

**SINTESIS KOMPOSIT Fe₃O₄/SDS DAN PENERAPANNYA
DALAM MENGADSORPSI ION LOGAM KROMIUM
HEKSAVALEN (VI)**

SKRIPSI

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



IRA NURUL ZOFIRAH

08031282025035

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

2025

HALAMAN PENGESAHAN

**SINTESIS KOMPOSIT Fe₃O₄/SDS DAN PENERAPANNYA DALAM
MENGADSORPSI ION LOGAM KROMIUM HEKSAVALEN (VI)**

SKRIPSI

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

Oleh:

IRA NURUL ZOFIRAH

08031282025035

Indralaya, 24 Januari 2025

Menyetujui

Dosen Pembimbing I



Dr. Widia Purwaningrum, M.Si.

NIP. 197304031999032001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph. D

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi dengan judul “Sintesis Komposit Fe₃O₄/SDS dan Penerapannya dalam Mengadsorpsi Ion Logam Kromium Heksavalen (VI)” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada Tanggal 23 Januari 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 24 Januari 2025

Pembimbing:

1. **Dr. Widia Purwaningrum, M. Si.**
NIP. 197304031999032001

()

Penguji:

2. **Dra. Fatma, M. S.**
NIP. 196207131991022001
3. **Prof. Dr. Hasanudin, M. Si.**
NIP. 197205151997021003

()
()

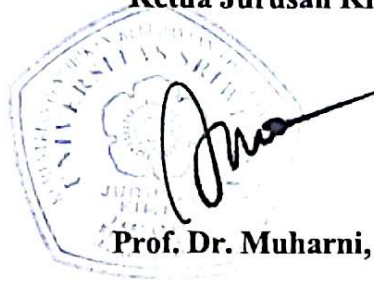
Mengetahui,

Dekan FMIPA



Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph. D
NIP. 197111191997021001

Ketua Jurusan Kimia



Prof. Dr. Muharni, M.Si
NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Ira Nurul Zofirah

NIM : 08031282025035

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 sarjana 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.

Demikian Surat ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 24 Januari 2025

Penulis,



Ira Nurul Zofirah
NIM. 08031282025035

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

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

Nama Mahasiswa : Ira Nurul Zofirah

NIM : 08031282025035

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya "Sintesis Komposit Fe_3O_4/SDS dan Penerapannya dalam Mengadsorpsi Ion Logam Kromium Heksavalen (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.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 24 Januari 2025

Penulis,



Ira Nurul Zofirah

NIM. 08031282025035

HALAMAN PERSEMBAHAN

مَا وَدَّعَكَ رَبُّكَ وَمَا قَلَىٰ

“Tuhanmu tidak meninggalkan engkau dan tidak pula membencimu”

[QS] Ad-Dhuha: 3

فَإِذَا فَرَغْتَ فَانصَبْ ۖ وَإِلَىٰ رَبِّكَ فَارْغَبْ

“Apabila telah selesai dalam suatu kebajikan, teruslah bekerja keras dalam kebajikan lainnya. Dan hanya kepada tuhanmu lah engkau berharap”

[QS] Al-Insyirah: 7-8

“Teruslah berusaha, karena Allah SWT. akan selalu bersamamu jadi percayalah bahwa rencana-Nya jauh lebih baik dan berharaplah hanya kepada-Nya”

Skripsi ini sebagai tanda Syukur kepada Allah SWT. Dan Nabi Muhammad S.A.W. dan kupersembahkan kepada:

1. Mama dan Papa yang selalu mendukung, membantu, dan mendoakan yang terbaik kepadaku.
2. Ayuk Ria, Kakak Ari, dan Adik Raihan yang mendukung, membantu, dan menyemangati.
3. Ibu Dr. Widia Purwaningrum M. Si, sebagai dosen pembimbing yang telah membimbingku.
4. Sahabat/teman-temanku yang telah menyemangati serta mendukungku.
5. Semua pihak yang terlibat dalam pembuatan skripsi.
6. Almamater (Universitas Sriwijaya)
7. Terakhir, untuk diri sendiri yang telah menyelesaikan skripsi ini sampai akhir.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur selalu dipanjatkan kepada Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya, salawat serta salam selalu dipanjatkan kepada Nabi Muhammad S.A.W. sehingga penulis bisa menyelesaikan karya ilmiah skripsi dengan judul “Sintesis Komposit Fe₃O₄/SDS dan Penerapannya dalam Mengadsorpsi Ion Logam Kromium Heksavalen (VI)” yang diharapkan bermanfaat untuk siapapun, baik secara literatur maupun secara aplikasi. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya.

Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada Universitas Sriwijaya sebagai Lembaga Pendidikan yang telah menyediakan sarana dan prasarana sehingga penulis bisa mendapatkan ilmu serta gelar sarjana sains (S. Si). Penulis juga ingin berterima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT. dan Nabi Muhammad S.A.W. karena-Nya lah penulis bisa menyelesaikan skripsi.
2. Mama dan Papa yang selalu dan selalu mendukung penulis baik secara moril maupun materil. Skripsi dan gelar ini penulis persembahkan untuk mama dan papa sebagai bentuk rasa ingin membanggakan mereka. Apapun yang terjadi, mama dan papa selalu tetap mendukung, mendoakan yang terbaik, dan membantu penulis. Kasih sayang yang tidak terhingga dari orang tua selalu menjadi kekuatan bagi penulis sehingga bisa di tahap ini dan seterusnya. Penulis hanya bisa mengucapkan rasa syukur kepada mama dan papa, *love so much*.
3. Saudara-saudaraku (Yuk Ria, Kak Ari, Adik Raihan) yang selalu peduli, membantu, menyakinkan, menghibur serta menyemangati penulis. Peran mereka bukan hanya sebagai saudara, tetapi juga teman dan sahabat bagi penulis. Penulis selalu berharap yang terbaik kepada mereka.
4. Cikya dan sekeluarga yang telah menjadi keluarga keduaku disini, menjaga, membantu mendukung, serta menyanyagi penulis sungguh membuat penulis

sangat menyayangi mereka. Sosok mereka telah menjadi orang tua kedua bagi penulis sehingga penulis ingin menyampaikan rasa syukur kepada cikya dan ayah, serta yuk nuril yang telah menjadi sosok ayuk dan teman penulis. Penulis juga selalu mendoakan yang terbaik bagi mereka.

5. Ibu Dr. Widia Purwaningrum, M. Si, sebagai dosen pembimbing penulis baik Dosen Pembimbing Akademik maupun Dosen Pembimbing Tugas Akhir. Ibu telah membimbing, mengayomi, dan mendukung penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan perkuliahan ini. Penulis berharap yang terbaik buat ibu, semoga selalu diberikan kebahagiaan, kesehatan, kesuksekan kepada ibu.
6. Ibu Dra. Fatma, M. S. dan Bapak Prof. Dr. Hasanudin, M. Si. sebagai dosen pembahas tugas akhir yang telah memberikan saran, masukan dan waktunya sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini. Penulis berharap yang terbaik buat ibu dan bapak.
7. Bapak Prof. Hermansyah, S. Si., M. Si., Ph. D. selaku Dekan Fakultas, Ibu Prof. Muharni, M. Si. selaku Ketua Jurusan, Bapak Dr. Addy Rachmat, M. Si. selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
8. Semua Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah mendidik dan memberikan ilmu selama perkuliahan.
9. Analis Laboratorium (Mba Yanti, Yuk Nur, Yuk Niar, Mba Dessy) yang telah membantu jalannya penelitian penulis.
10. Mba Novi dan Kak Iin selaku admin Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah banyak membantu penulis dalam proses administrasi selama perkuliahan.
11. Sahabat/Teman-teman penulis (terutama Jian, Saber, Rinsyirin, Citra, Indah, Resti, Zaharo, Putri, Ama) yang selalu memberikan dukungan, bantuan, semangat, serta membuat perkuliahan terasa menyenangkan. Senang maupun sedih yang kita lalui bersama sungguh bermakna bagi penulis.

Semoga dan selalu diberikan yang terbaik untuk kita semua dimanapun kapanpun itu ya gaes, looooo y'all.

12. Kucing-kucing penulis (Kishi, Kukkung, Taiga) yang selalu menghibur penulis dengan tingkah lakunya yang lucu dan menggemaskan.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis berharap saran, kritik serta masukan yang sifatnya membangun bagi para pembaca. Penulis mengharapkan skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Indralaya, 24 Januari 2025



Penulis

SUMMARY

SYNTHESIS OF Fe₃O₄/SDS COMPOSITE AND THE APPLICATION IN ADSORBING HEXAVALENT CHROMIUM (VI) METAL IONS

Ira Nurul Zofirah: Supervised by Dr. Widia Purwaningrum, M. Si

Departement of Chemistry, Faculty of Mathematic and Natural Science, Sriwijaya University

xix + 90 pages, 23 pictures, 5 tables, 20 attachments

Hexavalent chromium metal ions possess carcinogenic, toxic, and corrosive properties, and they are highly soluble in water, thus requiring treatment to prevent environmental contamination. Treatment can be performed using the adsorption method. This study utilized Fe₃O₄/SDS composite as an adsorbent to remove hexavalent chromium metal ions with variations in pH, contact time, concentration, and temperature. The Fe₃O₄/SDS (5:1) composite was synthesized using the coprecipitation method and characterized using XRD, BET, SEM-EDX, and VSM. The synthesized Fe₃O₄/SDS (5:1) appeared as black powder. The XRD results of Fe₃O₄/SDS showed diffraction patterns at 2θ angles of 30.218°, 35.495°, 43.220°, 57.040°, and 62.771° with a crystal size of 8.98 nm. The crystal planes (200), (103), (004), (321), and (400) indicated an inverse spinel structure for the composite. Based on the BET results, the surface area of the composite was 79.689 m²/g. The SEM morphology of the composite showed that the surface of Fe₃O₄ particles was coated with small, nearly spherical particles of SDS distributed heterogeneously. The EDX spectrum indicated the presence of iron, oxygen, carbon, and sodium elements. The VSM characterization results showed a hysteresis curve with a saturation magnetization value of 53.18688 emu/g, indicating superparamagnetic properties.

The optimum conditions were obtained at a concentration of 200 mg/L, a contact time of 90 minutes, and a temperature of 60°C. The adsorption capacity was 33.4105 mg/g, with an efficiency percentage of 68.18%. The adsorption kinetics followed the Pseudo-Second-Order model ($R^2 = 0.9999$) with $K_2 = 0.07137$ g/mg·minute and $Q_e = 11.7786$ mg/g. The adsorption isotherm followed the Langmuir model ($R^2 = 0.9732$) with $Q_m = 26.66667$ mg/g and $K_1 = 0.010121$ L/mg. The adsorption process of the Fe₃O₄/SDS composite for hexavalent chromium metal ions was endothermic and non-spontaneous, with $\Delta H^\circ = 5.3760$ kJ/mol and $\Delta S^\circ = 0.0105$ kJ/K·mol.

Keywords : Composite Fe₃O₄/SDS, Chromium Hexavalent (VI), Fe₃O₄, SDS, Adsorption

Citation : 55 (2011-2024)

RINGKASAN

SINTESIS KOMPOSIT Fe₃O₄/SDS DAN PENERAPANNYA DALAM MENGADSORPSI ION LOGAM KROMIUM HEKSVALEN (VI)

Ira Nurul Zofirah: Dibimbing oleh Dr. Widia Purwaningrum, M. Si

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Sriwijaya

xix + 90 halaman, 23 gambar, 5 tabel, 20 lampiran

Ion logam kromium heksavalen memiliki sifat karsinogenik, toksik, dan korosif serta mudah larut dalam air sehingga perlu diolah agar tidak mencemari lingkungan. Pengolahan dapat dilakukan dengan metode adsorpsi. Penelitian ini menggunakan komposit Fe₃O₄/SDS digunakan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi ion logam kromium heksavalen dengan variasi pH, waktu kontak, konsentrasi, dan temperatur. Sintesis Fe₃O₄/SDS (5:1) dilakukan dengan metode kopresipitasi dan dikarakterisasi menggunakan XRD, BET, SEM-EDX, serta VSM. Hasil sintesis Fe₃O₄/SDS (5:1) memiliki bentuk fisik serbuk hitam. Hasil XRD Fe₃O₄/SDS menunjukkan pola difraksi pada sudut 2θ yaitu 30,218°, 35,495°, 43,220°, 57,040°, 62,771° dengan ukuran kristal 8,98 nm. Bidang kristal (200), (103), (004), (321), (400) mengindikasikan bahwa struktur komposit spinel terbalik. Berdasarkan hasil BET, luas permukaan komposit sebesar 79,689 m²/g. SEM Morfologi komposit menunjukkan permukaan partikel Fe₃O₄ dilapisi oleh partikel-partikel berbentuk hampir bulat kecil dari SDS yang tersebar secara heterogen, dan spektrum EDX mengindikasikan adanya unsur besi, oksigen, karbon dan natrium. Hasil karakterisasi VSM menunjukkan kurva histerisis dengan nilai magnetisasi saturasi Fe₃O₄/SDS sebesar 53,18688 emu/g dan bersifat superparamagnetik.

Kondisi optimum ada pada konsentrasi 200 mg/L dalam waktu kontak 90 menit dan temperatur 60°C. Kapasitas adsorpsi didapatkan sebesar 33,4105 mg/g dan persen efisiensi 68,18%. Model kinetika adsorpsi lebih sesuai dengan Pseudo Orde Dua ($R^2=0,9999$) yang memiliki nilai $K_2=0,07137$ g/mg.menit dan $Q_e=11,7786$ mg/g. Isoterm adsorpsi mengikuti model Langmuir ($R^2=0,9732$) dengan nilai $Q_m=26,66667$ mg/g, dan $K_L=0,010121$ L/mg. Proses adsorpsi komposit Fe₃O₄/SDS terhadap ion logam kromium heksavalen (VI) bersifat endotermik dan terjadi secara tidak spontan dengan $\Delta H^\circ= 5,3760$ kJ/mol, $\Delta S^\circ= 0,0105$ kJ/K.mol.

Kata kunci : Komposit Fe₃O₄/SDS, Kromium Heksavalen (VI), Fe₃O₄, SDS, Adsorpsi

Sitasi : 55 (2011-2024)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
SUMMARY	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kromium Heksavalen.....	5
2.2 Adsorpsi	6
2.2.1 Kinetika Adsorpsi	7
2.2.2 Isoterm Adsorpsi	8
2.2.3 Termodinamika Adsorpsi.....	9
2.3 Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4)	10
2.4 Surfaktan <i>Sodium Dodecyl Sulfate</i> (SDS).....	12
2.5 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	14
2.6 <i>Brunauer-Emmett-Teller</i> (BET).....	15
2.7 <i>Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy</i> (SEM-EDX).....	16
2.8 <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM)	18
2.9 <i>pH Point Zero of Charge</i> (pHpzc)	19
2.10 Spektrofotometer UV-Vis	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22

3.1	Waktu dan Tempat	22
3.2	Alat dan Bahan	22
	3.2.1 Alat	22
	3.2.2 Bahan	22
3.3	Prosedur Penelitian	23
	3.3.1 Sintesis Komposit Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1)	23
	3.3.2 Pembuatan Larutan Induk Kromium Heksavalen	23
	3.3.3 Pembuatan Larutan Standar Kromium Heksavalen	23
	3.3.4 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum	23
	3.3.5 Pembuatan Kurva Kalibrasi	24
3.4	Karakterisasi Komposit	24
3.5	Penentuan pH _{pzc} Komposit	24
3.6	Penentuan Kondisi Optimum	25
	3.6.1 Pengaruh Variasi pH	25
	3.6.2 Penentuan Waktu Optimum	25
	3.6.3 Penentuan Konsentrasi Optimum	25
	3.6.4 Penentuan Temperatur Optimum	26
3.7	Analisis Data	26
	3.7.1 Analisis Hasil Karakterisasi Komposit	26
	3.7.2 Perhitungan Konsentrasi Teradsorpsi, Efisiensi (%) dan Daya Serap Adsorpsi	26
	3.7.3 Perhitungan Kinetika Adsorpsi	28
	3.7.4 Perhitungan Isoterm Adsorpsi	29
	3.7.5 Perhitungan Termodinamika Adsorpsi	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		30
4.1	Hasil Sintesis Komposit Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1)	30
4.2	Hasil Karakterisasi Komposit Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1)	30
	4.2.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Komposit Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1)	30
	4.2.2 <i>Brunauer-Emmett-Teller</i> (BET) Komposit Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1)	32
	4.2.3 <i>Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy</i> (SEM-EDX) Komposit Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1)	32
	4.2.4 <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM) Komposit Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1)	35
	4.2.5 pH _{pzc} Komposit Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1)	36

4.3	Hasil Pengaruh pH terhadap Proses Adsorpsi.....	37
4.4	Hasil Waktu Optimum Komposit Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1).....	37
4.5	Kinetika Adsorpsi Komposit Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1).....	38
4.6	Hasil Konsentrasi Optimum Komposit Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1)	40
4.7	Isoterm Adsorpsi Komposit Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1)	41
4.8	Hasil Temperatur Optimum Komposit Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1).	43
4.9	Termodinamika Adsorpsi Komposit Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1)	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		45
5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA		46
LAMPIRAN.....		51

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Perbandingan Sudut 2θ Hasil Sintesis (Fe_3O_4 dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$ (5:1)) dengan JCPDS No. 01-075-1609.	31
Tabel 2. Komposisi Kimia Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$	35
Tabel 3. Model Kinetika Adsorpsi Ion Logam Kromium Heksavalen Menggunakan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$ (5:1).	40
Tabel 4. Isoterm Adsorpsi Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$ (5:1) Terhadap Ion Logam Kromium Heksavalen.	41
Tabel 5. Termodinamika Adsorpsi Ion Logam Kromium Heksavalen Menggunakan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$ (5:1).	44

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 1.	Diagram Spesiasi Cr(VI) terhadap pH (Zhang et al., 2020).	6
Gambar 2.	Struktur Spinel Face-Centered Cubic (FCC) Magnetit (Kouli et al., 2020).	11
Gambar 3.	Proses Adsorpsi ion logam kromium heksavalen menggunakan magnetit (gambar dimodifikasi) (Zhang et al., 2020).	12
Gambar 4.	Struktur Kimia dari SDS (Wolowicz & Staszak, 2020).....	12
Gambar 5.	Pengaruh SDS Terhadap daya serap Ion Logam Kromium Heksavalen Menggunakan Kitosan-SDS (Du et al., 2020).	13
Gambar 6.	Pola Difraktogram Fe ₃ O ₄ dan Fe ₃ O ₄ /SDS (Asnan et al., 2019).	15
Gambar 7.	Luas permukaan Fe ₃ O ₄ dengan modifikasi berbagai penambahan SDS (El-kharrag et al., 2011).....	16
Gambar 8.	Gambar SEM dari (a) Fe ₃ O ₄ /SDS (Mostafapour et al., 2023) dan (b) Fe ₃ O ₄ (Crismeli dkk, 2024).	17
Gambar 9.	Kurva Histerisis Ferromagnetik, Paramagnetik, dan Superparamagnetik (Tebriani, 2019).	18
Gambar 10.	VSM Fe ₃ O ₄ dan Fe ₃ O ₄ /SDS (Asnan et al., 2019).	19
Gambar 11.	Reaksi antara Ion Logam Cr(VI) dengan Difenilkarbazida (Sulistiyowati dan Yanti, 2021).	20
Gambar 12.	Hasil Sintesis (a) Fe ₃ O ₄ dan (b) Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1) Didekatkan ke Magnet Eksternal (Dokumentasi Pribadi). ...	30
Gambar 13.	Perbandingan Difraktogram Hasil Sintesis (Fe ₃ O ₄ dan Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1)) terhadap JCPDS No. 01-075-1609.....	31
Gambar 14.	SEM-EDX Komposit Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1) Pembesaran (a) 10.000 kali (b) 30.000 kali.	33
Gambar 15.	Overlay Unsur C, Fe, O dari Komposit Fe ₃ O ₄ /SDS.	34
Gambar 16.	Kurva Histerisis VSM Fe ₃ O ₄ dan Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1).....	35
Gambar 17.	Grafik pH _{pzc} Komposit Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1).	36

Gambar 18.	Kurva Pengaruh Variasi pH Ion Logam Kromium Heksavalen terhadap Daya serap Fe ₃ O ₄ /SDS.	37
Gambar 19.	Kurva Pengaruh Variasi Waktu Kontak terhadap Daya serap Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1).	38
Gambar 20.	Grafik (a) PFO (Pseudo First Order) dan (b) PSO (Pseudo Second Order) Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1) dalam Mengadsorpsi Ion Logam Kromium Heksavalen.	39
Gambar 21.	Kurva Pengaruh Variasi Konsentrasi Ion Logam Kromium Heksavalen terhadap Daya serap Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1).....	41
Gambar 22.	Grafik Isoterm (a) Langmuir dan (b) Freundlich Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1) dalam Mengadsorpsi Ion Logam Kromium Heksavalen.	42
Gambar 23.	Kurva Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Daya serap Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1).	43

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Perhitungan Perbandingan Massa Pembentukan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$ (5:1)	52
Lampiran 2. Diagram Alir Prosedur Penelitian	53
Lampiran 3. Perhitungan Rendemen $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$ (5:1)	54
Lampiran 4. Hasil Karakterisasi XRD Fe_3O_4 dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$ (5:1).....	55
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi BET $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$ (5:1).....	61
Lampiran 6. Hasil Karakterisasi SEM-EDX $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$ (5:1).....	63
Lampiran 7. Hasil Karakterisasi VSM Fe_3O_4 dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$ (5:1)	66
Lampiran 8. Penentuan pH_{Hpzc} $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$ (5:1).....	67
Lampiran 9. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Ion Logam Kromium Heksavalen.....	68
Lampiran 10. Penentuan Kurva Kalibrasi Ion Logam Kromium Heksavalen untuk Variasi Waktu Kontak dan pH	69
Lampiran 11. Penentuan pH Optimum Adsorpsi Ion Logam Kromium Heksavalen Menggunakan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$ (5:1).....	70
Lampiran 12. Penentuan Waktu Optimum Adsorpsi Ion Logam Kromium Heksavalen Menggunakan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$ (5:1).....	72
Lampiran 13. Data dan Perhitungan Kinetika Adsorpsi Ion Logam Kromium Heksavalen Menggunakan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$ (5:1).....	74
Lampiran 14. Penentuan Kurva Kalibrasi Ion Logam Kromium Heksavalen untuk Variasi Konsentrasi	77
Lampiran 15. Penentuan Konsentrasi Optimum Adsorpsi Ion Logam Kromium Heksavalen Menggunakan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$ (5:1).....	78
Lampiran 16. Data dan Perhitungan Isoterm Adsorpsi Ion Logam Kromium Heksavalen Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$ (5:1).....	80
Lampiran 17. Penentuan Kurva Kalibrasi Ion Logam Kromium Heksavalen untuk Variasi Temperatur.....	83

Lampiran 18. Penentuan Temperatur Optimum Adsorpsi Ion Logam Kromium Heksavalen Menggunakan Komposit Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1).....	84
Lampiran 19. Data dan Perhitungan Termodinamika Adsorpsi Ion Logam Kromium Heksavalen Menggunakan Fe ₃ O ₄ /SDS (5:1).....	86
Lampiran 20. Gambar Penelitian.....	89

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air termasuk salah satu zat terpenting yang diperlukan di bumi. Populasi yang meningkat disertai jumlah industri yang berkembang membuat air bersih semakin berkurang (Yulianti dan Munasir, 2020). Keberadaan ion logam berat dalam perairan juga semakin meningkat yang salah satunya berasal dari limbah industri, padahal ion ini berbahaya bagi kesehatan makhluk hidup. Kromium termasuk dalam salah satu zat logam berat yang mudah larut dalam air membuat air terkontaminasi dan jika dikonsumsi akan membahayakan organisme hidup. Limbah cair industri-industri seperti industri kimia, pewarna, pabrik baja, penyamakan kulit, bahan fotografi, semen, dan cat antikorosif menjadi salah satu sumber kadar kromium yang tinggi di dalamnya (Koutenaeni, 2022).

Ion logam kromium heksavalen (Cr (VI)) termasuk ion toksik. Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat (US-EPA) mengklarifikasi bahwa ion logam kromium heksavalen sebagai polutan toksik dengan kategori karsinogen kelas A untuk manusia karena bersifat iritasi pada kulit dan korosif yang dapat terjadinya kerusakan serius pada kesehatan. Sistem larutan dari ion logam kromium heksavalen memiliki beberapa bentuk ion seperti kromat (CrO_4^{2-}), hidrokromat ($\text{H}_2\text{CrO}_4^{2-}$), dan dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) yang dapat berperan sebagai agen pengoksidasi kuat. Potensi toksisitas kromium menjadikan diperlukannya pengolahan untuk mengurangi ion logam kromium heksavalen (Kumar *et al.*, 2019).

Adsorpsi menjadi salah satu opsi metode dalam pengolahan limbah cair. Proses adsorpsi dapat digunakan dalam mengurangi konsentrasi logam berat berlebih (Yulianti dan Munasir, 2020). Adsorpsi memiliki keuntungan yaitu biaya yang murah, kesederhanaan desain, dan kemudahan dalam operasional (Keyhanian *et al.*, 2016). Magnetit (Fe_3O_4) menjadi salah satu adsorben yang cukup menarik dikarenakan memiliki magnetisasi yang tinggi dan tingkat toksisitas yang rendah (Azcona *et al.*, 2016). Keuntungan lainnya berupa ramah lingkungan, *biocompatible*, dan dapat menghilangkan penggunaan katalis serta unsur-unsur beracun dari limbah cair industri. Fe_3O_4 juga dapat diaplikasikan

sebagai pemisah magnetik dalam mikrobiologi, detoksifikasi cairan biologis, pengantar obat yang ditargetkan dan menghilangkan polutan organik maupun anorganik (Yulianti dan Munasir, 2020).

Fe_3O_4 memiliki kecenderungan dalam membentuk aglomerasi. Aglomerasi terjadi diakibatkan interaksi magnetik antarpartikel dan energi permukaan yang besar. Kekurangan tersebut dapat diatasi dengan memodifikasi Fe_3O_4 menggunakan surfaktan, polimer, dan turunan karbon, yang berfungsi sebagai agen dispersan (Ansari *et al.*, 2020). Kekurangan lainnya yaitu kurang selektif dalam mengadsorpsi zat logam berat yang mengakibatkan spesies lain dapat mengganggu ion logam. Hal ini dapat diatasi dengan memodifikasi Fe_3O_4 menggunakan senyawa pengkhelat atau senyawa organik yang memiliki atom donor seperti oksigen, belerang, nitrogen, dan atau fosfor yang dapat mengikat ion logam tertentu sehingga adsorben akan bersifat lebih selektif (Sobhanardakani *et al.*, 2016)

Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) merupakan surfaktan anionik yang dapat digunakan untuk mencegah aglomerasi pada Fe_3O_4 . Penambahan SDS saat sintesis akan menghasilkan tolakan elektrostatik antara permukaan Fe_3O_4 dan gugus hidrofilik pada SDS sehingga Fe_3O_4 tetap terdispersi. SDS dapat menghasilkan lapisan busa di permukaan larutan sehingga dapat melindungi Fe_3O_4 dari aliran udara dan mencegah terjadinya oksidasi (Ansari *et al.*, 2020). Keunggulan lainnya adalah meningkatkan selektivitas dalam mengadsorpsi ion logam. Gugus sulfat dalam SDS mengandung atom donor oksigen yang membuat proses adsorpsi selektif terhadap ion logam. Selain itu, penambahan SDS dapat mempengaruhi mekanisme adsorpsi karena ion logam dapat terikat secara kimia, tidak hanya secara fisik (Sobhanardakani *et al.*, 2016).

Penerapan magnetit dalam mengadsorpsi ion logam kromium heksavalen telah banyak dilakukan. Zhang *et al.*, (2020) melakukan penelitian adsorpsi ion logam kromium heksavalen menggunakan Fe_3O_4 menghasilkan kapasitas adsorpsi sebesar 8,67 mg/g. Penelitian Li *et al.*, (2023) memodifikasi magnetit dengan SiO_2 sehingga terbentuk komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ menghasilkan kapasitas adsorpsi sebesar 13,609 mg/g. Penelitian Sobhanardakani *et al.*, (2016) menggunakan modifikasi 2,4-dinitrophenylhydrazine (DNPH/SDS/ Fe_3O_4) menghasilkan

kapasitas adsorpsi sebesar 169,5 mg/g. Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan memodifikasi magnetit dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap ion logam kromium heksavalen.

Penelitian El-kharrag *et al.*, (2011) melakukan sintesis Fe₃O₄/SDS dengan berbagai variasi konsentrasi SDS dari 0 sampai 2 g dengan hasil semakin tinggi konsentrasi SDS akan menghasilkan peningkatan luas permukaan Fe₃O₄, dari 139 m²/g sampai 189 m²/g. Pada konsentrasi SDS 0,2 g, luas permukaan Fe₃O₄ meningkat menjadi 141 m²/g, akan tetapi lebih kecil daripada konsentrasi 2 g SDS yang meningkatkan luas permukaan Fe₃O₄ menjadi 189 m²/g. Penggunaan rasio 5:1 lebih dipilih dalam penelitian ini agar komposisi Fe₃O₄ lebih banyak sehingga diharapkan dalam pengaplikasian adsorpsi, kemampuan adsorpsinya lebih baik. Sintesis Fe₃O₄/SDS (5:1) dilakukan dengan metode kopresipitasi. Hasil sintesis komposit dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Brunauer-Emmett-Teller (BET)*, *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDX)*, dan *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*. Kondisi optimum dipelajari dengan melihat pengaruh variasi pH, variasi waktu kontak, variasi konsentrasi, dan variasi temperatur.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah

1. Bagaimana keberhasilan sintesis komposit Fe₃O₄/SDS?
2. Bagaimana kondisi optimum dari komposit Fe₃O₄/SDS dalam mengadsorpsi ion logam kromium heksavalen (VI)?
3. Bagaimana model kinetika, isoterm, dan termodinamika adsorpsi komposit Fe₃O₄/SDS dalam mengadsorpsi ion logam kromium heksavalen (VI)?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mensintesis komposit Fe₃O₄/SDS dengan metode kopresipitasi dan mengkaraktisasinya menggunakan XRD, BET, SEM-EDX, dan VSM.

2. Menentukan kondisi optimum meliputi waktu kontak, konsentrasi, dan temperatur dari komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$ dalam mengadsorpsi ion logam kromium heksavalen (VI).
3. Menentukan model kinetika adsorpsi, isoterm adsorpsi, dan termodinamika adsorpsi dari komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$ dalam mengadsorpsi ion logam kromium heksavalen (VI).

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai proses sintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$ (5:1) dan seberapa efektif komposit dalam mengadsorpsi ion logam kromium heksavalen (VI). Penelitian ini juga memberikan alternatif pengolahan limbah yang mengandung kromium heksavalen (VI) menggunakan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SDS}$ (5:1).

DAFTAR PUSTAKA

- Afandy, M. A., & Sawali, F. D. I. (2024). Adsorpsi Kromium Heksavalen Pada Larutan Aqueous Menggunakan Arang Kayu Teraktivasi Asam: Studi Isotherm Dan Kinetika. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 8(1), 1–14. <https://doi.org/10.32493/jitk.v8i1.35315>
- Ansari, N., Payami, Z., & Fegghi, F. (2020). Synthesis of Iron/Graphene Composites with Controlled Magnetization by Electrochemical Exfoliation/Deposition Using Sodium Dodecyl Sulfate as Surfactant. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 500, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.166398>
- Aregahegn, M. (2021). Determination and Removal of Hexavalent Chromium. *International European Extended Enablement in Science, Engineering & Management*, 9(9), 31–53.
- Asnan, H. H. M., Soh, S. K. C., Nor, W. F. K. W., Anuar, S. T., Osman, U. M., Razali, M. H., Rozaini, M. Z. H., & Shamsuddin, M. (2019). Nanopartikel Fe₃O₄ Surfaktan Terikat Sebagai Sokongan Mangkin: Sintesis dan Ciri Fizikokimia. *Malaysian Journal of Analytical Science*, 23(5), 781–788. <https://doi.org/10.17576/mjas-2019-2305-03>
- Azcona, P., Zysler, R., & Lassalle, V. (2016). Simple and Novel Strategies to Achieve Shape and Size Control of Magnetite Nanoparticles Intended for Biomedical Applications. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 1(1), 1–29. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2016.05.064>
- Botahala, L. (2019). *Perbandingan Efektivitas Daya Adsorpsi Sekam Padi dan Cangkang Kemiri terhadap Logam Besi (Fe) pada Air Sumur Gali*. Yogyakarta: Deepublish.
- Crismeli, Nurhidayah, Restianingsih, T., Anggraini, R. M., & Deswardani, F. D. (2024). Analisa Struktur Kristal dan Morfologi Nanokomposit Fe₃O₄/TiO₂ Berbasis Pasir Besi Sungai Batanghari. *Journal Online of Physics*, 9(2), 12–17.
- Dewi, S. H., & Ridwan. (2012). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Fe₃O₄ Magnetik untuk Adsorpsi Kromium Heksavalen. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 13(2), 136–140.
- Du, X., Kishima, C., Zhang, H., Miyamoto, N., & Kano, N. (2020). Removal of Chromium (VI) by Chitosan Beads Modified with Sodium Dodecyl Sulfate (SDS). *Applied Sciences*, 5(10), 1–23.
- El-kharrag, R., Amin, A., & Greish, Y. E. (2011). Synthesis and Characterization of Mesoporous Sodium Dodecyl Sulfate-Coated Magnetite Nanoparticles. *Journal of Ceramic Science and Technology*, 2(4), 203–210. <https://doi.org/10.4416/JCST2011-00021>
- Ermadiana, Y., Budi, E., & Sugihartono, I. (2017). Pengaruh Variasi Konsentrasi

Sodium Dodecyl Sulfate (C₁₂H₂₅NaSO₄) Terhadap Morfologi Permukaan Pada Pembentukan Lapisan Tipis Komposit Ni-TiAlN Dengan Metode Elektrodeposisi. *Posiding Seminar Nasional Fisika*, 6, 4–7.

Gapsari, F. (2017). *Pengantar Korosi*. Malang: UB Press.

Hadrah, Riyanti, A., & Fitri, S. A. (2018). Analisa Pengaruh Surfaktan Terhadap Reduksi Polutan Hidrokarbon Pada Tanah Tercemar Minyak Bumi. *Jurnal Arsitektur dan Lingkung Bina*, 1(1), 1–4.

Halal, A. H., Asfar, A. M. I. T., Asfar, A. M. I. A., Nurannisa, A., Ramadhani, N. A., & Az-zahra, R. (2024). *Sabun Cuci Piring Ramah Lingkungan Dari Limbah Kulit Pisang Dan Jeruk*. Karya Bakti Makmur (KBM) Indonesia.

Hodoroaba, V. D., Rades, S., Salge, T., Mielke, J., Ortel, E., & Schmidt, R. (2016). Characterisation of Nanoparticles by Means of High-Resolution SEM/EDS in Transmission Mode. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 1–13. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/109/1/012006>

Hu, M., Huang, P., Huang, W., & Wu, F. (2017). Fe₃O₄ Magnetic Nanoparticles Modified with Sodium Dodecyl Sulfate for Removal of Basic Orange 21 and Basic Orange 22 from Complex Food Samples with High-Performance Liquid Chromatographic Analysis. *Food Analytical Methods*, 1(1), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s12161-017-0878-2>

Irwansyah, F. S., Amal, A. I., Diyanthi, E. W., & Hadisantoso, E. P. (2024). How to Read and Determine the Specific Surface Area of Inorganic Materials using the Brunauer-Emmett-Teller (BET) Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 4(1), 61–70.

Jakfar. (2023). *Kajian Pemanfaatan Adsorben Ramah Lingkungan pada Adsorpsi Logam Berat Berbahaya serta Optimasi*. Banda Aceh: Syiah Kuala University Press.

Keyhanian, F., Shariati, S., Faraji, M., & Hesabi, M. (2016). Magnetite Nanoparticles with Surface Modification for Removal of Methyl Violet from Aqueous Solutions. *Arabian Journal of Chemistry*, 9(1), S348–S354. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.04.012>

Kirupakar, B. R., Vishwanath, B. A., Sree, M. P., & Deedayalan. (2016). Vibrating Sample Magnetometer and Its Application In Characterisation Of Magnetic Property Of The Anti Cancer Drug Magnetic Microspheres. *International Journal of Pharmaceutics & Drug Analysis*, 4(5), 227–233.

Kouli, M., Banis, G., Savvidou, M. G., Ferraro, A., & Hristoforou, E. (2020). A Study on Magnetic Removal of Hexavalent Chromium from Aqueous Solutions Using Magnetite/Zeolite-X Composite Particles as Adsorbing Material. *International Journal of Molecular Sciences*, 2(1), 1–19.

Koutenaiei, S. S. (2022). Decoration of Ziziphus Spina-Christi Leaves Derived-Activated Carbon with Fe₃O₄ Nanoparticles and SDS Surfactant for Removal of Cr³⁺ from Polluted Water. *Research Square*, 1–37.

- Kumar, H., Sinha, S. K., Goud, V. V., & Das, S. (2019). Removal of Cr (VI) by Magnetic Iron Oxide Nanoparticles Synthesized from Extracellular Polymeric Substances of Chromium Resistant Acid-Tolerant Bacterium *Lysinibacillus sphaericus* RTA-01. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 1(1), 1–16.
- Laudia, T., Candra, N., & Elvinawati. (2020). Analisis Kemampuan Tanah di Daerah Danau Dendam Kota Bengkulu dalam Menjerap Logam Kromium. *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*, 4(2), 156–162.
- Li, H., Hua, J., Li, R., Zhang, Y., Jin, H., Wang, S., & Chen, G. (2023). Application of Magnetic Nanocomposites in Water Treatment: Core-Shell Fe₃O₄ Material For Efficient Adsorption of Cr(VI). *Water*, 15(1), 1–26.
- Lubis, H. (2022). Perbandingan Karakterisasi Morfologi Fe₃O₄ terhadap Fe₃O₄ Merck melalui Metode Kopresipitasi. *jurnal insitansi politeknik ganessa medan*, 5, 458–463.
- Malia, V., Nisa, A. R., & Hadisantoso, E. P. (2022). Tinjauan Nanokomposit Hidroksiapatit/Fe₃O₄ Sebagai Adsorben Logam Berat pada Air. *Gunung Djati Conference Series*, 7, 8–24.
- Marghaki, N. S., Jonoush, Z. A., & Rezaee, A. (2022). Chromium (VI) Removal Using Microbial Cellulose/Nano-Fe₃O₄@Polypyrrole: Isotherm, Kinetic and Thermodynamic Studies. *Elsevier: Materials Chemistry and Physics*, 278(1), 1–9.
- Megasari, K., Herdiyanti, H., Nurliati, G., Kadarwati, A., Yogyakarta, K. B., Puspipetek, K., Gedung, S., & Selatan, T. (2019). Sintesis Silika Xerogel dari Abu Daun Bambu Sebagai Adsorben Uranium. *Jurnal Forum Nuklir*, 13(1), 27–36.
- Miri, N. S. S., & Narimo. (2022). Review : Kajian Persamaan Isoterm Langmuir dan Freundlich pada Adsorpsi Logam Berat Fe (II) dengan Zeolit dan Karbon Aktif dari Biomassa. *Jurnal Kimia dan Rekayasa*, 2(2), 58–71.
- Mostafapour, F. K., Kyzas, G. Z., Miri, A., Khatibi, A., & Balarak, D. (2023). Survey of Fe₃O₄ Magnetic Nanoparticles Modified with Sodium Dodecyl Sulfate for Removal P-Cresol and Pyrocatechol from Aqueous Solutions. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 13(6), 1–20.
- Muniroh, S., & Rahmayanti, M. (2019). Kinetika Adsorpsi Kromium(VI) yang Terkandung dalam Limbah Batik pada Asam Humat Termodifikasi Magnetit (AH-Fe₃O₄). *Integrated Lab Journal*, 07(02), 42–46.
- Musah, M., Azeh, Y., Mathew, J. T., Umar, M. T., Abdulhamid, Z., & Muhammad, A. I. (2022). Adsorption Kinetics and Isotherm Models: A Review. *Caliphate Journal Of Science & Technolohy*, 1(1), 20–26.
- Neolaka, Y. A. B., Lawa, Y., Naat, J. N., Nubatonis, Y. K., & Pau, A. A. (2019). Studi Termodinamika Adsorpsi Pb (II) Menggunakan Adsorben Magnetik GO-Fe₃O₄ yang disintesis dari Kayu Kusambi (*Schleichera oleosa*). *Jurnal Saintek Lahan Kering*, 2(2), 49–51.

- Padmavathy, K. S., Madhu, G., & Haseena, P. V. (2016). A Study on Effects of pH, Adsorbent Dosage, Time, Initial Concentration and Adsorption Isotherm Study for the Removal of Hexavalent Chromium (Cr(VI)) from Wastewater by Magnetite Nanoparticles. *Procedia Technology*, 24(2016), 585–594. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.127>
- Panda, S. K., Aggarwal, I., Kumar, H., Prasad, L., Kumar, A., Sharma, A., Vo, D. N., Thuan, D. Van, & Mishra, V. (2021). Magnetite Nanoparticles as Sorbents for Dye Removal: a Review. In *Environmental Chemistry Letters*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01173-9>
- Putra, D. L., Setiawan, F., & Wicaksono, D. (2023). Analisis Uji EDX pada Material Komposit Berpenguat Karbon Kevlar dengan Metode Vacuum Infusion dan Vacuum Bagging. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 9(2), 306–313.
- Rahmayanti, M. (2020). Sintesis dan Karakterisasi Magnetit (Fe_3O_4): Studi Komparasi Metode Konvensional dan Metode Sonokimia. *Al Ulum Sains dan Teknologi*, 6(1), 26–31.
- Rahmi. (2018). *Modifikasi Khitosan sebagai Adsorben*. Banda Aceh: Syiah Kuala University Press.
- Ramli, I., & Mustam, M. (2022). *Produksi Arang Karbon dengan Metode Pirolisis Lambat*. Yogyakarta: Penerbit K-Media.
- Sachdeva, A., Rhee, H. W., & Singh, P. K. (2021). *Composite Materials Properties, Characterisation, and Applications*. Boca Raton: CRC Press.
- Sahdiah, H., & Kurniawan, R. (2023). Optimasi Tegangan Akselerasi pada Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX) untuk Pengamatan Morfologi Sampel Biologi. *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*, 6(2), 117–123.
- Sari, F. I. P. (2017). Sintesis, Karakterisasi Nanopartikel Magnetit, Mg/Al NO_3^- Hidrotalsit dan Komposit Magnetit-Hidrotalsit. *Jurnal Kimia VALENSI: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia*, 3(1), 44–49.
- Septiano, A. F., Susilo, & Setyaningsih, N. E. (2021). Analisis Citra Hasil Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX) Komposit Resin Timbal dengan Metode Contrast to Noise Ratio (CNR). *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 44(2), 81–85.
- SNI 6989.71:2009. Cara Uji Krom Heksavalen (Cr-VI) dalam Contoh Uji Secara Spektrofotometri.
- Sobhanardakani, S., Zandipak, R., & Cheraghi, M. (2016). Synthesis of DNP/SDS/ Fe_3O_4 Nanoparticles for Removal of Cr (VI) Ions From Aqueous Solution. *Avicenna Journal Environ Health Eng*, 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.17795/ajehe-7789.Research>
- Sulistiyowati, R. Z., & Yanti, I. (2021). Penentuan Cr (VI) and SO_4^{2-}

- Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis dalam Sampel Air Sungai di Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 6(2), 1–8.
- Tamjidi, S., & Esmaeili, H. (2019). Chemically Modified CaO/Fe₃O₄ Nanocomposite by Sodium Dodecyl Sulfate for Cr(III) Removal from Water. *Chemical Engineering & Technology*, 42(3), 607–616. <https://doi.org/10.1002/ceat.201800488>
- Tani, D. (2023). *Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif*. PT. Nasya Expanding Management.
- Tebriani, S. (2019). Analisis Vibrating Sample Magnetometer (VSM) Pada Hasil Elektrodeposisi Lapisan Tipis Magnetite Menggunakan Arus continue Direct Current. *Natural Science Journal*, 5(1), 722–730.
- Tukan, D. N., Rosmainar, L., Kustomo, K., & Rasidah, R. (2023). A Review: Optimum Conditions for Magnetite Synthesis (Fe₃O₄). *Jurnal Berkala Ilmiah Sains dan Terapan Kimia*, 17(2), 15. <https://doi.org/10.20527/jstk.v17i2.15134>
- Umayah, I., Sulistyaningsih, T., & Kusumastuti, E. (2018). Preparasi Nanopartikel Mg/Al Hidrotalsit-Magnetit secara Kopresipitasi serta Aplikasinya sebagai Adsorben Ion Cr (VI). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2), 140–145.
- Wijaya, Y. J., Soetaredjo, F. E., & Ismadji, S. (2018). Adsorpsi Zat Organik Nitrobenzene dari Larutan dengan Menggunakan Bubuk Daun Intaran. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 7(3), 844–851.
- Wiryanawan, A., Retnowati, R., Burhan, R. Y. P., & Syekhfani. (2018). Method of Analysis for Determination of the Chromium (Cr) Species in Water Samples by Spectrophotometry with Diphenylcarbazine. *Journal of Environmental Engineering & Sustainable Technology*, 05(01), 37–46.
- Wolowicz, A., & Staszak, K. (2020). Study of Surface Properties of Aqueous Solutions of Sodium Dodecyl Sulfate in the Presence of Hydrochloric Acid and Heavy Metal Ions. *Journal of Molecular Liquids*, 1(1), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.112170>
- Yulianti, Z. W., & Munasir. (2020). Nanopartikel Fe₃O₄/SiO₂ Berbasis Bahan Alam Sebagai Material Pengadsorpsi Pewarna dalam Air. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 09(1), 1–4.
- Yusaerah, N., Jumiatiy, H., Dewadi, F. M., Rustiah, W., Rahmawati, Faisal, A. P., Amin, I. I., Muawanah, Hutami, A. T., & Darmayani, S. Helilusiatiningsih, N. (2022). *Konsep Dasar Kimia Analitik*. PT. Global Eksekutif Teknologi.
- Zhang, J., Lin, S., Han, M., Su, Q., Xia, L., & Hui, Z. (2020). Adsorption Properties of Magnetic Magnetite NanoParticle for Coexistent Cr(VI) and Cu(II) in Mixed Solution. *Water*, 12(1), 13.