel ZnFe_2O_4 akan lebih banyak memiliki situs aktif untuk mengikat ion adsorbat sehingga akan lebih efektif adsorpsinya. Selain itu, dengan ukuran partikel yang lebih kecil menyebabkan luas permukaan menjadi lebih besar sehingga akan memungkinkan adsorben untuk memberikan luas permukaan adsorpsi lebih besar pada adsorbat yang akan teradsorpsi. Dengan demikian, efektivitas adsorpsi akan lebih tinggi dari luas permukaan adsorben yang lebih sempit.

3.5.2 Variasi adsorben Fe_3O_4 dan ZnFe_2O_4 pada suhu 60° dan waktu pengadukan 60 menit

Variasi adsorben Fe_3O_4 dan ZnFe_2O_4 pada suhu 60° dan waktu pengadukan 60 menit menunjukkan bahwa adsorpsi ion logam Co^{2+} dan Cu^{2+} dengan adsorben ZnFe_2O_4 lebih tinggi dibandingkan adsorpsi dengan menggunakan adsorben Fe_3O_4 . Nilai persentase penurunan menggunakan adsorben Fe_3O_4 dan adsorben ZnFe_2O_4 pada ion logam Cu^{2+} secara berturut-turut 88,30% dan 100%. Pada ion logam Co^{2+} nilai persentase penurunan menggunakan adsorben Fe_3O_4 dan adsorben ZnFe_2O_4 secara berturut-turut teradsorpsi dengan adsorben ZnFe_2O_4 19,5% dan 24,9%. Pada ion logam Ni^{2+} adsorben Fe_3O_4 lebih efektif dibandingkan dengan menggunakan adsorben ZnFe_2O_4 dengan nilai persentase 23,6% > 21,5%.

Pada adsorpsi ion logam Cu^{2+} mencapai adsorpsi maksimal dengan adsorben ZnFe_2O_4 . Hal ini menunjukkan bahwa ion logam Cu^{2+} teradsorpsi secara efektif dengan adsorben ZnFe_2O_4 sehingga terjadi equilibrium adsorption. Equilibrium adsorption merupakan kesetimbangan adsorpsi karena ion logam Cu^{2+} telah menempati seluruh permukaan adsorben pada keadaan dengan suhu dan lama pengadukan tersebut. Pada ion logam Co^{2+} adsorpsi juga lebih efektif menggunakan adsorben ZnFe_2O_4 . Hal tersebut menguatkan bahwa ukuran butir adsorben ZnFe_2O_4 yang lebih kecil daripada Fe_3O_4 sangat memengaruhi aktivitas adsorpsi.

Pada adsorpsi ion logam Ni^{2+} menunjukkan bahwa tingkat adsorpsi lebih baik dengan menggunakan adsorben Fe_3O_4 daripada adsorben ZnFe_2O_4 hal ini berbeda pada hasil tabel 7 yang menunjukkan bahwa adsorben ZnFe_2O_4 lebih efektif dibandingkan adsorben Fe_3O_4 . Akan tetapi, nilai adsorpsi yang menunjukkan adsorben Fe_3O_4 lebih efektif dibandingkan adsorpsi dengan ZnFe_2O_4 menunjukkan selisih yang tidak signifikan dengan nilai masing-masing 23,60% > 21,50%. Pada hasil tabel 7 selisih adsorpsi kedua adsorben lebih signifikan dengan selisih 28,4%. Pada variasi adsorben tabel 8 dapat dinyatakan bahwa suhu dan lama pengadukan lebih tinggi daripada variasi adsorben pada tabel 7. Hal ini mengindikasikan bahwa suhu dan lama pengadukan ikut berpengaruh pada tingkat adsorpsi. Dari keterangan tersebut diasumsikan bahwa adsorben Fe_3O_4 membutuhkan suhu dan lama pengadukan yang lebih tinggi dalam menjerap ion logam Ni^{2+} . Tetapi, semakin tinggi suhu dan lama pengadukan menyebabkan adsorben ZnFe_2O_4 menurun tingkat adsorpsinya. Hal ini diasumsikan terjadi kerusakan struktur pada ZnFe_2O_4 pada suhu dan lama pengadukan yang lebih tinggi sehingga menurunkan kapasitas adsorpsi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan dengan hasil yang telah diperoleh maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1) Hasil studi adsorpsi menunjukkan bahwa suhu sangat memengaruhi adsorpsi. Pada adsorpsi dengan adsorben nanopartikel Fe_3O_4 menunjukkan adanya penurunan adsorpsi seiring dengan kenaikan suhu sedangkan pada adsorben nanopartikel ZnFe_2O_4 menunjukkan adanya kenaikan adsorpsi seiring dengan kenaikan suhu.

2) Lama pengadukan sangat berpengaruh pada proses adsorpsi. Pada adsorpsi logam Co(II) , Cu(II) , dan Ni(II) dengan adsorben Fe_3O_4 dan ZnFe_2O_4 cenderung menunjukkan penurunan adsorpsi. Adsorpsi menggunakan adsorben Fe_3O_4 dan ZnFe_2O_4 berlangsung dalam waktu yang singkat.

3) Hasil studi adsorpsi menunjukkan bahwa adsorben nanopartikel ZnFe_2O_4 lebih efektif digunakan dibandingkan adsorben nanopartikel Fe_3O_4 karena nanopartikel ZnFe_2O_4 memiliki ukuran butir yang lebih kecil dibandingkan ukuran nanopartikel Fe_3O_4 .

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Dr. Fahrudin Nugroho selaku ketua Prodi Fisika dan Dr. Mitraryana selaku Ketua Jurusan Fisika yang telah memberikan ijin penelitian

ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Dr. Mirza Satriawan dan Dr. Iman Santosa yang telah membantu memberikan saran dalam penelitian ini.

Pustaka

1. Terangna: Water Pollution, the Course of the Environment Impact Assesments. Institute of Ecology : Padjajaran University, Bandung (1991)
2. Palanisamy, K.L., Devabharathi, V., Sundaram, M.: The utility of magnetite iron oxide nanoparticles stabilized by carrier oils in removal of heavy metals from waste water. *Journal Applied Natural and science* **vol.1**, 2321–8851 (2013)
3. Coey, J.M.D.: Magnetism and Magnetic Materials. Cambridge University Press, United States of America (2009)
4. Hakim, L., Supriyatna, Y.I.: Pengambilan Logam Ni Dalam Limbah Elektroplating Dengan Proses Koagulasi Dan Flokulasi. Universitas Diponegoro, Semarang (2009)
5. Zhao, L., Li, X., Zhao, X., Qu, Z., Yuan, D., Hu, X., Chen, G.: Synthesis, characterization and adsorptive performance of mgfe_2o_4 nanosphere for so_2 removal. *Journal of Hazardous Materials* **vol. 184**, 704–709 (2010)
6. Putri, T.E.: Studi adsorpsi logam tembaga (cu), besi (fe), dan nikel (ni) dalam limbah cair buatan menggunakan adsorben nanopartikel magnetik magnesium ferrite (mgfe_2o_4). PhD thesis, Yogyakarta, Universitas Gadjah Mada (2015)
7. Sukardjo: Kimia Anorganik. Rineka Cipta, Jakarta (1990)
8. Jia, Z., Qin, Q., Liu, J., Zhang, X., hu, R., Li, S., Zu, R.: The sunthesis of hierarchial zinferit architecture and their application for cr(vi) adsorption removal from aqueous solution. *Journal Superlatices and Microstructures* (2007)