

*Skripsi*

**SELEKTIVITAS ADSORPSI ION LOGAM Cd(II) TERHADAP  
KEBERADAAN ION LOGAM Cu(II), Pb(II), Ni(II) OLEH ADSORBEN  
NANOPARTIKEL MAGNETIT**

**RISKA MALINDA**

**H031181503**



**DEPARTEMEN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2022**

**SELEKTIVITAS ADSORPSI ION LOGAM Cd(II) TERHADAP  
KEBERADAAN ION LOGAM Cu(II), Pb(II), Ni(II) OLEH ADSORBEN  
NANOPARTIKEL MAGNETIT**

*Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat*

*untuk memperoleh gelar sarjana sains*

Oleh

**RISKA MALINDA**

**H031181503**



**MAKASSAR**

**2022**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

SELEKTIVITAS ADSORPSI ION LOGAM Cd(II) TERHADAP  
KEBERADAAN ION LOGAM Cu(II), Pb(II), Ni(II) OLEH ADSORBEN  
NANOPARTIKEL MAGNETIT

Disusun dan diajukan oleh

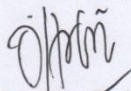
RISKA MALINDA

H031 18 1503

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sidang Sarjana Program Studi  
Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin  
Pada 13 September 2022  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

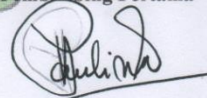
Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Diabal Nur Basir, S.Si., M.Si.  
NIP.19740319200801 1 010

Pembimbing Pertama



Prof. Dr. Paulina Taba, M.Phil.  
NIP. 19571115198810 2 001

Kemua Program Studi



Dr. St. Fauziah, M.Si.  
NIP.19720202199903 2 002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Riska Malinda  
NIM : H031181503  
ProgramStudi : Kimia  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa Skripsi dengan judul “Selektivitas Adsorpsi Ion Logam Cd(II) terhadap Keberadaan Ion Logam Cu(II), Pb(II), Ni(II) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit” adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 14 September 2022

Menyatakan,  
  
Riska Malinda

## PRAKATA

*Bismillahirrahmanirrahim*

*Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh*

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. yang telah memberikan limpahan rahmat, hidayah serta ilmu pengetahuan yang tak terhingga sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Berhasilnya penyusunan skripsi dengan judul **“Selektivitas Adsorpsi Ion Logam Cd(II) terhadap Keberadaan Ion Logam Cu(II), Pb(II), Ni(ii) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit”** menandakan berakhirnya suatu dimensi perjuangan syarat akan makna dan penuh kenangan dalam menggapai ilmu di Strata Satu Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Kampus Merah Universitas Hasanuddin.

Keberhasilan penulis sampai ditahap penulisan skripsi tidak lepas dari bantuan, baik berupa materi maupun spirit dari orang-orang terdekat dan yang berada di lingkungan penulis. Dengan setulus hati, pertama dari yang paling utama, melalui lembaran ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orangtua penulis Ayahanda **Andri** dan Ibunda **Ernayanti** tercinta untuk perhatian, pengorbanan, kasih sayang, kesabaran, dukungan materi, support dan ketulusan doa yang tiada henti bagi penulis. Semoga Allah SWT membalas pengorbanan mereka dengan Jannah-Nya. Terima kasih untuk saudaraku sekaligus orangtua kedua tercinta **Rahmalia** yang selalu mendukung, menyemangati, memotivasi, menasehati dan yang tiada henti memberikan doa terbaik. Semoga penulis bisa diberi kesempatan untuk bisa membahagiakan mereka. aamiin allahumma aamiin.

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada bapak **Dr. Djabal Nur Basir, S.Si., M.Si** selaku pembimbing utama dan ibu **Prof. Dr. Paulina Taba, M.Phil** selaku pembimbing pertama, yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran dan dengan penuh kesabaran dan pengertian dalam memberikan ilmu yang tak ternilai dari penyusunan proposal, dalam penelitian sampai penyusunan skripsi, sehingga berbagai kendala dapat diatasi serta ucapan maaf atas segala kesalahan selama persiapan penelitian hingga penyusunan skripsi ini selesai. Ucapan terima kasih juga kepada:

1. Dosen penguji ujian sarjana kimia, yaitu **Dr. Abd Karim** (Ketua), **Syadza Firdausiah, S.Si., M.Sc** (Sekretaris), **Dr. Djabal Nur Basir, S.Si., M.Si** (Ex. Officio) dan **Prof. Dr. Paulina Taba, M.Phil** (Ex. Officio).
2. Ketua Departemen Kimia ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si** dan Sekretaris Departemen Kimia **Dr. Nur Umriani Permatasari, S.Si., M.Si** beserta dosen dan staf Departemen Kimia yang telah membantu penulis dalam perjalanan selama menempuh pendidikan di Departemen Kimia.
3. Seluruh **Analisis laboratorium kimia** Departemen Kimia, Universitas Hasanuddin, **Kak Fiby, Ibu Tini, Ibu Linda, Kak Anti, Pak Iqbal** dan **kak Hanna**. Terima kasih atas bantuan yang diberikan selama penelitian.
4. Teman-teman **Hibridisasi 2018**, Terima kasih atas semangat, rasa persaudaraan, penghibur dikala suka dan duka, serta memberikan pengalaman yang sangat berharga dalam kehidupan kampus dan untuk kepribadianku.
5. Sahabat-Sahabat ku **Indri, Fatur, Abikk, Vikri, Farhan, Fajar, dan Idris** yang selalu setia menemaniku, memberi semangat/motivasi dan membantuku

dikala suka dan duka di rantauan apalagi dalam proses penelitian sampai penyusunan skripsi ini. Semoga pertemanan yang kita jalani bernilai ibadah.

6. Terima kasih sebesar-besarnya kepada pihak beasiswa **VDMI (Van Deventer-Maas Indonesia)** yang membantu dari segi finansial setiap bulannya selama 3 tahun ini, semoga berkah selalu. aamiin.
7. Terima kasih kepada **Kak Safira, Citra** dan **Fatriani** yang selalu menyalurkan ilmu, membantu dalam proses penelitian dan memberi semangat di kala suka maupun duka dalam penelitian serta pengalaman yang berharga selama ini dan maaf selalu kurepotkan, semoga ALLAH membalas semua kebaikannya.
8. Rekan penelitian **Mar, Wani,** dan **Fitri** terima kasih kerja sama dan bantuannya selama kuliah sampai di tahap penyusunan skripsi ini.
9. Terima kasih kepada **LDF MIPA MI** yang telah memilih saya menjadi bagian dari kalian, organisasi sekaligus menjadi tempat saya untuk mengembangkan lagi ilmu agama.
10. Teman-teman se-lingkup **HPMK**, terima kasih selalu ada dan selalu kebersamai semenjak masuk kuliah sampai sekarang, rasa persaudaraan yang diberikan, yang selalu jadi penghibur dikala suka/duka. Semoga **HPMK** tetap jaya dan menjadi wadah dalam pengembangan ide-ide cemerlang bagi pelajar dan mahasiswa Kendenan.
11. Terima kasih sebesar-besarnya kepada orang yang selalu menyalurkan ilmu, membantu dan merawat dikala suka maupun duka serta pengalaman berharga selama ini, semoga ALLAH membalas semua kebaikannya.

Penulisan skripsi ini tidak luput dari kekhilafan, maka dari itu penulis sangat menghargai apabila ada kritik dan saran demi penyempurnaan skripsi dan perkembangan ilmu pengetahuan serta penelitian ke depannya. Semoga skripsi ini bernilai ibadah di sisi Allah SWT. dan dapat memberikan manfaat kepada kita semua. Aamiin Allahumma Aamiin

Makassar, Juni 2022

Penulis



## ABSTRAK

Nanopartikel magnetit merupakan material nano jenis oksida besi yang bersifat ferimagnetik. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis nanopartikel magnetit dengan metode kopresipitasi dan mengaplikasikannya sebagai adsorben ion logam Cd(II) dalam sistem larutan biner dan kuartener. Hasil sintesis material nanopartikel magnetit dikarakterisasi dengan instrumen XRD dan FTIR. Variabel uji kemampuan adsorpsi ion logam Cd(II) oleh adsorben nanopartikel magnetit yaitu pH optimum, waktu optimum dan kapasitas adsorpsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanopartikel magnetit yang disintesis berupa serbuk hitam yang bersifat ferimagnetik dengan ukuran partikel 11,5211 nm dan adanya gugus fungsi Fe-O pada spektrum FTIR menunjukkan bahwa material yang disintesis merupakan nanopartikel magnetit. Kondisi optimum adsorpsi ion logam Cd(II) tercapai pada pH 8 selama 60 menit dan pada konsentrasi 4,25 mg/g. Adsorpsi ion logam Cd(II) mengikuti model isoterm sips dengan  $q_{\max} = 6,05$  mg/g dan model kinetika orde dua semu dengan konstanta laju adsorpsi sebesar 0,07 g/mg menit. Adsorben nanopartikel magnetit memberikan hasil yang selektif untuk mengadsorpsi ion logam Cd(II) dengan menggunakan kondisi optimum dari ion logam Cd(II) dalam sistem larutan biner (Cd/Cu > Cd/Pb > Cd/Ni) dengan nilai koefisien selektivitas ( $\alpha$ ) berturut-turut sebesar 3,57; 2,82; dan 1,66. Pada larutan kuartener (Cd > Cu > Pb > Ni) nilai koefisien selektivitas ( $\alpha$ ) sebesar 2,35; 1,48; dan 1,04. Keberadaan ion logam kompetitor Cu(II), Pb(II), Ni(II) pada adsorpsi ion logam Cd(II) memberikan efek antagonis yaitu mengurangi daya adsorpsi ion logam Cd(II) pada adsorben nanopartikel magnetit.

**Kata Kunci:** Nanopartikel, magnetit, adsorpsi, kadmium, biner, kuartener, koefisien selektivitas.

## ***ABSTRACT***

Magnetite nanoparticles are ferrimagnetic iron oxide nanomaterials. This study aims to synthesize magnetite nanoparticles by coprecipitation method and apply them as Cd(II) metal ion adsorbent in binary and quaternary solution systems. The results of the synthesis of magnetite nanoparticles were characterized by XRD and FTIR instruments. The test variables for the adsorption ability of Cd(II) metal ions by magnetite nanoparticle adsorbent were optimum pH, optimum time and adsorption capacity. The results showed that the synthesized magnetite nanoparticles were ferrimagnetic black powder with a particle size of 11,5211 nm and the presence of Fe-O functional groups in the FTIR spectrum indicated that the synthesized material was magnetite nanoparticles. The optimum conditions for the adsorption of Cd(II) metal ions were reached at pH 8 for 60 minutes and at a concentration of 4,25 mg/g. The adsorption of metal ion Cd(II) followed the sips isothermal model with  $q_{\max} = 6,05$  mg/g and a pseudo-second-order kinetics model with an adsorption rate constant of 0,07 g/mg min. Magnetite nanoparticle adsorbent gives selective results to adsorb metal ions Cd(II) using optimum conditions of metal ions Cd(II) in binary solution system (Cd/Cu Cd/Pb Cd/Ni) with selectivity coefficient value ( $\alpha$ ) successively at 3,57; 2,82; and 1,66. In the quaternary solution (Cd Cu Pb Ni) the selectivity coefficient ( $\alpha$ ) is 2,35; 1,48; and 1,04. The presence of competing metal ions Cu(II), Pb(II), Ni(II) on the adsorption of metal ions Cd(II) has an antagonistic effect, namely reducing the adsorption power of metal ions Cd(II) on magnetite nanoparticle adsorbents.

**Keywords:** Nanoparticles, magnetite, cadmium, binary, quaternary, selectivity coefficient.

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR LAMPIRAN .....	xi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian .....	6
1.3.1 Maksud Penelitian .....	6
1.3.2 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Manfaat Penelitian .....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	8
2.1 Nanopartikel .....	8
2.2 Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) .....	10
2.3 Adsorpsi .....	12
2.3.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi .....	13
2.3.2 Isoterm Adsorpsi .....	15
2.3.3 Kinetika Adsorpsi .....	17
2.4 Logam Kadmium .....	18

2.5	Instrumen.....	19
2.5.1	<i>Fourier Transform Infra Red</i> (FT-IR).....	19
2.5.2	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	22
BAB III METODE PENELITIAN .....		24
3.1	Bahan Penelitian .....	24
3.2	Alat Penelitian .....	24
3.3	Waktu dan Tempat Penelitian .....	24
3.4	Prosedur Penelitian.....	24
3.4.1	Sintesis Nanopartikel Magnetit .....	25
3.4.2	Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi Ion Logam Cd(II)...	25
3.4.2.1	Pembuatan Larutan Induk Cd(II) 1000 mg/L.....	26
3.4.2.2	Pembuatan Larutan <i>Intermediet</i> Cd(II) 50 mg/L.....	26
3.4.2.3	Pembuatan Deret Larutan Standar 0,5; 1; 2; 4; 6; dan 10 mg/L	26
3.4.2.4	Optimasi pH .....	26
3.4.2.5	Optimasi Waktu Kontak .....	27
3.4.2.6	Optimasi Konsentrasi Ion Logam Cd(II) .....	27
3.4.3	Selektivitas Adsorpsi Ion Logam Cd(II) terhadap Ion Logam Cu(II), Pb(II), Ni(II) dalam Sistem Biner.....	28
3.4.4	Selektivitas Adsorpsi Ion Logam Cd(II) terhadap Ion Logam Cu(II), Pb(II), Ni(II) dalam sistem Kuartener.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		30
4.1	Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Magnetit (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) .....	30
4.2	Penentuan pH Optimum Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) .....	34
4.3	Penentuan Waktu Optimum Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) .....	37

4.4	Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) .....	38
4.5	Kinetika Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) .....	43
4.6	Selektivitas Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) dalam Sistem Larutan Biner .....	45
4.7	Selektivitas Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) dalam Sistem Larutan Kuarterner .....	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		48
5.1	Kesimpulan.....	48
5.2	Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA .....		50

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pendekatan Sintesis Nanopartikel: <i>Top-Down</i> dan <i>Bottom-up</i> .....	10
2. Struktur Kristal $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	11
3. Kurva Freundlich dan Kurva Langmuir.....	16
4. Spektra FTIR untuk $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -PVA-GA-dengan Variasi Pengadukan...	22
5. Difraktogram $\text{Fe}_3\text{O}_4$ Hasil Sintesis .....	23
6. Pola Difraksi Sinar-X Eksperimen Nanopartikel Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )	31
7. (a) Serbuk Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dan (b) Uji Coba Magnetit terhadap Magnet Eksternal.....	32
8. Spektrum Inframerah Nanopartikel Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) setelah pencucian dengan Etanol-Akuades 3 kali .....	33
9. Grafik Hubungan antara pH dengan Jumlah Ion Logam Cd(II) yang Diadsorpsi ( $q_e$ ) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) .....	35
10. Interaksi yang terjadi antara Magnetit dengan Ion Logam Cd(II) ...	36
11. Grafik Hubungan antara Waktu Kontak dengan Jumlah Ion Logam Cd(II) yang Diadsorpsi ( $q_t$ ) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )	37
12. Grafik Hubungan antara Jumlah Ion Logam Cd(II) yang Diadsorpsi ( $q_e$ ) dengan Konsentrasi Larutan ( $C_e$ ) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).....	39
13. Persamaan Linear Isoterm Langmuir untuk Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).....	40
14. Persamaan Linear Isoterm Freundlich untuk Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).....	40
15. Persamaan Linear Isoterm Sips untuk Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).....	41
16. Pemodelan Isoterm Langmuir, Freundlich, dan Sips dari Persamaan Non-Linear untuk Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).....	42
17. Grafik Model Kinetika Orde Satu Semu .....	44

18. Grafik Model Kinetika Orde Dua Semu .....	44
19. Kurva Koefisien Selektivitas Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dalam Sistem Larutan Biner .....	46
20. Kurva Koefisien Selektivitas Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dalam Sistem Larutan Kuartener ..	47

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Frekuensi Gugus Fungsi pada Inframerah.....	20
2. Parameter Isoterm Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dari Persamaan Linear .....	41
3. Parameter Isoterm Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dari Persamaan Non-Linear dengan Program Solver	42
4. Parameter Kinetika Orde Satu Semu dan Orde Dua Semu Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).....	45



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	<b>Halaman</b>
1. Bagan Alir Prosedur Kerja .....	56
2. Perhitungan.....	62
3. Hasil Karakterisasi XRD .....	64
4. Hasil Karakterisasi FTIR.....	69
5. Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Adsorben Nanopartikel Magnetit.....	70
6. Isoterm Adsorpsi .....	73
7. Kinetika Adsorpsi.....	78
8. Penentuan Koefisien Selektivitas Adsorpsi.....	79
9. Dokumentasi.....	80

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan industri di Indonesia telah mengalami kemajuan yang semakin pesat. Perkembangan industri yang semakin pesat berdampak positif terhadap perkembangan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat, tetapi perkembangan tersebut dapat menimbulkan dampak negatif berupa pencemaran lingkungan (Ali dkk., 2013). Salah satu dampaknya yaitu penurunan kualitas lingkungan perairan yang disebabkan oleh penanganan limbah yang tidak tepat terutama pencemaran logam berat. Limbah yang dihasilkan oleh berbagai macam industri seperti industri logam, elektroplating, penyamakan kulit, tekstil, dan cat mengandung berbagai macam zat kimia berbahaya harus diolah dengan cara-cara tertentu agar tidak membahayakan lingkungan (Maylani dkk., 2016). Logam berat yang biasa terbuang bersama limbah industri yang akan menjadi agen pencemar di lingkungan yaitu timbal (Pb), merkuri (Hg), Kadmium (Cd), Arsen (As), Timah (Sn), Krom (Cr), Tembaga (Cu), Seng (Zn) dan lain sebagainya (Wijayanti, 2017). Pencemaran lingkungan oleh logam berat dapat membahayakan kelangsungan makhluk hidup. Makin tinggi kadar logam berat dalam perairan semakin tinggi pula kandungan logam berat yang terakumulasi dalam tubuh makhluk hidup tersebut dan secara tidak langsung akan menimbulkan gangguan terhadap kesehatan manusia jika dikonsumsi, misalnya ikan yang telah terakumulasi oleh logam berat (Faizal dkk., 2014). Secara umum, logam berat masuk ke lingkungan dengan dua cara yaitu secara natural dan antropogenik.

Terlepasnya logam secara natural terjadi karena adanya pelapukan sedimen akibat cuaca, erosi, dan aktivitas vulkanik, sedangkan secara antropogenik, keberadaan logam berat diakibatkan oleh aktivitas manusia seperti pertambangan, peleburan, penggunaan pestisida, pelapisan logam, dan lain-lain (Ali dkk., 2013). Logam berat dibagi menjadi dua yakni logam berat esensial dan logam berat non esensial. Logam berat esensial merupakan logam berat yang dalam jumlah tertentu dibutuhkan oleh tubuh tetapi dapat bersifat racun jika dikonsumsi secara berlebihan (Ca, Na, K, Mg, P, dan Cl). Logam berat non esensial merupakan logam berat yang belum diketahui manfaatnya dan bersifat toksik (Pb, Cd, dan Hg) (Syaifullah dkk., 2018).

Logam berat non esensial merupakan zat pencemar yang sangat berbahaya dalam sistem lingkungan hidup karena tidak dapat terurai atau dihancurkan (*non-degradable*) oleh mikroorganisme di lingkungan (Anis dan Gusrizal, 2006), sehingga logam tersebut dapat terakumulasi di dasar perairan dan mengendap di permukaan tanah. Logam berat juga yang mencemari tanah akan menyebabkan penurunan pH tanah sehingga membuat tanah menjadi asam. Logam berat yang ada di dalam tanah akan terserap dan terakumulasi oleh tanaman. Tumbuhan yang mengandung logam berat akan berbahaya jika dikonsumsi oleh manusia. Logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), tembaga (Cu), dan zink (Zn) merupakan logam berat yang terkandung dalam asap kendaraan bermotor yang menjadi pencemar tanah (Yulius dan Afdal, 2014; Khasanah dkk., 2021).

Salah satu contoh logam berat yang bersifat karsinogen dan beresiko tinggi terhadap pecahnya pembuluh darah adalah logam kadmium (Cd). Keracunan kronis yang disebabkan oleh kadmium umumnya berupa kerusakan pada sistem fisiologis tubuh, seperti ginjal, paru-paru, jantung, serta dapat merusak kelenjar

reproduksi dan kerapuhan tulang. Logam kadmium berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal (Palar, 2012). Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492/Menkes/Per/2010 ambang batas kandungan kadmium dalam air minum adalah 0,003 mg/L.

Penanggulangan pencemaran akibat kandungan logam berat dapat digunakan berbagai macam metode diantaranya presipitasi (Handoko dkk., 2013), filtrasi (Sulistiyanti dkk., 2018), ekstraksi pelarut (Rohyami, 2013), teknik elektrokimia (Fajaroh dkk., 2009), *ion exchange* (Nurlela, 2018), membran (Rozitawati dan Noerochim, 2014), dan adsorpsi (Fifiyana dkk., 2016). Metode adsorpsi merupakan salah satu metode yang paling populer dan efektif untuk menanggulangi pencemaran logam berat karena proses adsorpsi ramah lingkungan, fleksibilitas, murah dan sederhana.

Penelitian tentang adsorpsi ion logam berat sebagian besar berupa adsorpsi dari larutan tunggal ion logam. Adsorpsi dari larutan biner dan kuartener ion logam juga perlu dilakukan untuk mengetahui tingkat interferensi dari kehadiran ko-kation dalam air limbah dan efisiensi adsorben dalam menghilangkan ion-ion tersebut dari air limbah (Sudiarta dkk., 2018). Adsorpsi kompetitif berbagai ion logam berat dalam sistem larutan biner telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Hadi dkk. (2014) telah melakukan adsorpsi Cd, Cu, Pb, dan Zn dari larutan tunggal, biner, dan tersier menggunakan adsorben berbahan limbah pertanian. Selektivitas adsorpsi ion-ion logam berbeda pada setiap adsorben. Tingkat kompetitif ion-ion logam dalam berinteraksi dengan adsorben bervariasi sesuai dengan adsorben yang digunakan. Srivastava dkk. (2014) juga melakukan penelitian adsorpsi ion logam Cd(II) dengan Zn(II) oleh adsorben ampas tebu

dalam sistem larutan tunggal dan larutan biner, sehingga didapatkan selektivitas adsorpsi adalah  $Zn < Cd$ . Selektivitas adsorpsi oleh adsorben zeolit alam dalam sistem larutan kuartener adalah  $Co(II) > Cu(II) > Zn(II) > Mn(II)$  (Erdem dkk., 2004). Basir dkk. (2020) telah melakukan penelitian selektivitas adsorpsi ion Hg(II) terhadap keberadaan ion Pb(II), Cd(II), dan Cu(II) menggunakan adsorben polimer bercetakan ion merkuri pada 3 sistim jenis larutan yaitu tunggal, biner, dan kuartener.

Senyawa yang dapat digunakan untuk adsorpsi logam berat yaitu zeolit, arang aktif (Nurlela, 2018) dan magnetit (Maylani dkk., 2016). Salah satu cara yang sedang dikembangkan adalah teknologi partikel nano (Faizal dkk., 2014). Partikel nano merupakan suatu partikel dengan ukuran nanometer, yaitu sekitar 1-100 nm. Suatu materi yang berada dalam bentuk partikel nano memiliki sifat yang berbeda dari sifat materi sebelumnya (Chaudhuri dan Paria, 2012). Partikel nano yang menarik untuk dikembangkan saat ini adalah partikel nano magnetit.

Magnetit dikenal juga sebagai *black iron oxide*, *magnetit iron ore*, *loadstone*, *ferrousferrit* atau *hercules stone* yang menunjukkan kemagnetan paling kuat di antara oksida-oksida logam transisi (Maylani dkk., 2016). Magnetit juga memiliki sifat super paramagnetik jika ukurannya kurang dari 30 nm. Selain itu, luas permukaan nanopartikel magnetit tinggi sehingga magnetit memiliki kapasitas besar untuk mengadsorpsi ion logam berat (Mahmuda dkk., 2014). Proses adsorpsi dengan nanopartikel magnetit dimungkinkan karena atom-atom oksigen di permukaan magnetit berpotensi mengikat ion-ion logam berat, sehingga nanopartikel magnetit dapat menurunkan kadar logam berat dalam air ataupun limbah cair (Teja dan Koh, 2009).

Penelitian terkait mengenai aplikasi nanopartikel sebagai adsorben telah dilakukan oleh Maylani dkk. (2016) yang mensintesis nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan metode kopresipitasi. Senyawa nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (*magnetite*) yang disintesis tersebut digunakan sebagai adsorben ion logam  $\text{Cd}(\text{II})$  dan diperoleh kondisi optimum adsorpsi yakni pH 8, waktu kontak 60 menit, dan konsentrasi adsorbat sebesar  $4,9017 \times 10^{-6}$  mol/L. Proses adsorpsi mengikuti model kinetika orde dua semu dan isoterm Langmuir dengan kapasitas adsorpsi sebesar 16,03 mg/g.

Ningsih dkk. (2013) telah mensintesis nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan metode elektrokimia secara elektro-oksidasi besi pada voltase tinggi (70 V) dan digunakan sebagai adsorben ion  $\text{Cd}(\text{II})$ . Semakin besar jarak antar elektroda maka semakin kecil diameter partikel magnetit yang dihasilkan. Nanopartikel magnetit hasil elektrokimia ini dapat mengadsorpsi 96,37% ion  $\text{Cd}(\text{II})$  pada pH 8 selama 30 menit.

Kopresipitasi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk membuat preparasi material nanopartikel. Prinsip kerja metode ini adalah dengan mengubah suatu garam logam menjadi endapan dengan menggunakan pengendap basa hidroksida atau karbonat yang kemudian diubah ke bentuk oksidanya dengan cara pemanasan. Sintesis dengan metode kopresipitasi menggunakan pasangan asam dan basa. Asam berfungsi sebagai pelarut dan basa membawa zat terlarut ke bawah sehingga terbentuk endapan. Sintesis nanopartikel magnetit dengan metode kopresipitasi memiliki sifat monodispersif artinya partikel magnetit terdistribusi secara merata atau seragam (Nurjannah, 2018).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini akan mensintesis nanopartikel magnetit dengan metode kopresipitasi, kemudian produk akan dikarakterisasi dengan menggunakan FTIR dan XRD. Nanopartikel magnetit digunakan untuk

mengadsorpsi ion Cd(II) pada berbagai pH, waktu kontak, dan konsentrasi awal ion logam Cd(II). Kandungan ion logam Cd(II) dalam larutan hasil adsorpsi dianalisis dengan instrumen SSA. Selektivitas adsorpsi ion logam Cd(II) akan dikaji dalam sistem larutan biner Cd(II)/Cu(II), Cd(II)/Pb(II), Cd(II)/Ni(II) dan dalam sistem larutan kuartener Cd(II)/Cu(II)/Pb(II)/Ni(II).

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. berapa pH optimum, waktu kontak optimum, dan kapasitas adsorpsi ion logam Cd(II) oleh adsorben nanopartikel magnetit?
2. bagaimana model isoterm dan kinetika adsorpsi ion logam Cd(II) oleh adsorben nanopartikel magnetit?
3. berapa koefisien selektivitas dari adsorpsi ion logam Cd(II) oleh nanopartikel magnetit terhadap keberadaan ion logam Cu(II), Pb(II), Ni(II) dalam sistem larutan biner dan kuartener?

## **1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian**

### **1.3.1 Maksud Penelitian**

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan menentukan kondisi optimum, model isoterm dan kinetika, serta selektivitas adsorpsi ion logam Cd(II)/Cu(II), Cd(II)/Pb(II), Cd(II)/Ni(II) dalam sistem larutan biner dan adsorpsi ion logam Cd(II)/Cu(II)/Pb(II)/Ni(II) dalam sistem larutan kuartener

### **1.3.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini yaitu:

1. menentukan pH optimum, waktu kontak optimum, dan kapasitas adsorpsi ion logam Cd(II) oleh adsorben nanopartikel magnetit

2. menentukan model isoterm dan kinetika adsorpsi ion logam Cd(II) oleh adsorben nanopartikel magnetit
3. menentukan koefisien selektivitas dari adsorpsi ion logam Cd(II) oleh nanopartikel magnetit terhadap keberadaan ion logam Cu(II), Pb(II), Ni(II) dalam sistem larutan biner dan kuartener.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi masyarakat dan berbagai pihak dalam menanggulangi pencemaran dan adsorpsi logam berat dengan menggunakan suatu material nano yang memiliki sifat kemagnetan sangat baik untuk memudahkan dalam proses pemisahan. Selain itu, diharapkan dapat memberikan informasi tentang kemampuan selektivitas adsorpsi ion logam Cd(II) oleh adsorben nanopartikel magnetit terhadap keberadaan ion logam Cu(II), Pb(II) dan Ni(II), sehingga dapat dimanfaatkan penggunaannya dalam proses adsorpsi dan pemisahan skala industri.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Nanopartikel

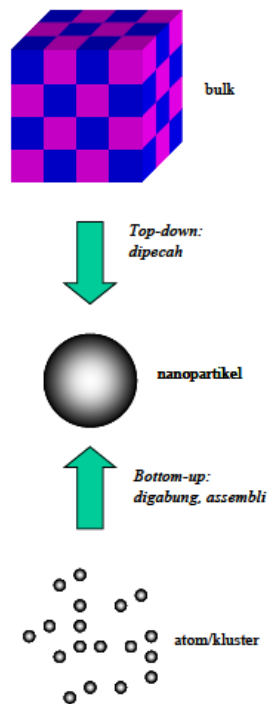
Perkembangan teknologi nano tidak terlepas dari riset mengenai material nano. Berdasarkan jumlah dimensi yang terletak dalam rentang nanometer, maka material nano diklasifikasikan menjadi beberapa kategori, yaitu material nano berdimensi nol (*nano particle*) seperti oksida logam dan *fullerenes*; material nano berdimensi satu (*nanowire, nanotubes, nanorods*); material nano berdimensi dua (*thin films*); dan material nano berdimensi tiga seperti nanokomposit, nanograined, mikroporous, mesoporous, interkalasi, organik-anorganik *hybrids* (Abdullah, 2008 dalam Pokropivny, 2007).

Nanopartikel adalah material berskala nano yang memiliki ukuran antara 1-100 nanometer. Nanopartikel dapat terjadi secara alamiah ataupun melalui proses sintesis. Sintesis nanopartikel bertujuan mengubah ukuran partikel dengan ukuran kurang dari 100 nm dan dapat mengubah sifat atau fungsinya. Nanopartikel memiliki sifat atau fungsi yang berbeda dari material sejenis dalam ukuran besar (*bulk*) seperti kekuatan mekanik, elektronik, magnetik, kestabilan termal, katalitik, dan optik (Abdullah dkk., 2008).

Dua hal utama yang membuat nanopartikel berbeda dengan material sejenis dalam ukuran besar. Nanopartikel magnetit memiliki nilai perbandingan antara luas permukaan dan volume yang lebih besar jika dibandingkan dengan partikel sejenis dalam ukuran besar, hal ini membuat nanopartikel bersifat lebih reaktif. Selain itu, hukum fisika yang berlaku lebih didominasi oleh hukum-hukum fisika kuantum (Abdullah dkk., 2008).

Sifat-sifat yang berubah pada nanopartikel biasanya berkaitan dengan fenomena kuantum yang akan mempengaruhi sifat material seperti perubahan warna yang dipancarkan, transparansi, kekuatan mekanik, konduktivitas listrik, dan magnetisasi. Perubahan rasio jumlah atom yang akan berpengaruh pada perubahan titik didih, titik beku, dan reaktivitas kimia. Perubahan-perubahan tersebut merupakan keunggulan dari nanopartikel dibandingkan dengan partikel sejenisnya yang berukuran besar (*bulk*). Populasi atom pada permukaan dibandingkan di dalam partikel pun mengalami perubahan. Sebuah partikel dengan ukuran 30 nm maka populasi atom-atom yang berada di permukaan adalah 5%, jika partikel berukuran 10 nm maka perbandingan tersebut menjadi 20% dan jika suatu partikel berukuran 3 nm maka 50% dari atom-atomnya berada di permukaan. Hal ini menggambarkan bahwa dengan makin kecilnya ukuran sebuah partikel, maka luas permukaan per satuan massa akan meningkat (Abdullah dkk., 2008).

Sintesis nanopartikel dapat dilakukan dalam fasa padat, cair, maupun gas. Proses sintesis pun dapat berlangsung secara fisika atau kimia. Proses sintesis secara fisika tidak melibatkan reaksi kimia, yang terjadi hanya pemecahan material besar menjadi material berukuran nanometer. Proses sintesis secara kimia melibatkan reaksi kimia dari sejumlah material awal (*precursor*) sehingga dihasilkan material lain yang berukuran nanometer. Secara umum ada dua cara mensintesis nanopartikel yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Adapun cara pertama adalah memecahkan partikel berukuran besar menjadi partikel berukuran nanometer. Pendekatan ini kadang disebut pendekatan *top-down*. Cara kedua adalah memulai dari atom-atom atau molekul-molekul atau kluster-kluster yang diassembly membentuk partikel berukuran nanometer yang dikehendaki, dimana pendekatan ini disebut *bottom-up* (Abdullah dkk., 2008).



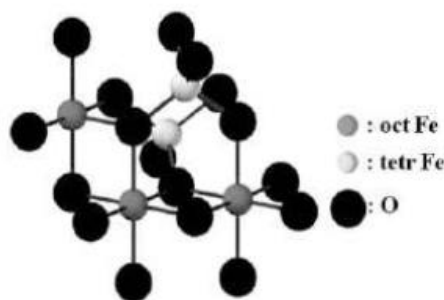
**Gambar 1.** Pendekatan Sintesis Nanopartikel: *Top-Down* dan *Bottom-up*

## 2.2 Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )

Magnetit adalah jenis oksida besi dengan formula kimia  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  atau  $(\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3)$ . 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* (Agnestisia, 2017). Besi oksida merupakan senyawa kimia yang terdiri atas unsur besi dan oksigen. Biasanya logam ini diperoleh di alam berupa mineral oksida besi magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), maghemit ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dan hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ). Fasa oksida besi dapat dihasilkan dari perbedaan suhu kalsinasi, yaitu magnetit pada suhu ruang, maghemit pada suhu kalsinasi  $200^\circ\text{C}$  dan hematit pada suhu kalsinasi  $300\text{-}600^\circ\text{C}$ . Pembentukan besi oksida dari ion logam besi dipengaruhi beberapa faktor, antara lain konsentrasi ion logam besi dalam larutan dan pH reaksi. Reaksi pembentukan besi oksida dapat berasal dari ion logam  $\text{Fe}^{2+}$  maupun ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  (Adhim, 2018).

Besi oksida dapat digunakan dalam berbagai aplikasi termasuk biomedis, adsorben, katalis, perangkat penyimpanan yang bersifat magnetik, sistem pendingin magnet dan lain-lain (Tan dan Bakar, 2006). Pada bidang lingkungan, magnetit digunakan sebagai adsorben kontaminan air karena memiliki daya serap yang baik dan kemampuannya dalam merespon medan magnet sehingga memudahkan proses pemisahan adsorben dari dalam larutan. Sintesis magnetit telah dikembangkan dengan berbagai metode seperti kopresipitasi, sol-gel, hidrotermal dan elektrokimia (Agnestisia, 2017).

Magnetit membentuk struktur spinel terbalik, yaitu setengah jumlah ion  $\text{Fe}^{3+}$  menempati rongga tetrahedron dan setengah yang lain menempati rongga oktahedron, serta semua ion  $\text{Fe}^{2+}$  menempati rongga oktahedron dari suatu tatanan kubus rapat muka (fcc) ion  $\text{O}^{2-}$  (Sugiyarto, 2003). Pada awalnya, magnetit digolongkan sebagai material feromagnetik, akan tetapi pada tahun 1940-an, Neel memunculkan teori tentang material ferimagnetik dimana material ini mempunyai senyawa ionik dan struktur kristal yang kompleks (Adhim, 2018). Material ferimagnetik seperti  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  mempunyai sifat tertentu seperti rapuh, keras, tahan panas, dan tahanan jenis listrik yang tinggi. Material ferimagnetik dapat termagnetisasi secara spontan pada temperatur *Currie* dan berubah menjadi paramagnetik pada temperatur di atas temperatur *Currie* (Chrismant, 1988).



**Gambar 2.** Struktur Kristal  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Magnetit mempunyai struktur spinel yang terlihat pada Gambar 2, dimana atom-atom oksigen yang lebih besar membentuk struktur kubik, sedangkan atom Fe yang lebih kecil mengisi situs tetrahedral dan oktahedral. Pada situs tetrahedral, atom Fe dikelilingi oleh 4 atom oksigen, sedangkan pada situs oktahedral atom Fe dikelilingi oleh 6 atom oksigen (Adhim, 2018).

### **2.3 Adsorpsi**

Adsorpsi adalah proses akumulasi adsorbat pada permukaan adsorben yang disebabkan oleh gaya tarik antar molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Interaksi yang terjadi pada molekul adsorbat dengan permukaan kemungkinan diikuti lebih dari satu interaksi, bergantung pada struktur kimia masing masing komponen (Setyaningtyas, 2005).

Menurut Sukardjo (2002), molekul-molekul pada permukaan zat padat atau zat cair mempunyai gaya tarik ke arah dalam karena tidak ada gaya-gaya yang mengimbangi. Gaya-gaya tersebut dapat menyebabkan zat padat dan zat cair mempunyai gaya adsorpsi. Adsorpsi berbeda dengan absorpsi, dimana pada proses absorpsi zat yang diserap masuk ke dalam adsorben sedangkan pada adsorpsi zat yang diserap hanya pada permukaan saja.

Adsorpsi terjadi pada permukaan zat padat karena adanya gaya elektrostatik atau gaya tarik antar molekul pada permukaan zat padat. Penyerapan bersifat selektif karena yang diserap hanya zat terlarut atau pelarut, dimana pada larutan yang mengandung dua jenis zat atau lebih, zat yang satu akan diserap lebih kuat dari yang lain. Adsorben padat yang baik memiliki porositas tinggi dan permukaan yang sangat luas sehingga terjadi pada banyak tempat untuk mengadsorpsi (Sukardjo, 2002). Pada pengolahan limbah cair, adsorpsi digunakan

untuk menghilangkan rasa, bau dan warna. Pada pengolahan lanjut air limbah, adsorpsi digunakan untuk menyerap bahan organik. Pada pengolahan air limbah industri, adsorpsi terutama digunakan untuk menyerap senyawa-senyawa organik beracun (Budiyono dan Sumardiono, 2013).

Adsorpsi dapat dibedakan menjadi adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia (Kundari dkk., 2008).

#### 1. Adsorpsi Fisik

Adsorpsi fisik berhubungan dengan gaya Van der Waals yang merupakan suatu proses bolak-balik apabila daya tarik menarik antara zat terlarut dan adsorben lebih besar daya tarik menarik antara zat terlarut dengan pelarutnya maka zat yang terlarut akan diadsorpsi pada permukaan adsorben. Adsorpsi fisik terjadi pada zat-zat yang bersuhu rendah dengan adsorpsi relatif rendah (Atkins, 1999).

#### 2. Adsorpsi Kimia

Terjadi karena adanya reaksi kimia antara molekul-molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Adsorpsi jenis ini bersifat tidak *reversibel* dan hanya membentuk satu lapisan tunggal (*monolayer*). Umumnya terjadi pada temperatur di atas temperatur kritis adsorbat. Sehingga kalor adsorpsi yang dibebaskan tinggi. Adsorben yang mengadsorpsi secara kimia pada umumnya sulit diregenerasi (Bobi, 2008 dalam Maylani, 2016).

### **2.3.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi**

Menurut Bernasconi dkk. (1995), adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu konsentrasi, luas permukaan, temperatur, ukuran partikel, pH, dan waktu kontak.

a. Konsentrasi

Tingkat adsorpsi zat terlarut meningkat dengan peningkatan konsentrasi adsorben (Iftekhhar dkk., 2018).

b. Luas Permukaan

Proses adsorpsi tergantung pada banyaknya tumbukan yang terjadi antara partikel-partikel adsorbat dan adsorben. Tumbukan selektif antara partikel itu akan meningkat dengan meningkatnya luas permukaan (Iftekhhar dkk., 2018).

c. Temperatur

Suhu larutan dalam proses adsorpsi akan mempengaruhi sifat adsorben. Adsorpsi akan lebih cepat berlangsung pada temperatur tinggi dan kecepatan adsorpsi menurun dengan menurunnya temperatur (Iftekhhar dkk., 2018).

d. Ukuran Partikel

Semakin kecil ukuran partikel yang diadsorpsi maka proses adsorpsinya akan berlangsung lebih cepat (Iftekhhar dkk., 2018).

e. pH

pH adalah salah satu variabel terpenting dalam proses adsorpsi. pH mempengaruhi tingkat ionisasi dan karakteristik permukaan suatu adsorben. Adsorpsi ion logam akan meningkat secara saat pH bergeser dari rendah ke tinggi (Ayob dkk., 2021).

f. Waktu Kontak

Waktu kontak adalah salah satu parameter utama yang mengatur proses adsorpsi. Penentuan waktu kontak optimum untuk adsorpsi bertujuan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan oleh adsorben untuk menyerap jumlah maksimum logam berat (Ayob dkk., 2021).

### 2.3.2 Isoterm Adsorpsi

Adsorben yang dibiarkan kontak dengan larutan, maka jumlah zat yang teradsorpsi akan bertambah naik secara bertahap sampai suatu keadaan seimbang tercapai. Proses penyerapan biasanya dinyatakan sebagai suatu isoterm adsorpsi (Atkins, 1997). Isoterm adsorpsi merupakan hubungan yang menunjukkan distribusi adsorben antara fasa teradsorpsi pada permukaan adsorben dengan fasa ruah saat kesetimbangan pada suhu tertentu. Isoterm Adsorpsi yang biasa digunakan yaitu:

#### 1. Isoterm Langmuir

Pada tahun 1918, Langmuir menurunkan teori isoterm adsorpsi dengan menggunakan model sederhana berupa padatan yang mengadsorpsi gas pada permukaannya. Model ini mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (*monolayer*) adsorbat di permukaan adsorben (Handayani dan Sulistiyono, 2009).

Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dituliskan pada persamaan (1) (Zahroh, 2010):

$$Q = \frac{b \cdot K \cdot C_e}{1 + K \cdot C_e} \quad (1)$$

Persamaan (1) dapat diturunkan secara linear menjadi persamaan (2):

$$\frac{C_e}{Q} = \frac{1}{K_b} + \frac{1}{b} C_e \quad (2)$$

dimana  $C_e$  adalah konsentrasi kesetimbangan adsorbat dalam larutan setelah adsorpsi (mg/L),  $Q$  adalah jumlah adsorbat teradsorpsi per bobot adsorben (mg/g),  $K_b$  adalah konstanta kesetimbangan adsorpsi (L/mg),  $b$  adalah kapasitas adsorpsi maksimum dari adsorben (mg/g).



## 2. Isoterm Freundlich

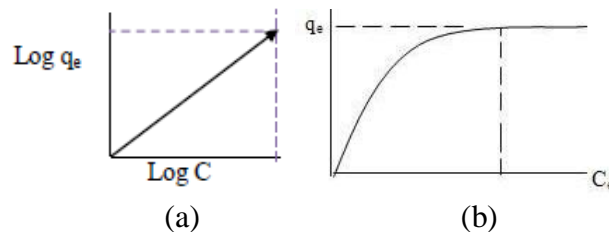
Persamaan isoterm adsorpsi Freundlich didasarkan atas terbentuknya lapisan *monolayer* dari molekul-molekul adsorbat pada permukaan adsorben. Namun, pada adsorpsi Freundlich situs-situs aktif pada permukaan adsorben bersifat heterogen. Persamaan isoterm adsorpsi Freundlich dituliskan pada persamaan (3) (Zahroh, 2010):

$$Q = k \cdot C_e^{1/2} \quad (3)$$

Persamaan di atas dapat diubah ke dalam bentuk linear yaitu:

$$\log Q = \log k + \frac{1}{n} \log C_e \quad (4)$$

dimana  $C_e$  adalah konsentrasi kesetimbangan adsorbat dalam larutan setelah adsorpsi (mg/L),  $k$  adalah konstanta adsorpsi Freundlich,  $n$  adalah konstanta empiris, dan  $Q$  adalah jumlah adsorbat teradsorpsi per bobot adsorben (mg/g).



**Gambar 3.** (a) kurva Freundlich; (b) kurva Langmuir (Oscik, 1998)

## 3. Isoterm Sips

Isoterm Sips merupakan kombinasi model Langmuir dan Freundlich.

Adapun model isoterm ini dinyatakan dalam bentuk persamaan (5) dan (6):

$$q_e = \frac{q_m \cdot K_{eq} \cdot C_e^{1/n}}{1 + K_{eq} \cdot C_e^{1/n}} \quad (5)$$

$$\ln \frac{q_e}{q_m - q_e} = \ln K_{eq} + \frac{1}{n} \cdot \ln C_e \quad (6)$$

dimana  $1/n$  adalah faktor heterogenitas,  $K_{eq}$  (L/mg) adalah konstanta kesetimbangan,  $q_e$  dan  $q_m$  (mg/g) masing-masing adalah kapasitas adsorpsi kesetimbangan dan kapasitas adsorpsi maksimum.

Perbedaan antara model isoterm Sips dan Freundlich terlihat pada konsentrasi adsorbat yang tinggi, yaitu model Sips mampu memperlihatkan kondisi saturasi. Pada konsentrasi adsorbat yang rendah, persamaan Sips tereduksi menjadi persamaan Freundlich klasik. Pada sisi lain saat mendekati jenuh, isoterm ini akan tereduksi menjadi persamaan isoterm adsorpsi Langmuir yang memperlihatkan proses kejenuhan (Basir, 2019).

### 2.3.3 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi suatu zat dapat diketahui dengan mengukur perubahan konsentrasi zat yang teradsorpsi dan menganalisis nilai  $k$  (berupa slope/kemiringan) serta memplotkannya pada grafik. Kinetika adsorpsi dipengaruhi oleh kecepatan adsorpsi. Kecepatan adsorpsi dapat didefinisikan sebagai banyaknya zat yang teradsorpsi per satuan waktu (Raya dkk., 2002).

#### 1. Model Kinetika Orde Satu Semu

Model kinetika order satu semu yang dikemukakan oleh Lagergren berdasarkan pada kapasitas adsorpsi padatan. Persamaan Kinetika Orde Satu Semu dituliskan pada persamaan (7):

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k \cdot t \quad (7)$$

Jika dilakukan plot  $\ln(q_e - q_t)$  vs  $t$  maka akan diperoleh nilai  $k$  dan  $q_e$  (terhitung) dimana  $k$  merupakan slope dan  $q_e$  sebagai intersep.

## 2. Model Kinetika Orde Dua Semu

Model ini dikemukakan oleh Ho dan McKay berdasarkan pada kapasitas serapan pada fase padatan. Persamaan Kinetika Orde Dua Semu dituliskan pada persamaan (8):

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_{q2e}} + \frac{1}{q_e} t \quad (8)$$

Jika dilakukan plot  $(t/q_t)$  vs  $t$ , maka akan diperoleh nilai  $\frac{1}{k_{q2e}}$  dari intersep dan  $\frac{1}{q_e}$  dari slope (Danarto, 2007; Umaningrum, 2010).

### 2.4 Logam Kadmium (Cd)

Logam berat adalah unsur-unsur yang mempunyai nomor atom dari 22-92, mempunyai densitas lebih besar dari 5 gram/mL, terdapat 80 dari 109 unsur kimia di muka bumi yang telah teridentifikasi sebagai jenis logam berat. Logam berat umumnya berada di sudut kanan bawah pada susunan berkala, seperti unsur-unsur Pb, Cd dan Hg (Saeni, 1989).

Kadmium adalah logam berwarna putih perak, lunak, lentur, tahan terhadap tekanan, mengkilap, tidak larut dalam basa, dan mudah bereaksi. Kadmium umumnya terdapat dalam kombinasi dengan klor (Cd klorida) atau belerang (Cd sulfit). Kadmium memiliki nomor atom 40, berat atom 112,4 g/mol, titik leleh 321°C dan titik didih 767°C (Widowati dkk., 2008). Kadmium adalah salah satu logam berat yang bersama-sama dengan unsur Zn dan Hg termasuk pada golongan IIB Sistem Periodik Unsur. Kadmium jarang ditemukan di alam dalam bentuk bebas. Keberadaannya di alam dalam berbagai jenis batuan, tanah, batubara dan minyak (Fergusson, 1991).

Kadmium memiliki toksisitas yang tinggi setelah Hg. Level maksimum Cd dalam air limbah yang diperbolehkan berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah, kadar maksimum kadmium (Cd) air limbah yang dibuang ke badan air sebesar 0,05 mg/L. Kadmium termasuk ke dalam logam berat tidak esensial, yakni logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya. Logam Cd perlu diketahui secara pasti dalam perairan, sebab kadar yang terlalu tinggi dapat berdampak buruk bagi kesehatan (Sasongko dkk., 2017). Kadmium digunakan sebagai bahan utama atau tambahan materi dalam industri, antara lain industri elektroplating, baterai nikel-kadmium, bahan *coating*, bahan *stabilizers* dalam industri plastik dan barang sintetis lain (Withgott dan Brennan, 2007).

## **2.5 Instrumen**

### **2.5.1 *Fourier Transform Infra Red (FT-IR)***

Absorpsi inframerah pada FTIR dapat terjadi jika terpenuhi dua syarat, yaitu kesesuaian antara frekuensi radiasi inframerah dengan frekuensi vibrasional molekul sampel seperti ditunjukkan pada Tabel 1 (Chatwal, 1985). Setiap sampel yang diuji memiliki senyawa yang menyerap energi dari cahaya inframerah sehingga molekul tersebut akan tereksitasi ke tingkatan energi yang lebih tinggi. Penyerapan energi tersebut mengakibatkan perubahan energi vibrasi yang terjadi pada molekul tersebut. Vibrasi molekul dapat digolongkan menjadi vibrasi regangan (*stretching*) dan vibrasi bengkokan (*bending*) (Noor, 2010).

**Tabel 1.** Frekuensi Gugus Fungsi pada Inframerah (Underwood dan Day, 2002)

<b>Gugus Fungsi</b>	<b>Nama Gugus Fungsi</b>	<b>Daerah Serapan (cm<sup>-1</sup>)</b>
OH	Hidroksil	3580-3650
	Ikatan-H	3210-3550
	Asam	2500-2700
NH	Amina	3300-3700
CH	Alkana	2850-2960
	Alkena	3010-3095
	Alkuna	3300
	Aromatik	~3030
C≡C	Alkuna	2140-2260
C=C	Alkena	1620-1680
	Aromatik	~1600
C=O	Aldehida	1720-1740
	Keton	1675-1725
	Asam	1700-1725
	Ester	1720-1750
C≡N	Nitril	2000-2300
NO <sub>2</sub>	Nitro	1500-1650

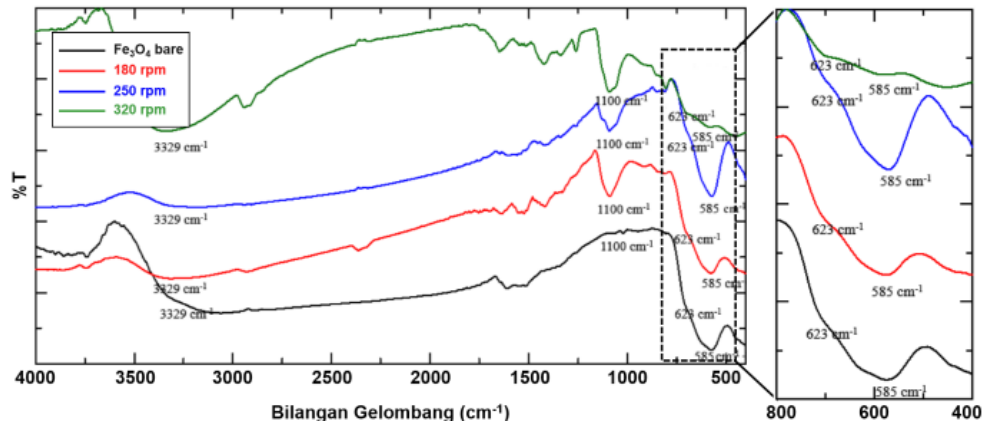
Nanopartikel magnetit dapat dikarakterisasi dengan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi dari partikel tersebut. Rahayu dkk., (2018) telah melakukan karakterisasi FTIR untuk mengetahui gugus fungsi dari nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan pelapisan permukaan berbasis polivinil alkohol dan variasi pengadukan (180, 250, 320 rpm). Hasil analisis spektra FTIR pada nanopartikel

magnetit dengan variasi kecepatan diperoleh bahwa terdapat gugus O-H pada serapan  $\sim 3279\text{ cm}^{-1}$  dan  $\sim 3700\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya molekul air dan gugus hidroksil pada PVA. Pada sampel (C) diketahui terdapat puncak O-H yang sangat tinggi dan lebar, hal ini memungkinkan bahwa masih banyak molekul air yang masih terikat pada sampel (C), sehingga terbentuk interaksi ikatan Fe-O-C pada serapan sekitar  $1100\text{ cm}^{-1}$ . Ikatan tersebut tidak menunjukkan ikatan magnetit karena pada serapan di daerah *fingerprint* tidak ditemukan adanya gugus Fe-O pada puncak serapan  $\sim 580\text{ cm}^{-1}$  yang diketahui merupakan daerah sidik jari untuk magnetit.

Nanopartikel dengan kecepatan 320 rpm (C) memiliki tampilan warna serbuk kemerahan dan tidak dapat tertarik oleh magnet. Hal ini mungkin disebabkan adanya interaksi magnetit dengan oksigen karena adanya pengadukan yang sangat cepat menyebabkan nanopartikel magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) yang terbentuk teroksidasi menjadi maghemit ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ). Sampel (B), dihasilkan nanopartikel berbentuk serbuk berwarna hitam yang dimungkinkan merupakan magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Hal ini dapat dibuktikan dengan adanya gugus fungsi Fe-O pada pita serapan daerah sidik jari ( $\sim 571\text{ cm}^{-1}$ ) yang tajam dan luas untuk magnetit (Rahayu dkk., 2018).

Pada Gambar 4 tampak pada sampel (A) dan (B) terdapat serapan pada daerah  $\sim 450\text{ cm}^{-1}$  dan  $\sim 585\text{ cm}^{-1}$  untuk Fe-O yang menunjukkan adanya senyawa magnetit dan juga terdapat sedikit puncak pada pita serapan  $\sim 623\text{ cm}^{-1}$  untuk maghemit. Sampel (C) puncak pada daerah  $\sim 450\text{ cm}^{-1}$  dan  $\sim 585\text{ cm}^{-1}$  untuk serapan Fe-O tampak menghilang yang menandakan magnetit sudah berubah fasa. Hal ini disebabkan karena pengadukannya yang terlalu tinggi telah

mendeformasi kristal dari nanopartikel menjadi bentuk struktur kristal yang lain (Rahayu dkk., 2018).



**Gambar 4.** Spektra FTIR untuk Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-PVA-GA-dengan variasi kecepatan pengadukan

### 2.5.2 X-Ray Diffraction (XRD)

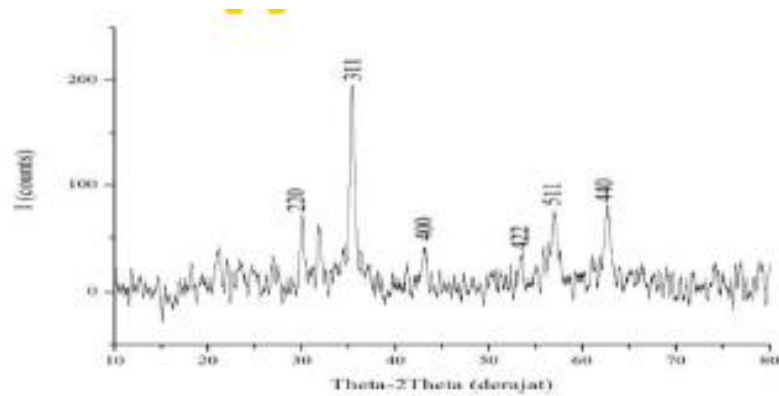
Difraksi sinar-X dapat digunakan untuk menentukan ukuran kristal dengan fase tertentu. Penentuannya merujuk pada puncak-puncak utama di dalam pola difraktogram melalui pendekatan Debye Scherrer yang dirumuskan pada persamaan (9) dan (10) (Monshi dkk., 2012 dalam Bonardo dan Siburian, 2021):

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (9)$$

$$\ln \beta = \ln \frac{k\lambda}{D \cos \theta} = \ln \frac{k\lambda}{D} + \ln \frac{1}{\cos \theta} \quad (10)$$

dimana D adalah ukuran kristal, K adalah faktor bentuk dari kristal (0,9-1),  $\lambda$  adalah panjang gelombang dari sinar-X (1,54056 Å),  $\beta$  adalah nilai dari *Full Width at Half Maximum* (FWHM) (rad), dan  $\theta$  adalah sudut difraksi (derajat).

Karakterisasi menggunakan XRD ditujukan untuk identifikasi fasa dan penentuan ukuran partikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> hasil sintesis.



**Gambar 5.** Difraktogram  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  hasil sintesis

Berdasarkan Gambar 5 tersebut, maka terlihat bahwa puncak-puncak difraktogram  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  hasil sintesis muncul pada  $2\theta = 18,20; 29,97; 35,35; 36,35; 47,33; 53,48; 56,40; 62,66; 65,87; 71,19; 74,94; 78,89; \text{ dan } 80,00^\circ$  yang sesuai dengan difraktogram *Join Committee on Powder Diffraction Standard (JCPDS)*  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  standar nomor 85-1436. Hal ini menandakan bahwa fasa yang terbentuk adalah  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Ukuran partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  hasil sintesis ditentukan dengan menggunakan persamaan Debye-Scherrer. Berdasarkan perhitungan diperoleh ukuran partikel pada kisaran 19,3448 nm. Hal ini menandakan bahwa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  hasil sintesis merupakan partikel nano (Maylani dkk., 2016).