

SINTESIS DAN KARAKTERISASI MAGNETIT (Fe_3O_4) SERTA APLIKASINYA SEBAGAI ADSORBEN METHYLENE BLUE

Synthesis & Characterization of Magnetite (Fe_3O_4) and Its Applications As Adsorbent Methylene Blue

Retno Agnestisia

Program Studi Pendidikan Kimia FKIP Universitas Palangka Raya

e-mail : r_agnestisia@yahoo.co.id

ABSTRAK

Sintesis, karakterisasi, dan uji adsorpsi magnetit telah dilakukan. Magnetit disintesis dengan metode kopresipitasi. Karakterisasi magnetit dilakukan dengan spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*) dan XRD (*X-ray diffraction*). Uji adsorpsi dilakukan menggunakan sistem *batch* dengan kajian adsorpsi yang dipelajari meliputi pH optimum, waktu kontak optimum, dan kesetimbangan adsorpsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode kopresipitasi telah berhasil membentuk magnetit yang memiliki sifat kemagnetan. Magnetit mampu mengadsorpsi *methylene blue* dalam larutan dengan adsorpsi maksimal terjadi pada pH 8 dan waktu kontak 90 menit. Adsorpsi *methylene blue* oleh magnetit mengikuti pola adsorpsi isoterm Langmuir dengan energi adsorpsi sebesar 25,59 kJ/mol dan kapasitas adsorpsi sebesar 43,86 mg/g. Hasil sintesis magnetit mampu mempercepat proses pemisahan partikel adsorben dalam larutan *methylene blue* menggunakan medan magnet eksternal.

Kata Kunci: magnetit, kopresipitasi, adsorpsi, dan *methylene blue*.

ABSTRACT

Synthesis, characterization and adsorption study of magnetite have been conducted. Magnetite was synthesized by coprecipitation method. The characterizations of magnetite were carried out with spectroscopy FTIR (Fourier Transform Infrared) and XRD (X-ray diffraction). The adsorption study was conducted using a batch system with the studied adsorption study including optimum pH, optimum contact time and adsorption equilibrium. The results showed that coprecipitation method has succeeded to form magnetite that has magnetism properties. Magnetite can adsorbed methylene blue from aqueous phase, with the maximum adsorption at pH 5 and contact time of 90 minutes. Adsorption of methylene blue by magnetite follows the adsorption pattern of the Langmuir isotherm with the adsorption energy of 25.59 kJ/mol and adsorption capacity of 43.86 mg/g. The results of magnetite synthesis can accelerate the process of separating the adsorbent particles in a methylene blue solution using an external magnetic field.

Keywords : magnetite, coprecipitation, adsorption, and methylene blue.

PENDAHULUAN

Magnetit adalah jenis oksida besi dengan formula kimia Fe_3O_4 . Partikel berwarna hitam yang bersifat ferimagnetik dengan nilai magnetisasi tertinggi yaitu sebesar 92 emu/g. IUPAC

(*International Union of Pure and Applied Chemistry*) menamakan partikel ini sebagai besi oksida (II,III) atau *ferrous-ferric oxide*.

Beberapa tahun terakhir, magnetit (Fe_3O_4) menjadi bahan kajian yang

menarik perhatian para ahli karena peluang aplikasinya yang luas dalam berbagai bidang. Dalam bidang medis, magnetit digunakan sebagai *drug delivery*, terapi *hyperthermia*, dan *Magnetic Resonance Imageing* (MRI) (Nikitin *et al*, 2017). Dalam bidang industri, magnetit digunakan sebagai katalis, sensor, penyimpan data dalam bentuk *hard disk* dan pigmen warna. Dalam bidang lingkungan, magnetit digunakan sebagai adsorben kontaminan air karena memiliki daya serap yang besar dan kemampuannya dalam merespons medan magnet sehingga memudahkan proses pemisahan adsorben dari dalam larutan.

Sintesis magnetit telah dikembangkan dengan berbagai metode, seperti kopresipitasi, sol-gel, hidrotermal, dan elektrokimia. Metode kopresipitasi dipilih pada penelitian ini karena dinilai efektif, preparasi mudah dan singkat serta pembiayaan operasional yang relatif murah.

Magnetit sebagai adsorben kontaminan air telah banyak dilakukan seperti pada kontaminan logam berat Cd(II) (Shinta, 2015), As(V), Cu(II) (Liliana *et al*, 2016), Pb(II) (Bagbi *et al*, 2016) dan Cr(VI) (Padmavathy *et al*, 2016). Namun belum banyak penelitian yang mengkaji tentang pemanfaatan magnetit sebagai adsorben kontaminan zat warna, padahal penelitian tersebut juga diperlukan untuk mengatasi isu

pencemaran air oleh zat warna yang saat ini telah menjadi masalah serius bagi lingkungan secara global.

Salah satu zat warna yang dapat menyebabkan pencemaran air adalah *methylene blue*. Dalam proses pewarnaan, senyawa ini hanya menggunakan sekitar 25% sedangkan 75% sisanya akan dibuang kealiran air sebagai limbah (Purwamargapratala *et al.*, 2013). Jika pemanfaatan zat warna tidak diimbangi dengan penanggulangan limbah yang dihasilkan, maka akan sangat berdampak pada munculnya berbagai permasalahan lingkungan dan kesehatan, karena sifatnya yang toksik, stabil dan *non degradable* (Purwamargapratala *et al.*, 2013).

Atas pertimbangan tersebut di atas dan untuk memperoleh adsorben yang cukup efisien ditinjau dari kemampuannya, maka pada artikel ini dilaporkan hasil penelitian tentang "Sintesis dan Karakterisasi Magnetit (Fe_3O_4) serta Aplikasinya sebagai Adsorben *Methylene Blue*". Kajian dilakukan melalui tiga tahapan. Tahap pertama adalah sintesis magnetit dengan metode kopresipitasi. Karakterisasi magnetit dengan menggunakan instrumen *Fourier-Transform Infrared* (FTIR) dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Tahap kedua ialah uji adsorpsi magnetit terhadap penyerapan zat warna *Methylene Blue* yang dilakukan dengan uji adsorpsi

menggunakan metode *batch* dan di analisis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Tahap terakhir ialah membandingkan laju pemisahan fase padat adsorben dalam larutan setelah adsorpsi. Melalui penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan teknologi tepat guna untuk mengatasi masalah pencemaran zat warna *methylene blue* di lingkungan perairan.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan

Bahan-bahan utama yang dipergunakan pada penelitian ini antara lain : $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ E-Merck, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ E-Merck, HCl 37% E-Merck, NH_4OH E-Merck, NaOH E-Merck, akuades dan kertas *Whatman* 42 μ .

Alat

Beberapa peralatan utama yang digunakan untuk penelitian ini antara lain: alat-alat gelas (*pyrex*), *hot plate*, neraca analitik OHAUS model Galaxy TM, pH-meter, *shaker*, lumping porselin, oven, desikator, pengaduk magnet, penyaring *Buchner*, spektrometer IR Shimadzu *Fourier-Transform Infrared* (FTIR prestige 21), *X-Ray Diffraction* (Shimadzu XRD 6000) dan spektrofotometer UV-Vis.

Prosedur Kerja

Sintesis magnetit (Fe_3O_4)

Larutan Fe(II) dan Fe(III) dibuat dalam volume 100 mL dengan konsentrasi masing-masing sebesar

0,05 M dan 0,1 M. Kedua larutan dicampur secara serempak ke dalam gelas beker 250 mL. Larutan diaduk pada temperatur 85°C, kemudian ditambahkan larutan NH_4OH pekat tetes demi tetes hingga pH mencapai 10. Koloid yang terbentuk didinginkan selama 3 jam kemudian dipisahkan dari dalam larutan menggunakan medan magnet eksternal. Padatan dicuci menggunakan akuades dan dioven pada temperatur 100°C selama 3 jam, selanjutnya digerus perlahan-lahan sampai diperoleh bubuk halus. Produk nanopartikel magnetit yang diperoleh dikarakterisasi dengan FTIR (*Fourier Transform Infrared*), XRD (*X-ray diffraction*) dan TEM (*Transmission Electron Microscopy*).

Uji adsorpsi

a. Penentuan pH Optimum

Sebanyak 0,05 gram sampel nanopartikel magnetit digunakan untuk mengadsorpsi 50 mL larutan *methylene blue* 50 ppm dengan pH awal 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 dan 12. Proses dilakukan menggunakan *shaker* selama 3 jam pada temperatur kamar. Konsentrasi *methylene blue* yang tidak teradsorpsi diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 660 nm.

b. Penentuan Waktu Kontak

Sebanyak 0,05 gram sampel nanopartikel magnetit digunakan untuk

mengadsorpsi 50 mL larutan *methylene blue* 50 ppm pada pH optimum dengan variasi waktu 5, 10, 20, 40, 60, 90, 180, 300 dan 420 menit pada temperatur kamar. Konsentrasi *methylene blue* yang tidak teradsorpsi diukur dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 660 nm.

c. Kesetimbangan Adsorpsi

Sebanyak 0,05 gram sampel nanopartikel magnetit digunakan untuk mengadsorpsi 50 mL larutan *methylene blue* pada pH dan waktu optimum dengan variasi konsentrasi 10, 20, 30, 40 dan 50 ppm pada temperatur kamar. Konsentrasi *methylene blue* yang tidak teradsorpsi diukur dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 660 nm.

Uji pemisahan adsorben dalam larutan *methylene blue*

Larutan *methylene blue* 30 mL dimasukkan pada botol sampel. Botol sampel ditambahkan dengan 0,05 gram nanopartikel magnetit. Campuran diaduk kemudian diberi medan magnet eksternal. Diamati apa yang terjadi pada masing-masing campuran.

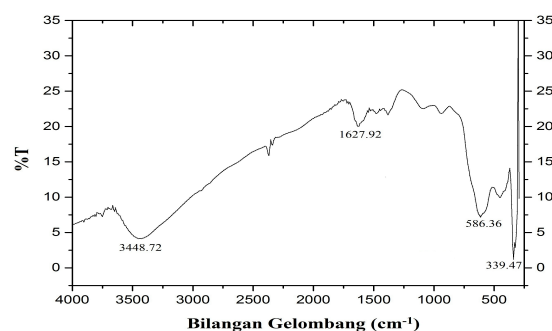
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis dan Karakterisasi Magnetit (Fe_3O_4)

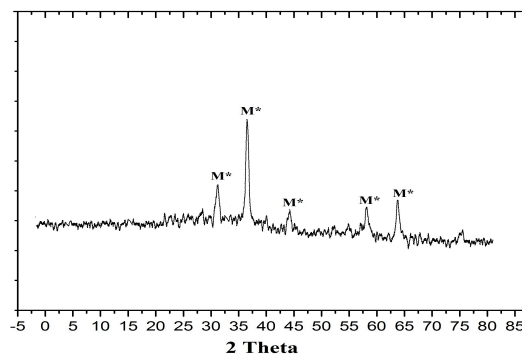
Sintesis magnetit dilakukan dengan mereaksikan larutan yang mengandung Fe^{2+} dan Fe^{3+} pada rasio mol 1:2 pada temperatur 85°C . Rasio

mol 1:2 merupakan stoikiometri yang dibutuhkan dalam pembentukan oksida besi fasa magnetit (Fe_3O_4). Ion-ion ini akan mengalami proses kopresipitasi dengan penambahan basa NH_4OH yang berfungsi untuk pembentukan $\text{Fe}(\text{OH})_2$ dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Selanjutnya dilakukan penyaringan endapan dan pencucian menggunakan akuades untuk menghilangkan ion-ion sisa berupa kation dan anion terlarut. Tahap berikutnya adalah pemanasan yang diperlukan dalam proses dehidrasi sehingga terbentuk Fe_3O_4 sebagai partikel magnetit (Waynert, 2003).

Hasil sintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan instrumen FTIR dan XRD yang disajikan pada gambar berikut.



Gambar 1. Spektrum FTIR magnetit



Gambar 2. Difraktogram magnetit

Gambar 1 menunjukkan data spektrum magnetit hasil analisis menggunakan spektroskopi FTIR. Puncak pada daerah bilangan gelombang $3448,72\text{ cm}^{-1}$ dan $1627,92\text{ cm}^{-1}$ merupakan serapan vibrasi dari -OH *stretching* and -OH *bending* yang berasal dari molekul air yang terperangkap dalam kisi kristal (Ren *et al*, 2017). Sedangkan pada daerah bilangan gelombang 586.36 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi *stretching* dari ikatan Fe-O (Kumar *et al*, 2015; Bagbi *et al*, 2016; Ren *et al*, 2017). Dengan demikian, berdasarkan data puncak-puncak serapan tersebut diperoleh informasi bahwa sampel yang dianalisis merupakan keluarga dari mineral oksida besi.

Untuk memperkuat hasil identifikasi dan mengetahui fase oksida besi yang terbentuk maka diperlukan data pendukung berupa data XRD.

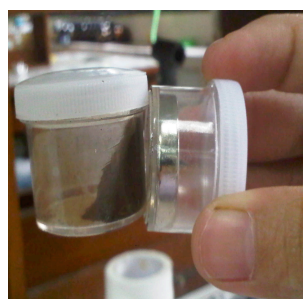
Difraktogram untuk sampel ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan standar yang dikeluarkan

oleh *Joint Comitte on Powder Diffraction* (JCPDS) dapat dinyatakan bahwa sampel yang dianalisis pada penelitian ini mengandung puncak-puncak yang khas untuk oksida besi fase magnetit (Fe_3O_4) yaitu pada 2θ sebesar $30,143$; $35,510$; $43,195$; $57,111$; dan $62,728$ yang masing-masing berkesesuaian dengan $d = 2,96\text{Å}$; $2,52\text{Å}$; $2,09\text{Å}$; $1,61\text{Å}$; dan $1,48\text{Å}$.

Berdasarkan pengamatan visual yang terlihat pada Gambar 3(a), warna serbuk hasil sintesis dapat digunakan untuk mengkonfirmasi jenis oksida besi yang terbentuk. Gambar 3(a) memperlihatkan bahwa serbuk hasil sintesis berwarna hitam. Warna yang ditampilkan secara teori berkesesuaian dengan warna oksida besi fasa magnetit (Fe_3O_4) (Cornell & Schewertmann, 2000). Sintesis magnetit dengan metode kopresipitasi juga terbukti memiliki sifat kemagnetan karena mampu merespon medan magnet eksternal yang terlihat pada Gambar 3(b).



(a)

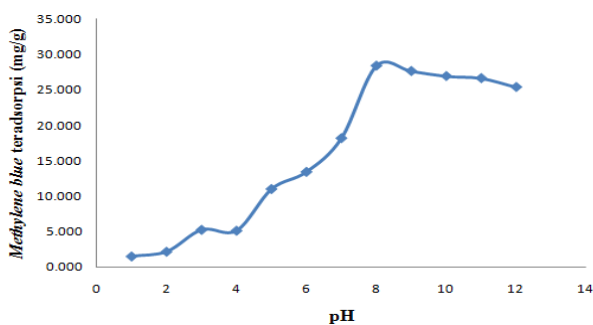


(b)

Gambar 3. Foto (a) serbuk magnetit (Fe_3O_4) dan (b) uji coba komposit terhadap magnet eksternal.

Uji Adsorpsi terhadap *methylene blue* Penentuan pH Optimum

Hasil kajian pengaruh pH terhadap adsorpsi *methylene blue* pada adsorben magnetit dapat dilihat pada Gambar 4. Penentuan pH optimum merupakan salah satu parameter penting dalam mengontrol proses adsorpsi. Nilai pH larutan dapat mempengaruhi muatan permukaan adsorben dan spesiesi adsorbat. Kemampuan adsorpsi magnetit terhadap *methylene blue* sebagai fungsi pH yang disajikan pada Gambar 4 memperlihatkan kemampuan adsorpsi optimum terjadi pada pH 8.



Gambar 4. Adsorpsi *methylene blue* oleh magnetit sebagai fungsi pH

Hal ini disebabkan karena pH larutan mempengaruhi muatan adsorben magnetit. Magnetit merupakan jenis oksida besi yang memiliki titik isoelektrik pada pH 6,5 (Barale *et al*, 2008; Safiur *et al*, 2013). Jika $\text{pH} < 6,5$ magnetit cenderung bermuatan positif membentuk (FeOH_2^+) sedangkan pada $\text{pH} > 6,5$ magnetit cenderung bermuatan negatif membentuk (FeO^-). Oleh karenanya, pada kondisi pH larutan $> 6,5$ situs aktif dari magnetit yang cenderung bermuatan negatif dapat berinteraksi dengan zat warna kationik berupa *methylene blue*. Hal ini menyebabkan

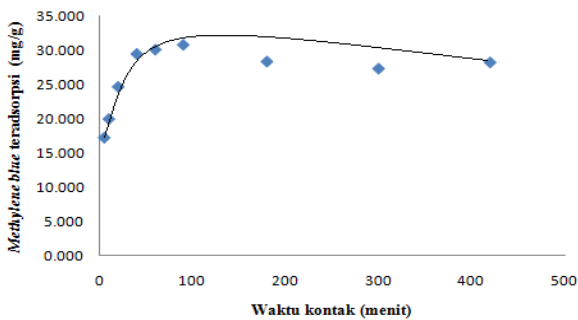
semakin besarnya peluang spesiesi *methylene blue* yang bermuatan positif berinteraksi dan mengalami ikatan elektrostatik dengan situs aktif dari permukaan magnetit yang bermuatan negatif. Namun jika terlalu basa ($\text{pH} > 8$), kehadiran ion hidroksil (OH^-) yang berlebihan justru akan mengurangi peluang spesiesi *methylene blue* berinteraksi dengan magnetit karena terjadi kompetisi antara ion hidroksil (OH^-) dan situs aktif magnetit (FeO^-) berikatan dengan spesiesi *methylene blue*. Oleh karenanya, kemampuan adsorpsi magnetit terhadap *methylene blue* cenderung mengalami penurunan pada $\text{pH} > 8$.

Penentuan Waktu Kontak Optimum

Hasil adsorpsi terhadap pengaruh waktu kontak dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan Gambar 5 dapat diamati bahwa adsorpsi *methylene blue* optimum terjadi pada waktu kontak 90 menit. Interaksi ini membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mencapai kestabilan ikatan karena molekul *methylene blue* memiliki ukuran molekul yang relatif besar sehingga memerlukan waktu untuk mengatur diri agar posisi molekul dapat berikatan dengan situs aktif magnetit sampai pada akhirnya dapat mencapai kestabilan ikatan.

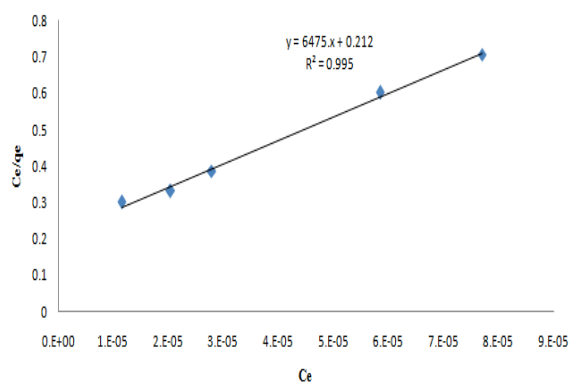
Pada Gambar 5, terlihat pula adanya penurunan kemampuan adsorpsi pada waktu kontak yang semakin lama walaupun tidak terjadi secara signifikan. Hal tersebut mungkin disebabkan karena adsorpsi *methylene blue* pada magnetit mengalami interaksi yang tidak terlalu kuat, akibatnya

ada kemungkinan pada saat proses pengontakan yang membutuhkan waktu relatif lama menyebabkan putusya interaksi atau ikatan yang terjadi pada molekul *methylene blue* yang tidak terikat kuat dengan situs aktif magnetit.



Gambar 5. Grafik hubungan antara waktu adsorpsi dengan jumlah *methylene blue* teradsorpsi/gram.

Sesuai dengan konsep adsorpsi, semakin lama waktu kontak yang diperlukan pada proses adsorpsi antara adsorben dengan zat terlarut maka akan semakin banyak zat yang teradsorpsi, tetapi jumlah zat terlarut yang diadsorpsi akan mencapai nilai batas pada waktu tertentu dimana



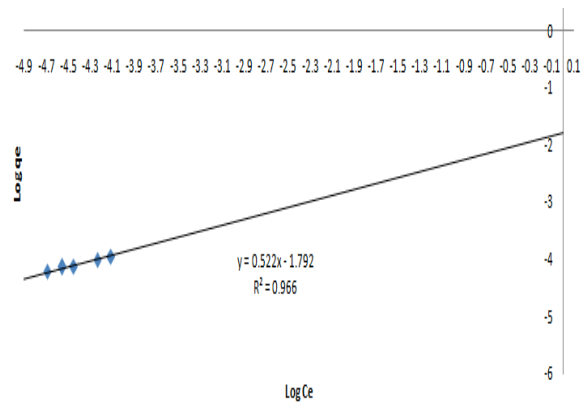
(a)

adsorben tidak mampu lagi mengadsorpsi karena terjadi kejenuhan pada permukaan magnetit.

Kesetimbangan adsorpsi

Kajian kesetimbangan adsorpsi ditujukan untuk menentukan pola isotherm, kapasitas adsorpsi dan energi adsorpsi. Pada penelitian ini digunakan model isotherm Langmuir dan isotherm Freundlich untuk menyatakan mekanisme adsorpsi yang terjadi sedangkan untuk menentukan kapasitas serta energi adsorpsi dari adsorben terhadap adsorbat digunakan isotherm Langmuir.

Penentuan pola adsorpsi dilakukan pada variasi konsentrasi yaitu 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm, dan 50 ppm dalam 50 mL larutan *methylene blue* dengan 0,05 gram magnetit. Adsorpsi dilakukan pada pH 8 dan waktu kontak 90 menit. Berdasarkan data yang diperoleh grafik pola isotherm Langmuir dan Freundlich dapat dilihat pada Gambar 6.



(b)

Gambar 6. Profil Grafik Isotherm Langmuir (a) dan Isotherm Freundlich (b) adsorpsi *methylene blue* oleh magnetit

Hasil penelitian yang diperoleh kemudian diuji dengan menggunakan model

isotherm Langmuir dan Freundlich dapat dilihat pada Tabel 1. Bila ditinjau dari nilai R^2

yang mendekati 1 maka adsorpsi *methylene blue* pada magnetit cenderung mengikuti pola isoterm Langmuir, sehingga dapat diasumsikan bahwa situs aktif pada permukaan adsorben bersifat homogen yang berarti bahwa satu molekul *methylene blue*

menempati satu situs aktif dan tidak ada adsorpsi lebih lanjut yang dapat dilakukan pada situs tersebut. Semakin tinggi koefisien korelasi untuk model Langmuir memprediksi bahwa adsorpsi molekul *methylene blue* mungkin *monolayer*.

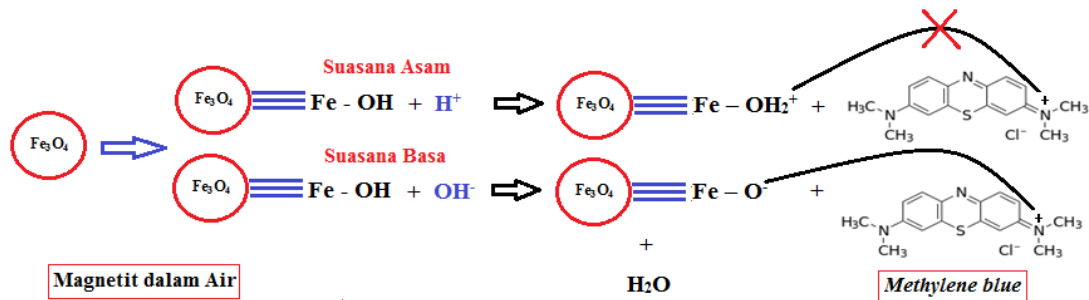
Tabel 1. Konstanta isoterm adsorpsi magnetit terhadap *methylene blue*

Material	Parameter Adsorpsi Langmuir			
	b (mg/g)	K (L/mol)	E kJ/mol	R ²
Nanopartikel Magnetit	43,86	30.542	25,59	0,995

Material	Parameter Adsorpsi Feundlich		
	B	n	R ²
Nanopartikel magnetit	0,016	1,920	0,966

Berdasarkan pola isoterm Langmuir juga dapat ditentukan pula secara langsung nilai kapasitas adsorpsi (b) dari adsorben yang ditunjukkan pada Tabel 1. Pada tabel

tersebut terlihat bahwa nanopartikel magnetit memiliki kapasitas adsorpsi (b) terhadap *methylene blue* sebesar 43,86 mg/g.



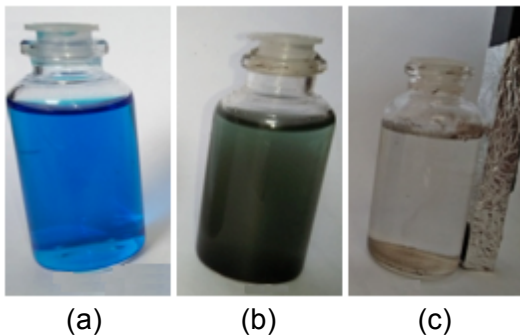
Gambar 7. Kemungkinan interaksi yang terjadi antara magnetit dengan molekul *methylene blue* (diadopsi dari penelitian Bagbi *et al*, 2016)

Penerapan persamaan isoterm Langmuir juga dapat dikembangkan untuk menentukan energi adsorpsi. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa energi yang diperlukan untuk adsorpsi *methylene blue* pada magnetit sebesar 25,59 kJ/mol. Energi

yang diperoleh menunjukkan bahwa ikatan yang terjadi antara situs-situs aktif magnetit terhadap *methylene blue* merupakan ikatan yang cukup kuat yang didominasi oleh interaksi elektrostatis.

Uji Pemisahan Adsorben dalam Larutan *methylene blue*

Uji pemisahan dilakukan pada 0,05 gram nanopartikel magnetit pada 30 mL larutan *methylene blue*. Setelah digunakan dalam proses adsorpsi, larutan dipisahkan dari adsorben dengan menggunakan medan magnet eksternal. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa setelah proses pemisahan berlangsung selama 5 menit, magnetit telah terpisah dari dalam larutan *methylene blue*.



Gambar 9. Uji pemisahan adsorben dari larutan *methylene blue* (a) larutan *methylene blue* (b) larutan *methylene blue* + magnetit (c) larutan *methylene blue* + magnetit setelah 5 menit proses pemisahan.

Hal tersebut menunjukkan bahwa magnetit menerima respon dari medan magnet eksternal sehingga dapat terpisah dengan mudah dan cepat dari larutan.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode kopresipitasi telah berhasil membentuk magnetit yang memiliki sifat kemagnetan. Magnetit hasil sintesis mampu mengadsorpsi *methylene blue* dalam larutan dengan adsorpsi maksimal terjadi pada pH 8 dan waktu kontak 90 menit. Adsorpsi *methylene blue* oleh magnetit mengikuti pola

adsorpsi isoterm Langmuir dengan energi adsorpsi sebesar 25,59 kJ/mol dan kapasitas adsorpsi sebesar 43,86 mg/g. Hasil sintesis magnetit mampu mempercepat proses pemisahan partikel adsorben dalam larutan *methylene blue* menggunakan medan magnet eksternal.

DAFTAR PUSTAKA

- Bagbi, Y., Sarswat, A., Mohanb, D., Pandeyc, A., Pratima & Solanki. 2016. Lead (Pb^{2+}) adsorption by monodispersed magnetite nanoparticles: Surface analysis and effects of solution chemistry. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. **4**: 4237–4247.
- Barale, M., Lefèvre, G., Carrette, F., Catalette, H., M. Fédoroff and Cote, G. 2008. Effect of the adsorption of lithium and borate species on the zeta potential of particles of cobalt ferrite, nickel ferrite, and magnetite. *Journal of Colloid and Interface Science*. **328**: 34–40.
- Kumar, R., Sakthivel, R., Behura, R., Mishra, K and Das. 2015. Synthesis of magnetite nanoparticles from mineral waste. *Journal of Alloys and Compounds*. **645**: 398–404.
- Liliana, S., Guégan, R., Liana, R., Motelica, M., Steluta, C and Predoi, D. 2016. Magnetite (Fe_3O_4) nanoparticles as adsorbents for As and Cu removal. *Applied clay science*. **134**: 128–135.
- Nikitin, A., Fedorova, M., Naumenko, J., Shchetinin, I., Abakumov, M, Erofeev, A, Gorelkin, P., Meshkov, G., Beloglazkina, E., Ivanenkov, I., Klyachko, Golovin, Y., Savchenko, A and Majouga, A. 2017. Synthesis, characterization and MRI application of magnetite water-soluble cubic nanoparticles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. **441**: 6–13.

- Padmavathy, K., Madhub, G & Haseena. 2016. A study on effects of pH, adsorbent dosage, time, initial concentration and adsorption isotherm study for the removal of hexavalent chromium (Cr (VI)) from wastewater by magnetite nanoparticles. *Procedia Technology*, 24 : 585 – 594.
- Purwamargapratala, Y., Yusuf, S. & Ridwan. 2013. Degradasi Metilen Biru dengan Komposit $TiO_2SiO_2Fe_3O_4$. *Seminar Nasional IX SDM Teknologi Nuklir*. Yogyakarta.
- Ren, G., Yang, L., Zhang, Z., Zhong, B., Yang and Wang, X. 2017. A New Green Synthesis of Porous Magnetite Nanoparticles from Waste Ferrous Sulfate by Solid-Phase Reduction Reaction. *Journal of Alloys and Compounds*. **710**: 875-879.
- Safiur, R., Whalen, M., Graham, A and Gagnon. 2013. Adsorption of dissolved organic matter (DOM) onto the synthetic iron pipe corrosion scales (goethite and magnetite): Effect of pH. *Chemical engineering journal*. **234**: 149–157.
- Shinta, A. 2015. *Preparasi Nanopartikel Fe_3O_4 (Magnetit) serta Aplikasinya sebagai Adsorben Ion Logam Kadmium*. Under Graduates Thesis. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Waynert, J., 2003, Wastewater Treatment with Magnetic Separation. *Superconductivity for Electric Systems Program Review*. **1**: 1-29.