

**INTERKALASI SENYAWA POLIOKSOMETALAT $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}]$
PADA MATERIAL HIDROKSI LAPIS GANDA Ni-Cr
DAN APLIKASINYA SEBAGAI ADSORBEN ION Fe (II) DAN Cr (VI)**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Bidang Studi Kimia**



Oleh :

MUHAMMAD FAHMI AZMI

08031281621036

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2020

HALAMAN PENGESAHAN

**INTERKALASI SENYAWA POLIOKSOMETALAT $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}]$
PADA MATERIAL HIDROKSI LAPIS GANDA Ni-Cr
DAN APLIKASINYA SEBAGAI ADSORBEN ION Fe (II) DAN Cr (VI)**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh :

MUHAMMAD FAHMI AZMI

08031281621036

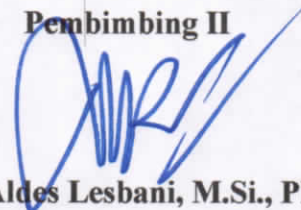
Indralaya, 16 Januari 2020

Pembimbing I



Dr. rer. nat. Risfidian Mohadi, M.Si
NIP. 197711272005011003

Pembimbing II



Prof. Aldes Lesbani, M.Si., Ph.D
NIP. 197408121998021001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc.
NIP. 197210041997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul “Interkalasi Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}]$ pada Material Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Ion Fe (II) dan Cr (VI)” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 13 Januari 2020 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 16 Januari 2020

Pembimbing:

1. **Dr. rer. nat. Risfidian Mohadi, S.Si., M.Si**
NIP. 197711272005011003
2. **Prof. Aldes Lesbani, S.Si., M.Si., Ph.D**
NIP. 197408121998021001

()
()

Penguji:

1. **Nurlisa Hidayati, M.Si**
NIP. 197211092000032001
2. **Dr. Ferlinahayati, M.Si**
NIP. 197402052000043001
3. **Fahma Riyanti, M.Si**
NIP. 197204082000032001

()
()
()

Mengetahui,

Dekan FMIPA


Prof. Dr. Iskhak Iskandar, M.Sc
NIP. 197210041997021001

Ketua Jurusan Kimia


Dr. Dedi Rohendi, M.T
NIP. 196704191993031001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama mahasiswa : Muhammad Fahmi Azmi
NIM : 08031281621036
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain.

Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 16 Januari 2020

Yang menyatakan.



Muhammad Fahmi Azmi
NIM. 08031281621036

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIK**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Muhammad Fahmi Azmi
NIM : 08031281621036
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan,
Saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “hak bebas royalti non-eksklusif (*non exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : “Interkalasi Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}]$ pada Material Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Ion Fe (II) dan Cr (VI)”. Dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 16 Januari 2020

Yang menyatakan,



Muhammad Fahmi Azmi
NIM. 08031281621036

**INTERCALATION OF POLIOXOMETALATE COMPOUNDS
K₄[α -SiW₁₂O₄₀] IN Ni-Cr LAYERED DOUBLE HYDROXIDE MATERIAL
AND APPLICATION AS ADSORBENT Fe (II) AND Cr (VI) ION**

Muhammad Fahmi Azmi

08031281621036

Chemistry Department of Faculty of Mathematics and Natural Sciences

Sriwijaya University

E-mail : fhmiazmi@gmail.com

ABSTRACT: Synthesis of the Ni-Cr layered double hydroxide compounds and the Ni-Cr layered double hydroxide intercalated with the polyoxometalate compound have been conducted successfully. Characterization was carried out by XRD, BET, and FTIR analyses. Furthermore, Ni-Cr layered double hydroxide and the intercalation results were used to adsorb Fe (II) and Cr (VI) ions from aqueous solution. XRD results indicate the Ni-Cr layered double hydroxide interlayer distance of 7.99 Å and the intercalation results of 10.87 Å. BET results indicate the surface area of the Ni-Cr layered double hydroxide was 11.030 m²/g and the surface area of the intercalation results was 98.986 m²/g. FTIR spectra results indicate the specific vibration of the layered double hydroxide compound in the wavelength of 671.23 cm⁻¹ (ν M-O), 1635.64 cm⁻¹ (ν H-O-H), 3448.72 cm⁻¹ (ν O-H), and 1381.03 cm⁻¹ (ν NO³⁻) and intercalated with [α -SiW₁₂O₄₀]⁴⁻ indicate the specific vibration of the wavelength of 794.67 cm⁻¹ (ν W-Oc-W), 887.26 cm⁻¹ (ν W-Oe-W), 1103.28 cm⁻¹ (ν Si-O-Si) and 3425.58 cm⁻¹ (ν O-H). pH Point Zero Charge of the Ni-Cr layered double hydroxide is at pH 9 and the intercalation result is at pH 7. The pseudo second order kinetic model is appropriate for explaining Fe (II) ion adsorption and the pseudo first order kinetic model is suitable for explaining Cr (VI) ion adsorption. Ni-Cr layered double hydroxide intercalated with polyoxometalate compounds has a greater adsorption capacity to adsorb Fe (II) and Cr (VI) ions than the Ni-Cr layered double hydroxide without modification. The adsorption process was endothermic with insignificant entropy and also spontaneously reaction.

Keywords : layered double hydroxide, Ni-Cr, polyoxometalate, Fe (II), Cr (VI)

INTERKALASI SENYAWA POLIOKSOMETALAT $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}]$ PADA MATERIAL HIDROKSI LAPIS GANDA Ni-Cr DAN APLIKASINYA SEBAGAI ADSORBEN ION Fe (II) DAN Cr (VI)

Muhammad Fahmi Azmi

08031281621036

Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Sriwijaya

E-mail : fhmiazmi@gmail.com

ABSTRAK: Sintesis senyawa hidroksi lapis ganda Ni-Cr dan interkalasi hidroksi lapis ganda Ni-Cr dengan senyawa polioksometalat telah berhasil dilakukan. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan analisis XRD, BET, dan FTIR. Selanjutnya hidroksi lapis ganda Ni-Cr dan hasil interkalasinya digunakan sebagai adsorben ion Fe (II) dan Cr (VI). Hasil XRD menunjukkan jarak *interlayer* hidroksi lapis ganda Ni-Cr sebesar 7,99 Å dan jarak *interlayer* hidroksi lapis ganda Ni-Cr hasil interkalasi sebesar 10,87 Å. Hasil BET menunjukkan luas permukaan pada hidroksi lapis ganda Ni-Cr sebesar 11,030 m²/g dan luas permukaan pada hidroksi lapis ganda Ni-Cr hasil interkalasi sebesar 98,986 m²/g. Hasil analisis FTIR menunjukkan vibrasi spesifik senyawa hidroksi lapis ganda yaitu pada bilangan gelombang 671,23 cm⁻¹ (ν M-O), 1635,64 cm⁻¹ (ν H-O-H), 3448,72 cm⁻¹ (ν O-H), dan 1381,03 cm⁻¹ (ν NO³⁻) dan hidroksi lapis ganda Ni-Cr terinterkalasi [$\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}$]⁴⁻ menunjukkan vibrasi spesifik yaitu pada bilangan gelombang 794,67 cm⁻¹ (ν W-Oc-W), 887,26 cm⁻¹ (ν W-Oe-W), 1103,28 cm⁻¹ (ν Si-O-Si) dan 3425,58 cm⁻¹ (ν O-H). pH *Point Zero Charge* hidroksi lapis ganda Ni-Cr berada pada pH 9 dan hasil interkalasinya pada pH 7. Model kinetik *pseudo second order* sesuai untuk menjelaskan adsorpsi ion Fe (II) dan model kinetik *pseudo first order* sesuai untuk menjelaskan adsorpsi ion Cr (VI). Hidroksi lapis ganda Ni-Cr terinterkalasi senyawa polioksometalat memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar untuk mengadsorpsi ion Fe (II) dan Cr (VI) dari pada hidroksi lapis ganda Ni-Cr tanpa modifikasi. Reaksi yang terjadi secara endotermik dengan perubahan entropi yang tidak terlalu signifikan serta berlangsung secara spontan.

Kata Kunci : hidroksi lapis ganda, Ni-Cr, polioksometalat, Fe (II), Cr (VI)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanyalah milik Tuhan Yang Maha Esa semata, kita memujinya, memohon pertolongan dan ampunan hanya kepada-Nya dan pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul: “Interkalasi Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}]$ pada Material Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Ion Fe (II) dan Cr (VI)”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains (S.Si) pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.

Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai rintangan, mulai dari pengumpulan literatur, pengumpulan data sampai pada pengolahan data maupun dalam tahap penulisan. Namun dengan kesabaran dan ketekunan yang dilandasi dengan rasa tanggung jawab selaku mahasiswa dan juga bantuan dari berbagai pihak, baik material maupun moril sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak **Dr.rer.nat. Risfidian Mohadi, M.Si** dan Bapak **Prof. Aldes Lesbani, S.Si., M.Si., Ph.D** yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, saran dan petunjuk kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya yang begitu besar. Terima kasih atas segalanya.
2. Bapak **Prof. Iskhaq Iskandar, M.Sc** selaku Dekan MIPA Universitas Sriwijaya.
3. Bapak **Dr. Dedi Rohendi, M.T** selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Bapak **Dr. Muhammad Said, M.T** selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Ibu **Prof. Dr. Poedji Loekitowati, M.Si** selaku dosen Pembimbing Akademik.

6. Ibu **Dr. Ferlinahayati, M.Si**, Ibu **Nurlisa Hidayati, M.Si** dan Ibu **Fahma Riyanti, M.Si** selaku penguji sidang sarjana.
7. Seluruh Dosen FMIPA KIMIA yang telah mendidik dan membimbing selama masa kuliah.
8. Kepada kedua orang tua **Azwar** dan **Zahermi** yang telah mendukung selama menempuh pendidikan.
9. Abang **Muhammad Fauzi Azmi** dan kakak **Faradilla Azmi** selaku saudara kandung yang selalu memberikan semangat dalam menempuh pendidikan.
10. **Khayla Naila Aldilla** dan **Hafizhan Raffa Aldilla** sebagai keponakan yang selalu mendoakan pamannya.
11. **Yodi Widiasto Adjie** selaku adik dan sahabat selama masa kuliah yang telah memberikan banyak pengorbanan dan bantuan.
12. **Amatullah Hanifa** dan **M. Rivaldy S.** selaku sahabat dari angkatan 58 SMK-SMAK Bogor yang telah banyak memberikan nasihat dan bantuan.
13. Seluruh keluarga HASKA SUMBAGSEL (**Kak Endang dan istri, Kak Hadi dan istri, Kak Hasan dan istri, Kak Mufqi dan istri, Kak Lingga Ramadhan dan kakak ipar, Kak Uyo, Kak Eki dan istri, Kak Fajar, Kak Jani, Kak Pandu, Kak Bobby, Kak Gume, Kak Yayat, Kak Bagus, Kak Ian, Kak Adhit, Kak Ahlul, Kak Nafa, Kak Aziz, Ramdan, dan lainnya**) yang telah banyak memberikan semangat dalam penelitian ini.
14. **Mabrur, Egi, Fadel, Ola, Kimpung, Purwanti, Dewi, Yoga, dan Nikol** yang telah memberi semangat selama masa kuliah.
15. Seluruh keluarga OHANA (**Valdy, Cici, Eka, Reksa, Alya, Galuh, Amal, Dudut, Resti dan Anti**) yang selalu mendampingi dari kejauhan.
16. Seluruh keluarga ABAS BARU (**Bang Jon, Uni, Rifqi, Reza, Rafli, dan Raka**) yang telah banyak membantu selama kuliah.
17. Anggota penelitian tugas akhir kimia anorganik bimbingan Prof. Aldes Lesbani, Ph.D (**Ayu Yuliana, S.Si, Normah, S.Si, Novie Juleanti, S.Si, Melantina Oktriyanti, M.Si, Neza Rahayu Palapa, M.Si, dan Dr. Tarmizi Taher, S.Si**).

18. Seluruh sahabat di Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya angkatan 2016.
19. Adik asuh (**Sicho dan Nata**) yang selalu memberikan semangat untuk menjalankan studi.
20. Adik tingkat di Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya angkatan 2017, 2018 dan 2019.
21. Mbak **Novi** yang dan kak **Cosin** selaku admin Jurusan Kimia.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan untuk itu penulis mengharapkan saran dan masukan yang membangun dari para pembaca. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Inderalaya, 16 Januari 2020

Muhammad Fahmi Azmi
NIM. 08031281621036

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
SUMMARY	vi
RINGKASAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Hidroksi Lapis Ganda	6
2.1.1. Stuktur Material Hidroksi Lapis Ganda	7
2.1.2. Aplikasi Hidroksi Lapis Ganda Sebagai Adsorben dan Katalis	8
2.2. Senyawa Polioksometalat	8
2.2.1. Struktur Senyawa Polioksometalat.....	9
2.2.2. Struktur Senyawa Polioksometalat Tipe Keggin (X/M = 1/12)	11
2.3. Interkalasi Senyawa Hidroksi Lapis Ganda.....	12
2.4. Adsorpsi	12

2.5. Logam Berat	13
2.5.1. Logam Berat Fe (II).....	14
2.5.2. Logam Berat Cr (VI).....	14
2.6. Karakterisasi	15
2.6.1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	15
2.6.2. Brunauer, Emmet, dan Teller (BET)	16
2.6.3. Spektrofotometer Inframerah (FTIR).....	17
2.6.4. <i>pH Point Zero Charge</i>	18
2.6.5. Spektrofotometri UV-Vis	18
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1. Waktu dan Tempat.....	20
3.2. Alat dan Bahan.....	20
3.2.1. Alat	20
3.2.2. Bahan.....	20
3.3. Prosedur Penelitian	21
3.3.1. Sintesis Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr.....	21
3.3.2. Sintesis Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}]\cdot n\text{H}_2\text{O}$	21
3.3.3. Sintesis Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr Terinterkalasi Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}]\cdot n\text{H}_2\text{O}$	22
3.3.4. Pengukuran <i>pH Point Zero Charge</i> Hidroksi Lapis Ganda Zn-Fe Kontrol Terinterkalasi Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}]\cdot n\text{H}_2\text{O}$	22
3.3.5. Pembuatan Larutan Baku Induk	23
3.3.5.1. Larutan Baku Induk Fe (II)	23
3.3.5.2. Larutan Baku Induk Cr (VI).....	23
3.3.6. Pembuatan Larutan Standar.....	23
3.3.6.1. Larutan Standar Fe (II).....	23
3.3.6.2. Larutan Standar Cr (VI)	23
3.3.7. Prosedur Pengompleksan Fe (II) dengan 1,10-fenantrolin dan Cr (VI) dengan 1,5-Difenilkarbazida	24
3.3.7.1. Pengompleksan Fe (II) dengan 1,10-fenantrolin.....	24

3.3.7.2. Pengompleksan Cr (VI) dengan 1,5-Difenilkarbazida.....	24
3.3.8. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Kompleks Fe (II) dan Cr (VI)	23
3.3.9. Adsorpsi.....	25
3.3.9.1. Variasi Waktu Adsorpsi	25
3.3.9.2. Variasi Konsentrasi dan Temperatur Adsorpsi	25
3.4. Analisis Data.....	26
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1. Karakterisasi Material Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr, Material Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr Terinterkalasi Senyawa Polioksometalat, Serta Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$	28
4.1.1. Hasil Karakterisasi Analisis XRD.....	28
4.1.2. Hasil Karakterisasi Analisis BET.....	31
4.1.3. Hasil Karakterisasi Analisis FTIR.....	32
4.2. Pengukuran pH <i>Point Zero Charge</i> pada Material Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr dan Material Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr Terinterkalasi Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$	34
4.3. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Kompleks Fe (II) dan Cr (VI).....	36
4.4. Aplikasi Material Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr dan Material Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr Terinterkalasi Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$ sebagai Adsorben Ion Fe (II) dan Cr (VI)	37
4.4.1. Pengaruh Waktu Adsorpsi Ion Fe (II) dan Ion Cr (VI)	37
4.4.2. Pengaruh Konsentrasi dan Temperatur Adsorpsi Ion Fe (II) dan Ion Cr (VI)	42
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1. Kesimpulan	53
5.2. Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54

LAMPIRAN..... 59

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Ilustrasi dari struktur hidroksi lapis ganda.....	7
Gambar 2. Struktur polioksometalat primer, sekunder, dan tersier	10
Gambar 3. Struktur-struktur senyawa polioksometalat	11
Gambar 4. Isomer polioksometalat tipe Keggin	11
Gambar 5. Skema interkalasi polioksometalat pada material hidroksi lapis ganda	12
Gambar 6. Skema Hukum Bragg.....	15
Gambar 7. Difraktogram hidroksi lapis ganda Ni-Cr	16
Gambar 8. Spektrum hidroksi lapis ganda Zn-Fe	17
Gambar 9. Difraktogram hidroksi lapis ganda Ni-Cr dan hasil interkalasinya beserta senyawa polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$	29
Gambar 10. Ilustrasi interkalasi senyawa polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}]$ pada material hidroksi lapis ganda Ni-Cr.....	31
Gambar 11. Grafik isoterm adsorpsi-desorpsi gas N_2 pada material hidroksi lapis ganda Ni-Cr dan hasil interkalasi senyawa polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}]$	31
Gambar 12. Spektrum FTIR pada material hidroksi lapis ganda Ni-Cr dan hasil interkalasinya beserta senyawa polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}]$...	33
Gambar 13. Grafik pH pzc material hidroksi lapis ganda Ni-Cr dan material hidroksi lapis ganda Ni-Cr terinterkalasi senyawa polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$	35
Gambar 14. Spektra UV-Vis Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Kompleks Fe (II) dan Cr (VI)	36
Gambar 15. Pengaruh waktu adsorpsi terhadap ion Fe (II) dengan adsorben hidroksi lapis ganda Ni-Cr dan hasil interkalasi dengan senyawa polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$	38
Gambar 16. Pengaruh waktu adsorpsi terhadap ion Cr (VI) dengan adsorben hidroksi lapis ganda Ni-Cr dan hasil interkalasi dengan senyawa polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$	40

Gambar 17. Pengaruh konsentrasi dan temperatur adsorpsi terhadap ion Fe (II) dengan adsorben hidroksi lapis ganda Ni-Cr.....	42
Gambar 18. Pengaruh konsentrasi dan temperatur adsorpsi terhadap ion Fe (II) dengan adsorben hidroksi lapis ganda Ni-Cr terinterkalasi senyawa polioksometalat $K_4[\alpha-SiW_{12}O_{40}] \cdot nH_2O$	43
Gambar 19. Pengaruh konsentrasi dan temperatur adsorpsi terhadap ion Cr (VI) dengan adsorben hidroksi lapis ganda Ni-Cr.....	48
Gambar 20. Pengaruh konsentrasi dan temperatur adsorpsi terhadap ion Cr (VI) dengan adsorben hidroksi lapis ganda Ni-Cr terinterkalasi senyawa polioksometalat $K_4[\alpha-SiW_{12}O_{40}] \cdot nH_2O$	48

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Jarak <i>interlayer</i> material hidroksi lapis ganda Ni-Cr dan hasil interkalasi	30
Tabel 2. Hasil karakterisasi BET hidroksi lapis ganda Ni-Cr dan hasil interkalasi senyawa polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}]$	32
Tabel 3. Model kinetik adsorpsi ion Fe (II) dengan adsorben hidroksi lapis ganda Ni-Cr dan hasil interkalasi senyawa polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}]$	39
Tabel 4. Model kinetik adsorpsi ion Cr (VI) dengan adsorben hidroksi lapis ganda Ni-Cr dan hasil interkalasi senyawa polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}]$	41
Tabel 5. Data isoterm adsorpsi ion Fe (II) menggunakan model isoterm Langmuir dan Freundlich dengan adsorben hidroksi lapis ganda Ni-Cr dan hasil interkalasi senyawa polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}]$	44
Tabel 6. Data entalpi (ΔH), entropi (ΔS), energi bebas Gibbs (ΔG) pada proses adsorpsi ion Fe (II) dengan adsorben hidroksi lapis ganda Ni-Cr.....	46
Tabel 7. Data entalpi (ΔH), entropi (ΔS), energi bebas Gibbs (ΔG) pada proses adsorpsi ion Fe (II) dengan adsorben hidroksi lapis ganda Ni-Cr terinterkalasi senyawa polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$	46
Tabel 8. Data isoterm adsorpsi ion Cr (VI) menggunakan model isoterm Langmuir dan Freundlich dengan adsorben hidroksi lapis ganda Ni-Cr dan hasil interkalasi senyawa polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}]$	49
Tabel 9. Data entalpi (ΔH), entropi (ΔS), energi bebas Gibbs (ΔG) pada proses adsorpsi ion Cr (VI) dengan adsorben hidroksi lapis ganda Ni-Cr....	50
Tabel 10. Data entalpi (ΔH), entropi (ΔS), energi bebas Gibbs (ΔG) pada proses adsorpsi ion Cr (VI) dengan adsorben hidroksi lapis ganda Ni-Cr terinterkalasi senyawa polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$	51

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data Digital XRD Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr	60
Lampiran 2. Data Digital XRD Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha-SiW_{12}O_{40}]$	61
Lampiran 3. Data Digital XRD Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr Terinterkalasi Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha-SiW_{12}O_{40}]$	62
Lampiran 4. Data Adsorpsi-Desorpsi Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr.....	63
Lampiran 5. Data Adsorpsi-Desorpsi Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr Terinterkalasi Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha-SiW_{12}O_{40}]$	64
Lampiran 6. Data Digital IR Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr.....	65
Lampiran 7. Data Digital IR Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha-SiW_{12}O_{40}]$	66
Lampiran 8. Data Digital IR Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr Terinterkalasi Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha-SiW_{12}O_{40}]$	67
Lampiran 9. Perhitungan Persentase <i>Yield</i>	68
Lampiran 10. Data pH Point Zero Charge Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr dan Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr Terinterkalasi Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha-SiW_{12}O_{40}]$	70
Lampiran 11. Data Panjang Gelombang Maksimum Kompleks Fe (II).....	71
Lampiran 12. Data Panjang Gelombang Maksimum Kompleks Cr (VI)	72
Lampiran 13. Kurva Kalibrasi Larutan Standar Ion Fe (II)	73
Lampiran 14. Kurva Kalibrasi Larutan Standar Ion Cr (VI).....	74
Lampiran 15. Studi Adsorptivitas Ion Fe (II) dan Cr (VI) Menggunakan Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha-SiW_{12}O_{40}] \cdot nH_2O$	75
Lampiran 16. Data Pengaruh Waktu Adsorpsi Ion Fe (II) dan Cr (VI) dengan Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr dan Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr Terinterkalasi Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha-SiW_{12}O_{40}] \cdot nH_2O$.	76
Lampiran 17. Data dan Contoh Perhitungan Parameter Kinetik Adsorpsi Ion Fe (II) dan Cr (VI) dengan Adsorben Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr dan Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr Terinterkalasi Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha-SiW_{12}O_{40}] \cdot nH_2O$	80

Lampiran 18. Data Pengaruh Konsentrasi dan Temperatur Adsorpsi Ion Fe (II) dan Cr (VI) dengan Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr dan Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr Terinterkalasi Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$	86
Lampiran 19. Data dan Contoh Perhitungan Parameter Isoterm Adsorpsi Ion Fe (II) dan Cr (VI) dengan Adsorben Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr dan Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr Terinterkalasi Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$	90
Lampiran 20. Data dan Contoh Perhitungan Parameter Termodinamika Adsorpsi Ion Fe (II) dan Cr (VI) dengan Adsorben Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr dan Hidroksi Lapis Ganda Ni-Cr Terinterkalasi Senyawa Polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$	96

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Logam berat dianggap sebagai salah satu sumber utama dari polusi tanah. Logam berat menghasilkan dampak buruk dalam ekosistem tanah karena merubah keanekaragaman, jumlah populasi dan seluruh kegiatan komunitas mikroba tanah. Industri logam menghasilkan polusi tanah dalam konsentrasi tinggi yang dapat menyebabkan resiko kesehatan yang besar dan memasuki rantai makanan (Singh *and* Kalamdhad, 2011). Logam berat yg difokuskan pada penelitian ini berupa logam besi dan kromium, sehingga dilakukan upaya untuk meminimalisir kandungan Fe (II) dan Cr (VI) yang terdapat dalam perairan yang melebihi ambang batas.

Logam besi merupakan logam yang dibutuhkan makhluk hidup dalam jumlah secukupnya, apabila diambang batas maka bersifat racun, sehingga mengakibatkan kerusakan usus, penuaan dini sampai kematian mendadak (Supriyantini dan Endrawati, 2015). Ion kromium merupakan agen pengoksidasi dan bersifat karsinogenik, sehingga dapat mengakibatkan kanker pada saluran pencernaan dan saluran pernapasan, rasa sakit berlanjut, mual, diare, muntah, dan pendarahan. Cr (VI) lebih beracun dari Cr (III) (Renu *et al.*, 2017).

Penghilangan logam berat dapat dilakukan dengan berbagai cara diantaranya pengendapan dengan bahan kimia, elektrodialisis, koagulasi atau flokulasi, ultrafiltrasi, *reverse osmosis* dan adsorpsi. Adsorpsi merupakan metode yang efektif untuk menghilangkan kadar ion karena mudah dilakukan, efektif, proses yang cepat, serta tidak membutuhkan biaya yang besar (Lakherwal, 2014). Jenis adsorben yang efektif digunakan untuk menghilangkan logam berat diantaranya grafena, karbon aktif, *carbon nanotubes*, silika mesopori, kitosan, zeolit, dan hidroksi lapis ganda (Renu *et al.*, 2017).

Hidroksi lapis ganda merupakan senyawa ionik yang mengandung lapisan dengan muatan positif dan negatif yang dapat dipertukarkan dalam interlayer (Kano *and* Zhang, 2019). Hidroksi lapis ganda yang dikenal dengan lempung anionik merupakan partikel berukuran nano yang dapat disintesis di

laboratorium melalui metode sederhana dan harga yang ekonomis. Sifat unik yang dimilikinya antara lain luas permukaan yang besar, porositas tinggi, kapasitas pertukaran anion yang tinggi, dan substansial panas yang stabil. Sifat hidroksi lapis ganda tersebut mendukung untuk penggunaannya dalam mengolah air dan air buangan (Sepehr *et al.*, 2017).

Ali *et al.* (2018) telah menguji efisiensi, kestabilan, dan selektivitas dari logam berat dengan menggunakan hidroksi lapis ganda yang terinterkalasi anion MoS_4^{2-} (*tetramolibdate*), penelitian ini menghasilkan hidroksi lapis ganda yang dapat digunakan kembali dan mudah disimpan. He *et al.* (2017) telah mengolah logam berat yang terdapat dalam air buangan menggunakan hidroksi lapis ganda sehingga mengurangi resiko ion beracun. Zhang *et al.* (2016) telah mengadsorpsi Cd^{2+} dengan menggunakan hidroksi lapis ganda Zn-Al terinterkalasi dengan agen pengkhelat EDTA, penelitian ini dapat mengadsorpsi 66,7 %. Kano and Zhang (2019) telah mengaplikasikan adsorpsi logam berat Cu^{2+} dan Pb^{2+} dengan menggunakan hidroksi lapis ganda terinterkalasi dengan agen pengkhelat seperti EDTA dan EDDS, penelitian ini membuktikan bahwa hidroksi lapis ganda efektif dalam mengadsorpsi logam berat. Ayawei *et al.* (2015) telah mempelajari mengenai kesetimbangan, termodinamika dan kinetika dari hidroksi lapis ganda dalam mengadsorpsi Pb^{2+} , efisiensi adsorpsi Pb^{2+} dapat ditingkatkan dengan menambah kuantitas dari hidroksi lapis ganda. Ayawei *et al.* (2015) telah mensintesis dan mengaplikasikan hidroksi lapis ganda untuk menghilangkan Cu^{2+} pada air buangan, penelitian ini menunjukkan bahwa adsorpsi Cu^{2+} sangat tergantung pada waktu kontak. Yanming *et al.* (2017) telah mengaplikasikan penghilangan Pb^{2+} dalam larutan berair dengan menggunakan hidroksi lapis ganda Mg-Al terinterkalasi glutamat yang memiliki kapasitas adsorpsi 68.49 mg/g. Ruan *et al.* (2016) telah mensintesis hidroksi lapis ganda Ni-Cr dimodifikasi dengan RGO (*Reduced Graphene Oxides*) dan material organik untuk mengadsorpsi *Methyl Orange* dalam larutan berair.

Pada penelitian ini dilakukan sintesis material hidroksi lapis ganda Ni-Cr dengan metoda kopresipitasi dan modifikasi hidroksi lapis ganda Ni-Cr dengan interkalasi senyawa polioksometalat tipe Keggin $\text{K}_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}].n\text{H}_2\text{O}$. Anion yang dimiliki material hidroksi lapis ganda dapat dipertukarkan melalui

interkalasi, anion berukuran kecil seperti NO_3^- dipertukarkan dengan anion berukuran besar seperti $[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}]^{4-}$. Jarak antar atom Si-O sebesar 1,63 Å menghasilkan jarak antar lapisan yang semakin besar dikarenakan ukuran anion yang semakin besar. Jarak antar lapisan (lapisan basal) yang semakin besar akan menghasilkan hasil kapasitas adsorpsi yang besar. Hal ini yang mendasari bahwa anion pada *interlayer* mempengaruhi besarnya lapisan basal pada material hidroksi lapis ganda (Weir *and* Kydd, 1998; Malherbe *and* Besse, 2000).

Nikel memiliki jari-jari sebesar 69 pm, sehingga diharapkan hidroksi lapis ganda yang berasal dari nikel memiliki luas permukaan yang besar. Nikel juga memiliki kelebihan dalam kestabilan pada temperatur tinggi (Atkins *et al.*, 2010). Kromium memiliki tingkat oksidasi yang beragam, namun pada sintesis hidroksi lapis ganda yang menggunakan kromium menghasilkan tingkat oksidasi +3 yang stabil. Penggunaan bahan berupa garam nitrat dikarenakan nitrat dan klorida pada sintesis hidroksi lapis ganda merupakan prekursor yang baik (Rives, 2001). Aplikasi hidroksi lapis ganda Ni-Cr sebagai adsorben ion logam dilakukan karena belum banyak dipelajari sebelumnya (Ye *et al.*, 2008).

Rizki (2019) telah mensintesis hidroksi lapis ganda Zn-Fe dan Zn-Fe terinterkalasi senyawa polioksometalat $\text{K}_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}].n\text{H}_2\text{O}$, penelitian tersebut menghasilkan jarak *interlayer* (*d-spacing*) pada hidroksi lapis ganda Zn-Fe sebesar 7,98 Å pada sudut difraksi 11,08° dan pada hasil interkalasi Zn-Fe dengan $\text{K}_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}].n\text{H}_2\text{O}$ sebesar 9,25 Å pada sudut difraksi 9,56°. Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat diasumsikan bahwa hidroksi lapis ganda terinterkalasi senyawa polioksometalat $\text{K}_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}].n\text{H}_2\text{O}$ memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar.

Karakterisasi dilakukan dengan *X-Ray Diffraction* (XRD), adsorpsi-desorpsi BET, spektrofotometer inframerah (FTIR), dan pengukuran pH *Point Zero Charge*. Material hidroksi lapis ganda Ni-Cr dan hasil interkalasi digunakan sebagai adsorben untuk ion Fe (II) dan Cr (VI). Faktor yang dapat mempengaruhi proses adsorpsi dipelajari pada penelitian ini yakni pengaruh waktu adsorpsi, pengaruh konsentrasi ion, dan pengaruh temperatur adsorpsi.

1.2. Rumusan Masalah

Material hidroksi lapis ganda Ni-Cr dan hasil interkalasi digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan ion Fe (II) dan Cr (VI). Adsorpsi merupakan salah satu metode yang efektif untuk menghilangkan kandungan logam berat. Pada proses adsorpsi diperlukan adsorben. Adsorben yang dapat digunakan berupa hidroksi lapis ganda. Hidroksi lapis ganda perlu dimodifikasi untuk meningkatkan jarak antara lapisannya sehingga kemampuannya sebagai adsorben ion dapat meningkat. Modifikasi dilakukan melalui teknik interkalasi menggunakan senyawa yang bermuatan negatif atau anion. Pada penelitian ini disintesis material hidroksi lapis ganda Ni-Cr kemudian material hidroksi lapis ganda Ni-Cr diinterkalasi menggunakan senyawa polioksometalat $K_4[\alpha\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}].n\text{H}_2\text{O}$. Material hidroksi lapis ganda hasil interkalasi dikarakterisasi menggunakan analisis XRD, BET, FTIR, dan pH *Point Zero Charge*.

Faktor yang dapat mempengaruhi proses adsorpsi dipelajari pada penelitian ini yakni pengaruh waktu adsorpsi, pengaruh konsentrasi ion, dan pengaruh temperatur adsorpsi. Variasi waktu digunakan untuk mempelajari kinetika adsorpsi. Variasi konsentrasi dan temperatur digunakan untuk mempelajari termodinamika adsorpsi.

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mensintesis senyawa hidroksi lapis ganda Ni-Cr dan interkalasi hidroksi lapis ganda Ni-Cr dengan senyawa polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}].n\text{H}_2\text{O}$ serta karakterisasi menggunakan XRD, BET, FTIR, dan pH *Point Zero Charge*.
2. Mempelajari adsorpsi ion Fe (II) dan Cr (VI) pada adsorben hidroksi lapis ganda Ni-Cr dan hasil terinterkalasi terhadap pengaruh waktu adsorpsi, pengaruh konsentrasi ion, dan pengaruh temperatur adsorpsi.

1.4. Manfaat Penelitian

Memberikan informasi tentang sintesis hidroksi lapis ganda Ni-Cr dan interkalasi hidroksi lapis ganda Ni-Cr dengan senyawa polioksometalat $K_4[\alpha\text{-SiW}_{12}\text{O}_{40}].n\text{H}_2\text{O}$ yang dapat diaplikasikan sebagai adsorben ion Fe (II) dan Cr (VI) sebagai solusi mengatasi pencemaran logam berat di lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afos, F. T., Suyani, H., & Deswati. (2014). Optimasi Penentuan Fe(III), Co(II) dan Cr(III) secara Simultan dengan Voltammetri Striping Adsorptif (AdSV) Menggunakan Kalkon sebagai Pengompleks. *Jurnal Kimia Unand*, 3(4), 1–9.
- Ali, J., Wang, H., Ifthikar, J., Khan, A., Wang, T., Zhan, K., Chen, Z. (2018). Efficient, Stable and Selective Adsorption of Heavy Metals by Thio-Functionalized Layered Double Hydroxide in Diverse Types of Water. *Chemical Engineering Journal*, 332, 387–397.
- Ali, M. H. M., Al-Saad, K., Popelka, A., & van Tilborg, G. (2016). Application of Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy and Atomic Force Microscopy in Stroke- Affected Brain Tissue. *Swift Journal of Medicine and Medical Sciences*, 2(2), 11–24.
- Ammam, M. (2013). Polyoxometalates: Formation, Structures, Principal Properties, Main Deposition Methods and Application in Sensing. *Journal of Materials Chemistry A*, 1(21), 1–58.
- Atkins, P. W., Overton, T. L., Rourke, J. P., Weller, M. T., & Armstrong, F. A. (2010). *Shriver and Atkins' Inorganic Chemistry Fifth Edition*. Great Britain: Oxford University Press.
- Ayawei N., Abasi C.Y., Wankasi D., & Dikio E. D. (2015). Layered Double Hydroxide Adsorption of Lead: Equilibrium, Thermodynamic and Kinetic Studies. *International Journal of Advanced Research in Chemical Science (IJARCS)*, 2(5), 22–32.
- Ayawei N., Ekubo A. T., Wankasi D., & Dikio E. D. (2015). Synthesis and Application of Layered Double Hydroxide for the removal of Copper in Wastewater. *International Journal of Chemistry*, 7(1), 122.
- Barceloux, D. G. (1999). *Clinical Toxicology* (2nd ed., Vol. 37). California: University of South Florida.
- Brame, J., & Griggs, C. (2016). Surface Area Analysis Using the Brunauer-Emmett-Teller (BET) Method. *Engineer Research and Development Center*, 1–13.
- Behera, S., Subhajit Ghanty, Fahad Ahmad, Saayak Santra, & Sritoma Banerjee. (2012). UV-Visible Spectrophotometric Method Development and Validation of Assay of Paracetamol Tablet Formulation. *Journal of Analytical & Bioanalytical Techniques*, 3(6), 1–6.
- Chatterjee, A. K. (2001). *Analytical Techniques in Concrete Science and Technology: X-Ray Diffraction* (Vol. 8). India: Associated Cement Companies.

- Chen, C., Wang, Q., Lei, P., Song, W., Ma, W., & Zhao, J. (2006). Photodegradation of Dye Pollutants Catalyzed by Porous $K_3PW_{12}O_{40}$ under Visible Irradiation. *Environmental Science & Technology*, 40(12), 3965–3970.
- Dole, M. N., Patel, P. A., Sawant, S. D., & Shedpure, P. S. (2011). Advance Applications of Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 7(2), 159–166.
- Elena, J., & Lucia, M. D. (2012). Application of X Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM) Methods to The Portland Cement Hydration Processes. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 2(1), 35–42.
- Elmoubarki, R., Mahjoubi, F. Z., Elhalil, A., Tounsadi, H., Abdennouri, M., Sadiq, M., Barka, N. (2017). Ni/Fe and Mg/Fe Layered Double Hydroxides and Their Calcined Derivatives: Preparation, Characterization and Application on Textile Dyes Removal. *Journal of Materials Research and Technology*, 6(3), 271–283.
- Franco, D. V., Rodrigues, M. L. K., Bavaresco, J., & Jardim, W. F. (2011). A Screening Method for Detection of Hexavalent Chromium Levels in Soils. *Química Nova*, 34(7), 1255–1259.
- Gawande, S. M., Belwalkar, N. S., & Mane, A. A. (2017). Adsorption and Its Isotherm – Theory. *International Journal of Engineering Research*, 6(6), 312–316.
- Ginsberg, A. P. (1990). *Inorganic Syntheses* (Vol. 27). Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Gumerova, N. I., & Rompel, A. (2018). Synthesis, Structures and Applications of Electron-Rich Polyoxometalates. *Nature Reviews Chemistry*, 2(2), 1–20.
- He, X., Qiu, X., Hu, C., & Liu, Y. (2018). Treatment of Heavy Metal Ions in Wastewater Using Layered Double Hydroxides: A Review. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 39(6), 792–801.
- Herawati, N., Susuki, S., Hayashi, K., Rivai, I. F., & Koyama, H. (2000). Cadmium, Copper, and Zinc Levels in Rice and Soil of Japan, Indonesia, and China by Soil Type. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 64(1), 33–39.
- Ivanova, S. (2014). Hybrid Organic-Inorganic Materials Based on Polyoxometalates and Ionic Liquids and Their Application in Catalysis. *ISRN Chemical Engineering*, 2014, 1–13.
- Kano, N., & Zhang, S. (2019). Adsorption of Heavy Metals on Layered Double Hydroxides (LDHs) Intercalated with Chelating Agents. In S. Edeballi (Ed.), *Advanced Sorption Process Applications* (pp. 1–20). IntechOpen.

- Khondker, A., & Lakhani, S. (2015). X-Ray Diffraction: A Comprehensive Explanation for Multipurpose Research. *International Journal of Interdisciplinary Research and Innovations*, 3(1), 60–64.
- Kusmiyati., Setyawan, R. I., Vitasari, D., & Fuadi, A. M. (2009). Kinetika dan Termodinamika Adsorpsi Vertigo Blue 49 dengan Adsorben Karbon Aktif Arang Batu Bara. *Simposium Nasional RAPI VIII*. 30–37.
- Kusumawardhani, N., Sulistyarti, H., & Atikah. (2015). Penentuan Panjang Gelombang Maksimum dan pH optimum dalam Pembuatan Tes Kit Sianida Berdasarkan Pembentukan Hidrindantin. *Kimia Student Journal*. 1(1), 711–717.
- Lakherwal, D. (2014). Adsorption of Heavy Metals: A Review. *International Journal of Environmental Research and Development*, 4(1), 41–48.
- Li, T., Miras, H., & Song, Y.-F. (2017). Polyoxometalate (POM)-Layered Double Hydroxides (LDH) Composite Materials: Design and Catalytic Applications. *Catalysts*, 7(9), 260.
- Liu, K., Xu, Y., Yao, Z., Miras, H. N., & Song, Y.-F. (2016). Polyoxometalate-Intercalated Layered Double Hydroxides as Efficient and Recyclable Bifunctional Catalysts for Cascade Reactions. *ChemCatChem*, 8(5), 929–937.
- Malherbe, F., & Besse, J.-P. (2000). Investigating the Effects of Guest–Host Interactions on the Properties of Anion-Exchanged Mg–Al Hydrotalcites. *Journal of Solid State Chemistry*, 155(2), 332–341.
- Me, W., Mohadi, R., & Lesbani, A. (2016). Thermal Stability and Acidity of Silica Supported Keggin Type Polyoxometalate $K_4[a-SiW_{12}O_{40}] \cdot nH_2O$. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 1(1), 24–28.
- Misono, M. (2001). Unique Acid Catalysis of Heteropoly Compounds (Heteropolyoxometalates) in The Solid State. *Chemical Communications*, (13), 1141–1152.
- Moller, M., & Pich, A. (2017). *Development of Modified Layered Silicates with Superior Adsorption Properties for Uptake of Pollutants from Air and Water* (Dissertation). University zur Erlangung, Germany.
- Morti, T., Destiarti, L., & Idiawati, N. (2018). Penentuan Kadar Besi (Fe) pada Air Gambut Menggunakan Spektrofotometer Ultra Violet-Visible dengan Perbandingan Pengompleks Fenantrolin Dan Alizarin Red S. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 7(3), 109–117.
- Nalawade, P., Aware, B., Kadam, V. J., & Hirlekar, R. S. (2009). Layered Double Hydroxides: A Review. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 68, 267–272.

- Omwoma, S., Chen, W., Tsunashima, R., & Song, Y.-F. (2014). Recent Advances on Polyoxometalates Intercalated Layered Double Hydroxides: from Synthetic Approaches to Functional Material Applications. *Coordination Chemistry Reviews*, 258–259, 58–71.
- Parida, K. M., & Mohapatra, L. (2012). Carbonate Intercalated Zn/Fe Layered Double Hydroxide: A Novel Photocatalyst for The Enhanced Photo Degradation of Azo Dyes. *Chemical Engineering Journal*, 179, 131–139.
- Radaideh, J. A., Abdulgader, H. A., & Barjenbruch, M. (2017). Evaluation of Absorption Process for Heavy Metals Removal found in Pharmaceutical Wastewater. *Journal of Medical Toxicology and Clinical Forensic Medicine*, 3(2), 1–12.
- Renu, Agarwal, M., & Singh, K. (2017). Heavy Metal Removal from Wastewater Using Various Adsorbents: A Review. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 7(4), 387–419.
- Rives, V. (2001). *Layered Double Hydroxides : Present and Future*. New York: Nova Science Publishers, Inc.
- Rizki, M. F. (2019). *Sintesis Material Hidroksi Lapis Ganda Zn-Fe Terinterkalasi Senyawa Polioksometalat Tipe Keggin Serta Aplikasinya Sebagai Adsorben Malachite Green* (Skripsi). Universitas Sriwijaya, Indralaya.
- Ruan, X., Chen, Y., Chen, H., Qian, G., & Frost, R. L. (2016). Sorption Behavior of Methyl Orange from Aqueous Solution on Organic Matter and Reduced Graphene Oxides Modified Ni–Cr Layered Double Hydroxides. *Chemical Engineering Journal*, 297, 295–303.
- Sartzi, H., Miras, H. N., Vilà-Nadal, L., Long, D.-L., & Cronin, L. (2015). Trapping the δ Isomer of the Polyoxometalate-Based Keggin Cluster with a Tripodal Ligand. *Angewandte Chemie International Edition*, 54(51), 15488–15492.
- Sepehr, M. N., Al-Musawi, T. J., Ghahramani, E., Kazemian, H., & Zarrabi, M. (2017). Adsorption Performance of Magnesium/Aluminum Layered Double Hydroxide Nanoparticles for Metronidazole from Aqueous Solution. *Arabian Journal of Chemistry*, 10(5), 611–623.
- Sharma, R. K., & Agrawal, M. (2005). Biological Effects of Heavy Metals: An Overview. *Journal of Environmental Biology*, 26(2), 301–313.
- Shuang Zhang, Naoki Kano, & Hiroshi Imaizumi. (2016). Adsorption of Cd(II) on Zn-Al LDHs (Layered Double Hydroxides) Intercalated with Chelating Agents EDTA. *Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 10(2), 60–67.
- Sileo, E. E., Jobbágy, M., Paiva-Santos, C. O., & Regazzoni, A. E. (2005). Thermal Decomposition of Crystalline Ni (II)–Cr(III) Layered Double

- Hydroxide: A Structural Study of the Segregation Process. *The Journal of Physical Chemistry B*, 109(20), 10137–10141.
- Singh, J., & Kalamdhad, A. S. (2011). Effects of Heavy Metals on Soil, Plants, Human Health and Aquatic Life. *International Journal of Research in Chemistry and Environment*, 1(2), 15–21.
- Supriyantini, E., & Endrawati, H. (2015). Kandungan Logam Berat Besi (Fe) Pada Air, Sedimen, Dan Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 18(1), 38–45.
- Theiss, F. L., Ayoko, G. A., & Frost, R. L. (2016). Synthesis of Layered Double Hydroxides Containing Mg(II), Zn(II), Ca(II) and Al(III) Layer Cations by Co-Precipitation Methods—A Review. *Applied Surface Science*, 383, 200–213.
- Tran, H. N., Lin, C.-C., & Chao, H.-P. (2018). Amino Acids-Intercalated Mg/Al Layered Double Hydroxides as Dual-Electronic Adsorbent for Effective Removal of Cationic and Oxyanionic Metal Ions. *Separation and Purification Technology*, 192, 36–45.
- Wang, W., Xu, Z., Guo, Z., Jiang, C., & Chu, W. (2015). Layered Double Hydroxide and Related Catalysts for Hydrogen Production and A Biorefinery. *Chinese Journal of Catalysis*, 36(2), 139–147.
- Weir, M. R., & Kydd, R. A. (1998). Synthesis of Heteropolyoxometalate-Pillared Mg/Al, Mg/Ga, and Zn/Al LDH. In *Inorganic Chemistry* (pp. 5619–5624).
- Xu, Z. P., Zhang, J., Adebajo, M. O., Zhang, H., & Zhou, C. (2011). Catalytic Applications of Layered Double Hydroxides and Derivatives. *Applied Clay Science*, 53(2), 139–150.
- Yanming, S., Dongbin, L., Shifeng, L., Lihui, F., Shuai, C., & Haque, M. A. (2017). Removal of Lead from Aqueous Solution on Glutamate Intercalated Layered Double Hydroxide. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S2295–S2301.
- Ye, W., Fang, X., Chen, X., & Yan, D. (2018). Three-dimensional Nickel-Chromium Layered Double Hydroxide Micro/nanosheet Array as an Efficient and Stable Bifunctional Electrocatalyst for Overall Water Splitting. *Nanoscale*, 1(1), 1–8.
- Zhang, S., Kano, N., & Imaizumi, H. (2016). Adsorption of Cd(II) on Zn-Al LDHs (Layered Double Hydroxides) Intercalated with Chelating Agents EDTA. *Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 10(2), 60–67.