



Sintesis Komposit Zeolit/Magnetit dan Penggunaannya sebagai Adsorben Ion Logam Cu(II) dan Co(II)

Sriatun^{1*}, U. Khairunnisa Hakim¹, Choiril Azmiyawati¹, Suhartana¹

¹Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto S.H, Tembalang, Semarang 50275

*Corresponding author: sriatun@live.undip.ac.id

Received: 30 Oktober 2025 / Accepted: 25 November 2025

Available online: 7 Desember 2025

Abstrak

Zeolit alam dapat dimodifikasi untuk memperbaiki sifat fisika dan sifat kimianya. Salah satu modifikasi yang dapat dilakukan adalah dengan memberi sifat kemagnetan. Modifikasi zeolit dengan sifat kemagnetan dapat dilakukan melalui pembentukan komposit magnetit dan zeolit menggunakan PEG 6000 sebagai perekat. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan komposit zeolit/magnetit untuk adsorben ion logam Cu(II) dan Co(II). Karakterisasi material komposit menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) dan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) untuk mengetahui kemampuan adsorpsi komposit. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan sebagian besar komponen besi oksida adalah magnetit, data XRD juga menunjukkan perlakuan kalsinasi menyebabkan perubahan fasa dari magnetit menjadi hematit dan maghemit, sedangkan XRD komposit menunjukkan keberadaan mineral magnetit dan zeolit. Pada rentang waktu 1-60 menit, kemampuan adsorpsi komposit magnetit/zeolit terhadap ion logam Co(II) sebesar 96,26% sedangkan untuk Cu(II) sebesar 77,21%. Kemampuan adsorpsi komposit meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi adsorbat (ion logam) dimana pada konsentrasi 500 ppm adsorpsinya sebesar 98,24% untuk Co(II) dan 90,14% untuk Cu(II).

Kata Kunci: Zeolit/ Magnetit, Adsorben, Ion Co(II), ion Cu(II), Komposit

1. Pendahuluan

Berbagai teknologi telah digunakan untuk pengolahan air yang terkontaminasi oleh unsur-unsur logam seperti presipitasi kimia, ekstraksi pelarut, osmosis, adsorpsi, pertukaran ion, filtrasi, elektrodialisis dan sebagainya. Di antara metode tersebut, adsorpsi merupakan metode yang memiliki efisiensi tinggi [1] [2], dan ekonomis karena biaya yang digunakan rendah dan memiliki desain yang sederhana [3].

Beberapa macam material telah banyak digunakan untuk adsorpsi ion logam seperti biochar dari kulit kacang tanah [1], [4], diatomit mesopori [5], silika, zeolit [6] dan oksida logam [7]. Selain itu, magnetit juga dapat dipelajari secara luas karena kemampuan super pada paramagnetiknya yang membuat mereka mudah untuk terpisahkan dari air dengan batang magnet [8]. Magnetit mudah ditemukan dalam jumlah besar pada pasir besi di alam. Pasir ini biasa disebut pasir besi (*iron sands*) atau pasir hitam (*black sands*). Eksplorasi pasir besi untuk aplikasi penelitian nanopartikel magnetit masih cukup kecil dibanding jumlah dan eksplorasi pasir besi untuk bahan mentah, hal ini potensial dijadikan sebagai sumber magnetit [9].

Bahan magnetit mempunyai luas permukaannya cukup besar dan memiliki potensi untuk digunakan sebagai adsorben [10]. Beberapa

penelitian penggunaan mineral magnetit sebagai adsorben antara lain fungsionalisasi magnetit dengan trioktilamin sebagai adsorben Ir (IV) [11]. Sintesis adsorben nanokomposit magnetit-maghemit yang dilapisi ekstrak daun untuk menghilangkan ion timbal dari air telah dilakukan oleh [12]. Nanopartikel magnetit tanpa modifikasi memiliki kestabilan termal yang rendah dan memiliki kelarutan dalam air yang rendah [13]. Selain itu, aglomerasi magnetit dalam air dapat mengurangi situs aktif dan melemahkan kapasitas adsorpsi [14].

Modifikasi magnetit meskipun telah banyak dilakukan, seperti magnetit/karbon aktif, namun nilai magnetisasi pada komposit tersebut menurun seiring dengan berkurangnya jumlah magnetit yang terkomposit pada karbon aktif sehingga kemampuan sebagai adsorben berkurang. Untuk meningkatkan daya adsorpsi dan mencegah agregasi partikel, digunakan bahan untuk melindungi partikel tersebut. Bahan yang pilih biasanya stabil secara termis, memiliki tekanan uap yang rendah, tidak korosif dan mempunyai luas permukaan besar (material berpori) seperti silika [15], abu layang [16], dan zeolit [17].

Zeolit adalah kristal alumino silikat yang komposisinya mirip dengan tanah liat, tetapi

didefinisikan secara berbeda dalam nano 3D dan struktur mikro. Zeolit digunakan untuk menyerap kation dan gas serta menghilangkan bahan radioaktif dari tanah terkontaminasi dari air limbah perkotaan. Zeolit merupakan adsorben yang unik, karena 20-50% bagiannya terdiri dari rongga kosong dan memiliki luas permukaan yang besar sehingga sangat efektif dalam penyerapan. Penggunaan zeolit dalam pengolahan air yang terkontaminasi polutan mungkin menarik karena material tersebut memiliki karakteristik struktural yang menawarkan kombinasi pertukaran ion dan sifat saringan molekuler [18]. Zeolit adalah aluminosilikat terhidrasi dengan struktur kristal mikropori tiga dimensi dari SiO_4^{4-} dan AlO_4^{5-} , yang terikat bersama dengan berbagi atom oksigen.

Kekuatan utama mereka terletak pada kemampuan menukar ion yang tinggi, difasilitasi oleh struktur berpori yang memungkinkan pertukaran kation yang efektif dengan polutan. Selain itu, zeolit menunjukkan adsorpsi selektif berdasarkan muatan dan ukuran molekul, yang memungkinkannya menargetkan kontaminan spesifik dengan mempertahankan ion-ion bermanfaat. Stabilitasnya yang baik memungkinkan beberapa siklus regenerasi, menjadikan zeolit pilihan yang hemat biaya dan berkelanjutan untuk solusi pengolahan air. Karakteristik penukar kationnya disediakan oleh molekul air dan ion-ion besar yang terdapat dalam rongga struktur dan mampu bergerak. Material ini dapat dengan mudah dimodifikasi, yang dapat meningkatkan spesifisitas terhadap polutan yang akan dihilangkan [19].

Sejumlah penelitian terkait penggunaan zeolit sebagai adsorben terus berkembang, khususnya melalui modifikasi zeolit alam untuk meningkatkan karakter fisika dan kimianya. Menurut Mocková et al. (2020), salah satu pendekatan efektif adalah memberikan sifat kemagnetan pada zeolit. Karena zeolit secara alami tidak bersifat magnetik, karakter magnet tersebut dapat ditambahkan dengan mendistribusikan oksida besi seperti maghemite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) ke dalam struktur zeolit. Modifikasi ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi zeolit terhadap ion logam sekaligus mempermudah proses pemisahan adsorben dari larutan menggunakan medan magnet. Kombinasi zeolit dan oksida besi tersebut dapat menghasilkan material baru yang tidak hanya mampu menyerap polutan dengan lebih efektif, tetapi juga memiliki respons magnetik yang menguntungkan dalam aplikasi pemurnian air.

Adapun tujuan penelitian ini adalah mensintesis komposit zeolit/magnetit, dimana magnetitnya diperoleh dari ekstraksi pasir pantai kemudian digunakan sebagai adsorben ion logam Co(II) dan Cu(II) . Komposit zeolit/magnetit diharapkan dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi terhadap kedua ion logam tersebut serta memudahkan pemisahan adsorbennya karena sifat magnetiknya. Penelitian ini juga diharapkan memberikan kontribusi dalam pengembangan adsorben zeolit/magnetik berbasis sumber alam lokal yang lebih efektif dalam mengatasi pencemaran ion logam pada air.

2. Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu neraca analitik OHAUS, oven BINDER, indikator pH MERCK, Furnace VULCAN 3-130, *High Energy Milling* (HEM-E3D), shaker MAXQ 2000, X-ray Diffraction (XRD) Rigaku, dan AAS Perkin Elmer Analyst 200.

Bahan

Bahan-bahan pada penelitian ini adalah pasir besi dari Pantai Marina Semarang, zeolit alam dari Bayat Klaten, Polietilenglikol (PEG) 6000 teknis, asam fluorida (HF) Merck, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Merck, dan $\text{CoSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Merck.

2.2. Prosedur Penelitian

2.2.1 Preparasi Zeolit

Zeolit alam yang telah dihaluskan dan lolos ayakan ukuran 100 mesh direndam dalam akuades sambil diaduk selama 1 jam pada suhu kamar. Kemudian disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 3 jam. Kemudian dibiarkan sampai mencapai suhu kamar, sehingga diperoleh sampel zeolit yang siap diaktivasi.

2.2.2 Aktivasi Zeolit

Zeolit alam sebanyak 100 gram yang berukuran 100 mesh diaktivasi dengan larutan HF 1%, kemudian dicuci dengan akuades hingga pH netral. Selanjutnya zeolit dikeringkan pada suhu 110°C dalam oven selama 4 jam kemudian ditimbang. Setelah ditimbang, dipanaskan kembali selama 30 menit. Kemudian dilakukan penimbangan dan pengovenan kembali selama 30 menit sampai berat konstan. Zeolit hasil perlakuan ini disebut sebagai zeolit teraktivasi.

2.2.3 Ekstraksi Magnetit

Pasir dari pantai Marina Semarang diekstraksi dengan menggunakan magnet permanen sebanyak 7 kali penarikan. Pemurnian pasir besi dengan metode *ball mill* menggunakan alat *High Energy Milling* (HEM-E3D) dengan rasio massa pasir besi : massa bola yang digunakan pada *High Energy Milling* 1:1 pada kecepatan 400 rpm dengan waktu proses milling lima jam. Hasil milling dikeringkan dengan oven selama 1,5 jam pada suhu 150°C . Serbuk magnetit dikalsinasi selama satu jam pada suhu 700°C . Magnetit sebelum dan sesudah kalsinasi dikarakterisasi dengan XRD.

2.2.4 Modifikasi Komposit Zeolit/Magnetit

Zeolit teraktivasi dilarutkan pada akuades, diaduk dengan menggunakan magnetit stirrer. Sebanyak 10 ml larutan PEG 6000 ditambahkan ke dalam larutan awal tersebut dengan rasio 1:1, selanjutnya ditambah serbuk magnetit yang belum dikalsinasi. Hasil endapan dicuci sebanyak tiga kali dengan akuades dan satu kali dengan alkohol. Selanjutnya dikeringkan pada temperatur 100°C . Padatan hasil dikarakterisasi dengan XRD untuk melihat komposisi senyawa pada komposit.

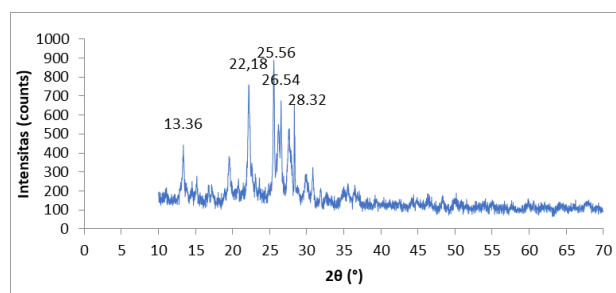
2.2.5 Uji Adsorpsi Ion Logam Co(II) dan Cu(II)

Larutan ion Co(II) diperoleh dari prekursor CoSO_4 . Pengaruh waktu kontak diuji dengan menambahkan 0,1 g zeolit/magnetit dalam 10 ml larutan ion Co(II) 200 ppm dan di-shaker selama variasi waktu tertentu (1, 5, 10, 15, 30, 45 dan 60 menit). Pengaruh konsentrasi adsorbat diuji dengan menambahkan 0,1 g zeolit/magnetit dalam 10 ml larutan ion Co(II) dengan konsentrasi (100, 200, 300, 400 dan 500 ppm) selama 60 menit. Konsentrasi akhir pada filtrat ditentukan menggunakan AAS. Cara yang sama dilakukan untuk adsorpsi ion logam Cu(II).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Karakterisasi Zeolit Alam Teraktivasi

Karakterisasi kristalinitas zeolit alam teraktivasi untuk mengetahui jenis mineral penyusun zeolit, difraktogram XRD yang terdapat pada Gambar 1 dicocokkan dengan standar JCPDS. Pada zeolit alam teraktivasi terdapat puncak pada $2\theta = 13,36^\circ$; $22,18^\circ$; $25,56^\circ$ dimana ini bersesuaian dengan mineral mordenit JCPDS No 29-1257, sedangkan $2\theta = 26,54^\circ$ sesuai dengan mineral kuarsa JCPDS No 5-0490 dan pada $2\theta = 28,32^\circ$ adalah klinoptilolit sesuai dengan JCPDS No 17-0143.



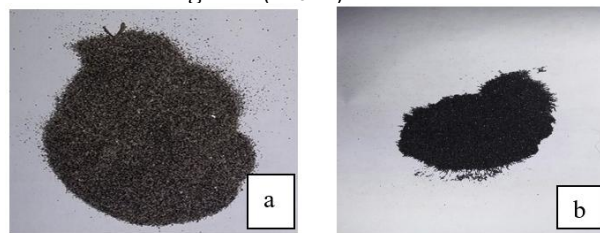
Gambar 1: Pola difraksi XRD Zeolit alam aktivasi

3.2. Hasil Ekstraksi Pasir Besi

Untuk mendapatkan magnetit dari pasir pantai Marina digunakan magnet permanen, untuk menarik senyawa tersebut. Salah satu yang tertarik paling kuat adalah senyawa magnetit karena memiliki sifat kemagnetan yang paling tinggi dibandingkan besi oksida lainnya. Ekstraksi senyawa magnetit dari pasir besi dilakukan secara berulang-ulang sampai tujuh kali, hal ini bertujuan agar senyawa yang akan diperoleh mempunyai kemurnian yang tinggi. Ekstraksi dengan magnet juga menggunakan jarak tertentu, semakin jauh magnet yang didekatkan pada pasir besi, maka semakin sedikit pula besi oksida yang menempel. Hal inilah yang membuat sampel (magnetit) menjadi lebih tinggi kemurniannya dan sedikit pengotor, walaupun masih ada kemungkinan senyawa besi oksida lain yang ikut tertarik.

Pengaruh ekstraksi menggunakan magnet permanen dapat dilihat pada Gambar 2 (a) yang merupakan pasir besi sebelum diekstraksi dan Gambar 2 (b) merupakan material hasil ekstraksi.

Dari Gambar 2 tampak perbedaan ukuran dan tekstur yang mencolok, dimana material hasil ekstraksi berukuran lebih kecil dan halus serta berwarna lebih gelap, yang mengindikasikan keberadaan magnetit (Fe_3O_4).



Gambar 2: (a) Pasir besi dari pantai Marina sebelum diekstraksi (b) material (magnetit) hasil ekstraksi menggunakan magnet permanen

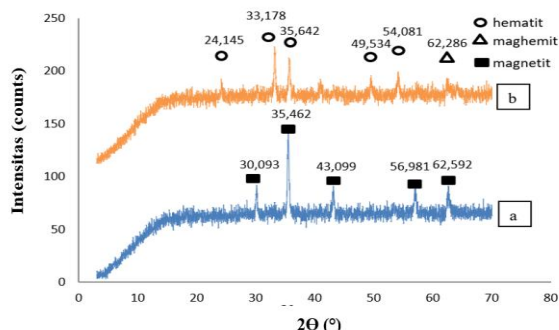
Untuk mendapatkan tekstur yang lebih halus, serbuk pasir besi hasil diekstraksi diberi perlakuan *mechanical milling* dengan alat *High Energy Milling* (HEM-E3D) perbandingan massa bola : massa pasir besi 1:1 selama lima jam dengan kecepatan 400 rpm. Material magnetit setelah dikalsinasi pada suhu 700°C berubah warna menjadi merah kecoklatan yang menunjukkan magnetit telah berubah fasanya menjadi hematit Fe_2O_3 . Hal ini sesuai dengan penelitian [21], yang menyatakan bahwa *magnetit* yang dipanaskan pada temperatur 250°C mulai terbentuk *maghemit* dan mendominasi pada temperatur 350°C . Pada suhu 450°C komposisi fasa *maghemit* mulai menurun dan bertransformasi menjadi *maghemit* dengan bentuk struktur tetragonal, sedangkan *hematite* mulai muncul pada suhu 550°C .

Hasil analisis difraktogram XRD puncak-puncak pada $2\theta = 30,093^\circ$; $35,462^\circ$; $43,099^\circ$; $56,981^\circ$; dan $62,592^\circ$ Gambar 3 (a) bersesuaian dengan magnetit pada *Joint Committee of Powder Diffraction Standar* (JCPDS) No. 89-4319. Setelah magnetit dikalsinasi suhu 700°C selama lima jam muncul puncak-puncak pada $2\theta = 24,145^\circ$; $33,178^\circ$; $35,642^\circ$; $49,534^\circ$; $54,081^\circ$ dan $62,286^\circ$ yang menunjukkan *maghemit* sesuai dengan JCPDS No. 89-5894. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya mengenai pengaruh pemanasan terhadap fasa magnetit oleh [22] yang menjelaskan bahwa temperatur pada saat kalsinasi akan sangat berpengaruh pada jenis fasa magnetit yang akan terbentuk.

Perhitungan ukuran butir kristal menggunakan persamaan Scherrer diperoleh ukuran rata-rata butir kristal magnetit sebesar 19,42 nm dan hematit sebesar 30,47 nm. Oleh karena ukuran magnetit yang kecil menyebabkan material tersebut sangat reaktif terhadap medan magnet luar sehingga semakin kecil ukuran butir (diameter) partikel magnetit maka semakin tinggi respon magnetik pada partikel tersebut [23]. Momen magnetik pada nanopartikel magnetit cenderung lebih tidak stabil, sehingga dapat diketahui dari hasil pengukuran butir di atas bahwa magnetit memiliki respon magnetik yang lebih tinggi dibanding hematit.

Selanjutnya, bahan untuk membuat komposit dengan zeolit adalah magnetit. Hal ini dikarenakan daya magnet dari magnetit lebih besar karena bersifat ferromagnetik daripada hematit yang

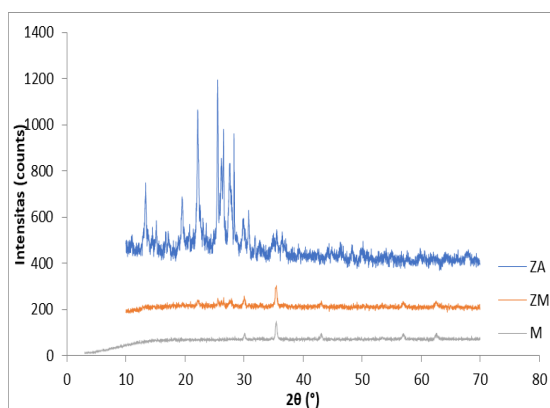
bersifat paramagnetik sehingga efektifitas magnetit sebagai adsorben akan lebih baik dalam proses adsorpsi ion logam. Selain itu magnetit adalah salah satu mineral magnetik yang paling dominan ditinjau dari sifat-sifat magnetik dan kelimpahannya di alam serta kemudahan mendapatkan mineral magnetit.



Gambar 3: Pola difraksi XRD magnetit (a) sebelum kalsinasi (b) sesudah kalsinasi

3.3. Hasil Komposit Zeolit/Magnetit

Modifikasi merupakan salah satu langkah yang sering digunakan untuk meningkatkan efektivitas zeolit sebagai adsorben. Penambahan PEG 4000 berfungsi sebagai perekat antara zeolit alam dengan magnetit. Proses pencampuran ini akan menghasilkan komposit baru yaitu zeolit/magnetit. Gambar 4 menunjukkan terjadi perubahan data difraktogram XRD zeolit alam dan komposit zeolit/magnetit. Perubahan ini cukup signifikan karena jumlah puncak yang muncul relatif lebih sedikit dibanding zeolit sebelum dikompositkan dengan magnetit. Selain itu, terjadi pengurangan intensitas puncak-puncak pada $2\theta < 30^\circ$. Hal ini dapat terjadi karena sebagian kerangka zeolit mengalami perubahan sehingga terjadi perubahan kristalinitas pada komposit zeolit/magnetit.



Gambar 4: Pola difraksi sinar X zeolit alam (ZA), komposit zeolit/magnetit (ZM) dan magnetit (M)

Pada Gambar 4, intensitas puncak dapat diamati pada komposit zeolit/magnetit yang memiliki puncak-puncak tinggi pada $2\theta = 22,14^\circ$; $25,6^\circ$; $26,58^\circ$; $27,54^\circ$; $28,22^\circ$; $30,1^\circ$; $30,86^\circ$; $35,46^\circ$; $43,12^\circ$; $56,92^\circ$ dan $62,56^\circ$. Berdasarkan data JCPDS nomor 89-4319 puncak $2\theta = 30,1^\circ$; $35,46^\circ$; $43,12^\circ$; $56,92^\circ$ dan $62,56^\circ$ menunjukkan keberadaan mineral magnetit. Berdasarkan data JCPDS nomor

17-0143 pada $2\theta = 28,22^\circ$ menunjukkan keberadaan mineral klinoptilolit dan pada $2\theta = 22,14^\circ$; $25,6^\circ$ dan $27,54^\circ$ menunjukkan keberadaan mineral mordenit sesuai dengan JCPDS nomor 29-1257 begitu pula pada $2\theta = 30,86^\circ$ juga menunjukkan keberadaan mineral mordenit sesuai dengan JCPDS nomor 6-239. Pada $2\theta = 26,58^\circ$ menunjukkan keberadaan mineral kuarsa berdasarkan data JCPDS nomor 5-0490. Secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 1. Keberadaan mineral-mineral yang terlihat pada difraktogram menunjukkan bahwa telah berhasil dilakukan modifikasi zeolit/magnetit.

Tabel 1: Nilai 2θ XRD sampel penelitian dan standar JCPDS

Standar JCPDS	2θ Standar (°)	Zeolit	Magnetit	Komposit
29-1257 (MOR)	13,51	13,36	-	-
	22,31	22,18	-	-
	25,68	25,56	-	-
	26,68	26,54	-	-
	27,54	-	-	-
6-239 (MOR)	28,036	28,32	-	-
	30,083	30,09	-	-
	30,86	30,86	-	-
17-0143 (KLI)	35,434	35,46	-	-
	43,064	43,12	-	-
	62,536	62,60	-	-
5-0490 (KU)	50,39	-	-	-
89-4319 (MAG)	56,949	-	56,98	56,92
	62,536	-	62,60	62,56

Keterangan:

MOR : mordenit

KLI : klinoptilolit

KU : Kuarsa

MAG : magnetit

3.4. Kemampuan Adsorpsi Komposit Zeolit/Magnetit

Adsorpsi terhadap ion Cu(II) dan ion Co(II) bertujuan untuk mengetahui diantara kedua golongan logam transisi tersebut manakah yang akan lebih banyak teradsorpsi menggunakan adsorben komposit zeolit/magnetit. Gambar 5 menunjukkan bahwa kedua ion logam Co(II) dan Cu(II) merupakan logam golongan transisi yang memiliki sifat paramagnetik yang berbeda. Hal ini dikarenakan pada ion logam Co(II) memiliki konfigurasi elektron $4s^2 3d^7$ yang menunjukkan bahwa ion Co(II) memiliki banyak elektron yang tidak berpasangan sehingga akan lebih mudah tertarik oleh medan magnet. Pada ion Cu(II) memiliki konfigurasi elektron $4s^1 3d^{10}$, dapat dilihat bahwa satu elektron tak berpasangan sehingga lebih susah untuk mendekati medan magnet.

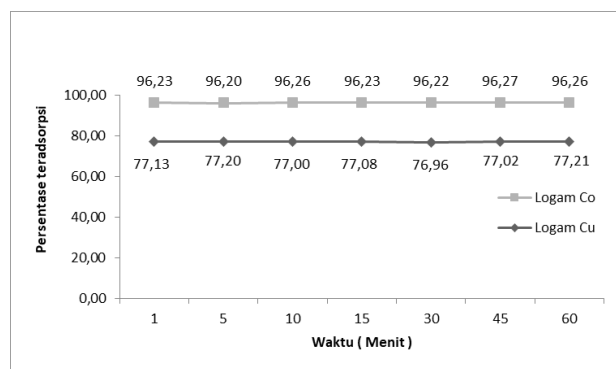
3.4.1. Kemampuan Adsorpsi Komposit Zeolit/Magnetit

Waktu kontak berpengaruh terhadap proses difusi dan proses penempelan molekul adsorbat. Waktu kontak optimum dicari untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan dalam proses adsorpsi ion logam tembaga oleh adsorben hingga titik maksimum. Waktu kontak juga memiliki tujuan untuk mengetahui bahwa adsorben telah

Doi:

mengalami titik jenuh yaitu melampaui waktu setimbangnya penyerapan sehingga tidak mampu lagi menyerap ion logam tembaga.

Variasi waktu kontak yang dilakukan dalam penelitian ini adalah 1,5, 10, 15, 30, 45 dan 60 menit dengan konsentrasi awal ion logam Cu (II) dan Co (II) masing-masing 200 ppm. Hasil yang diperoleh dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5: Grafik hubungan variasi waktu terhadap persentase teradsorpsi ion logam Co(II) dan Cu(II) oleh komposit zeolit/magnetit)

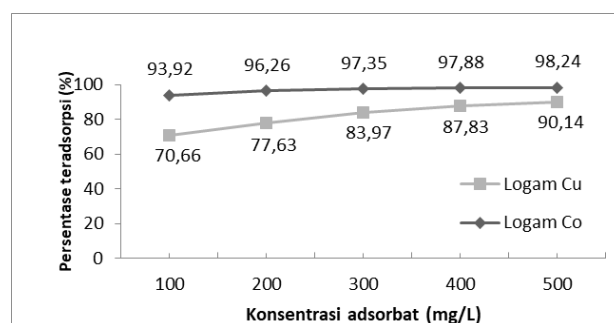
Dari Gambar 5 dapat dilihat persentase yang teradsorpsi pada ion logam Cu(II) adalah 77,21%, sedangkan Co(II) adalah 96,26%. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa efisiensi adsorpsi dari komposit zeolit/magnetit terhadap ion logam Cu(II) maupun Co(II) cenderung konstan sehingga waktu kontak tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Hal ini disebabkan komposit zeolit/magnetit telah mencapai tingkat jenuh atau maksimum dalam waktu yang singkat, sehingga meskipun waktu diperpanjang tidak akan mempengaruhi adsorpsinya. Gambar 5 juga menunjukkan bahwa komposit zeolit/magnetit memiliki kemampuan adsorpsi lebih besar terhadap ion logam Co(II). Interaksi antara ion Co(II) dengan komposit dapat dimungkinkan melalui beberapa mekanisme. (1) fisisorpsi, karena zeolit merupakan material berpori, sehingga pada mekanisme ini ion Co(II) lebih banyak terjerap pada pori, dimana pada dinding pori terdapat gaya van der Waals dan gaya elektrostatis lemah yang membantu menangkap ion logam. Mengingat ukuran ion Co(II) hanya 78 pm, sedangkan ion Cu(II) 87 pm. (ii) pertukaran ion, Pada adsorben komposit zeolit/magnetit, permukaan negatif zeolit diseimbangkan oleh H^+ pada aktivasi. Ketika ion Co(II) dan Cu(II) ion yang berukuran lebih kecil yaitu ion Co(II) akan lebih mudah melakukan mobilisasi untuk bertukar dengan ion H^+ . Data ini juga sejalan dengan pemahaman sifat kemagnetan yang dimiliki oleh ion Co(II) lebih besar karena jumlah elektron yang tidak berpasangan pada ion tersebut lebih banyak, berdasarkan konfigurasi elektron $[Ar]3d^7$.

Di samping itu berdasarkan data XRD pada Gambar 4, zeolit/magnetit rasio 1:1 menunjukkan jumlah magnetit cukup besar sehingga puncaknya mendominasi pola XRD. Puncak-puncak 2θ yang bersesuaian dengan magnetit (Fe_3O_4) memiliki intensitas lebih tinggi karena dalam hal ini

kristalinitasnya tinggi dan faktor hamburan (*scattering factor*) yang besar sebagai akibat nomor atom Fe lebih besar. Karena jumlah magnetit yang besar menyebabkan komposit ini lebih sesuai untuk mengadsorpsi ion logam yang mempunyai sifat kemagnetan tinggi. Dengan demikian kemampuan adsorpsinya lebih besar terhadap ion Co(II) dibanding ion Cu(II).

3.4.2. Pengaruh Konsentrasi Adsorbat pada Adsorpsi Ion Logam Co(II) dan Cu(II)

Variasi konsentrasi dalam penelitian ini adalah 100, 200, 300, 400 dan 500 mg dengan waktu kontak optimum yang digunakan adalah selama 60 menit. Hasil yang diperoleh dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6: Grafik hubungan konsentrasi adsorbat terhadap persentase teradsorpsi ion logam Co(II) dan Cu(II) oleh komposit zeolit/magnetit

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara persentase ion logam teradsorpsi dengan konsentrasi awal adsorbat. Kemampuan adsorpsi komposit zeolit/magnetit semakin tinggi ketika konsentrasi awal ion logam Co(II) yang diserap juga semakin tinggi yaitu 93,92%, 96,26%, 97,35%, 97,88%, dan 98,24%. Kecenderungan yang sama ketika konsentrasi ion logam Cu(II) naik, maka persentase adsorpsinya meningkat secara signifikan yaitu 70,66%, 77,63%, 83,97%, 87,83%, dan 90,14%. Pada kedua data tersebut, dapat dikatakan bahwa kemampuan komposit zeolit/magnetit sebagai adsorben sangat baik. Zeolit sendiri memiliki luas permukaan dan pori yang besar sehingga kemampuannya dalam menyerap logam sangat baik. Selain itu, dengan memodifikasi zeolit dengan magnetit menyebabkan komposit ini memiliki karakter magnet yang dapat menyerap logam dengan sifat magnetik yang tinggi.

Hasil menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi zeolit/magnetit terhadap logam Co lebih besar dibandingkan dengan logam Cu. Penjelasan untuk keadaan ini adalah karena karakter kemagnetan dari ion logam Co(II) lebih besar, karena Co bersifat ferromagnetik sedangkan ion logam Cu(II) sifat paramagnetiknya lebih rendah sehingga ion logam Co(II) akan lebih banyak dan mudah terserap oleh adsorben komposit zeolit/magnetit. Hal ini dikarenakan pada logam Co memiliki konfigurasi elektron $4s^2 3d^7$.

4. Kesimpulan

Berdasarkan uraian hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa komposit zeolit/ magnetit telah terbentuk dengan munculnya puncak pada $2\theta = 22,14^\circ; 25,6^\circ; 26,58^\circ; 27,54^\circ; 28,22^\circ; 30,1^\circ; 30,86^\circ; 35,46^\circ; 43,12^\circ; 56,92^\circ$ dan $62,56^\circ$ yang menunjukkan keberadaan mineral magnetit, klinoptilolit, kuarsa dan mordenit. Kecenderungan kemampuan adsorpsi komposit zeolit/magnetit terhadap ion logam Co(II) lebih besar dibandingkan ion logam Cu(II). Waktu kontak tidak memberikan pengaruh persentase adsorpsi pada konsentrasi adsorbat rendah komposit mampu menyerap ion logam Co(II) rata-rata 96% sedangkan untuk ion Cu(II) hanya sekitar 77%. Seiring meningkatkan konsentrasi adsorbat, pada ion logam Cu(II) yang teradsorpsi juga meningkat secara signifikan yaitu dari sekitar 70% menjadi 90%, sedangkan pada ion logam Co(II) hanya terjadi sedikit kenaikan dari 93% menjadi 98%.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Kimia Anorganik Departemen Kimia FSM Undip yang telah menyediakan fasilitas untuk melaksanakan penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] Wang Y, Liu Y, Chao T, Li Q, Wang Y, Zhao Q.. High efficiency adsorption of Cd(II) by KHCO₃-activated Fe/Mn co-modified peanut shell biochar: adsorption performance, mechanisms, and life cycle assessment. *Chem Eng Sci*. 2026;321:122747. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2025.122747>
- [2] Pardoyo P, Suhartana S, Haikel H, Wibawa PJ. Pengaruh High Energy Milling (HEM) pada Ukuran Partikel dan Kristalinitas Zeolit Alam untuk Adsorpsi Ion Cu(II) dan Ca(II). *Greensph J Environ Chem.*, Vol 4, No 2 Vol 4, No 2(2024). <https://doi.org/10.14710/gjec202422724>.
- [3] Huang G, Wang D, Ma S, Chen J, Jiang L, Wang P. A new, low-cost adsorbent: Preparation, characterization, and adsorption behavior of Pb(II) and Cu(II). *J Colloid Interface Sci [Internet]*. 2015;445:294–302.
- [4] Li X, Deng H, Zhou J, Touqeer A, Li W. Adsorption mechanism of Cu(II) and Pb(II) by starch biochar co-modified with plant extract and chitosan. *Int J Biol Macromol*. 2025;320:145971.
- [5] Abou-Elanwar AM, Lee SY, Yu J, Kim J, Hwang C, Park H, et al. Co-adsorption of methylene blue/Pb(II) from aqueous solutions using sulfonated mesoporous diatomite. *J Water Process Eng*. 2025;71:107334.
- [6] Joseph I V, Tosheva L, Doyle AM. Simultaneous removal of Cd(II), Co(II), Cu(II), Pb(II), and Zn(II) ions from aqueous solutions via adsorption on FAU-type zeolites prepared from coal fly ash. *J Environ Chem Eng*. 2020;8(4):103895.
- [7] He J, Gun M, Wang Y, Mo S, Long F. Synthesis of CaCO₃ microspheres modified by glycine and ethylene glycol for adsorption removal of Cd(II). *Environ Res*. 2025;285:122442. A
- [8] Lemessa G, Chebude Y, Demesa AG, Fadeev E, Koiranen T, Alemayehu E. Development of suitable magnetite–diatomite nanocomposite for Cd (II) adsorptive removal from wastewater. *Sci African*. 2024;24:e02213.
- [9] Mohammed Ali Mitwally E, Yu BS. Geochemical studies and resource potential of magnetite in Taiwanese beach sands and related source rocks: Implications for geochemical fingerprinting of ore minerals. *Ore Geol Rev*. 2023;162:105649.
- [10] Cheng Z, Gao Z, Ma W, Sun Q, Wang B, Wang X. Preparation of magnetic Fe₃O₄ particles modified sawdust as the adsorbent to remove strontium ions. *Chem Eng J*. 2012;209:451–7.
- [11] Basiri S, Sid Kalal H, Ghoreschi SM, Saberyan K, Mahvashian A. Investigation of functionalized magnetite nanoparticles with trioctylamine adsorbent for the removal of iridium (IV) from acidic media. *Nano Trends*. 2025;12:100148.
- [12] Siddiqa A, Khatun MH, Mostafa MG. Synthesis of magnetite-maghemite nanocomposite adsorbents coated with leaf extract for removal of lead ions from water. *Desalin Water Treat*. 2025;321:100979.
- [13] Li J, Zeng H, Sun S, Liu JP, Wang ZL. Analyzing the Structure of CoFe–Fe₃O₄ Core–Shell Nanoparticles by Electron Imaging and Diffraction. *J Phys Chem B*. 2004 Sep 1;108(37):14005–8.
- [14] Kong S, Wang Y, Hu Q, Olusegun AK. Magnetic nanoscale Fe–Mn binary oxides loaded zeolite for arsenic removal from synthetic groundwater. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp*. 2014;457:220–7.
- [15] Tsegaye G, Kiflie Z, Fito Nure J, Ambaye AD. Magnetite-based pumice silica nanocomposite for lead adsorption from aqueous solution: The green synthesis approach. *Chinese J Chem Eng*. 2025;82:281–93.
- [16] Arofah N, Izzati AN, Siregar YDI, Azizah YN, Liandi AR. Utilization of magnetite-supported coal fly ash as an efficient adsorbent for Pb metal removal in aqueous environments. *Case Stud Chem Environ Eng*. 2024;10:100883.
- [17] Nakamura A, Sugawara K, Nakajima S, Murakami K. Adsorption of Cs ions using a temperature-responsive composite polymer/magnetite/zeolite adsorbent and separation of the adsorbent from water using high-gradient magnetic separation. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp*. 2017;527:63–9.
- [18] Noviello M, Gattullo CE, Faccia M, Paradiso VM, Gambacorta G. Application of natural and synthetic zeolites in the oenological field. *Food Res Int*. 2021;150:110737.
- [19] Ferri BB, Wernke G, Resende JF, Ribeiro AC, Cusioli LF, Bergamasco R, et al. Natural zeolite as adsorbent for metformin removal from

Doi:

- aqueous solutions: Adsorption and regeneration properties. *Desalin Water Treat.* 2024;320:100602.
- [20] Mockovčiaková A, Danková Z, Matik M, Hudec P, Erika K. Iron Oxide Contribution to the Modification of Natural Zeolite. *Acta Montan Slovaca*. 2006 Dec 1;11.
- [21] A H. Kajian Transformasi Antar Fasa Pada Komposit Fe₃O₄/Fe₂O₃. *Skripsi*. Surabaya: Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh November.; 2009.
- [22] Jafari A, Farjami Shayesteh S, Salouti M, Boustani K. Dependence of structural phase transition and lattice strain of Fe₃O₄ nanoparticles on calcination temperature. *Indian J Phys.* 2015;89(6):551–60. <https://doi.org/10.1007/s12648-014-0627-y>
- [23] Pauzan M, Kato T, Iwata S, Suharyadi E. Pengaruh Ukuran Butir dan Struktur Kristal terhadap Sifat Kemagnetan pada Nanopartikel Magnetit (Fe₃O₄). In: *Prosiding Pertemuan ilmiah XXVII HFI Jateng dan DIY*. 2013.