

**EFISIENSI ADSORPSI *CONGO RED* OLEH HIDROKSI LAPIS
GANDA CdIn MENGGUNAKAN METODE KOPRESIPITASI
DENGAN PENGARUH VARIASI KONSENTRASI, pH, SUHU,
DAN WAKTU ADSORPSI**

SKRIPSI

Oleh

Putri Nurhafizah

NIM : 06101382126057

Program Studi Pendidikan Kimia



FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

**EFISIENSI ADSORPSI *CONGO RED* OLEH HIDROKSI LAPIS
GANDA CdIn MENGGUNAKAN METODE KOPRESIPITASI
DENGAN PENGARUH VARIASI KONSENTRASI, pH, SUHU,
DAN WAKTU ADSORPSI**

SKRIPSI

oleh

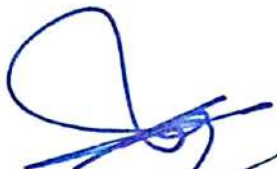
Putri Nurhafizah

NIM: 06101382126057

Program Studi Pendidikan Kimia

Mengesalikan

Pembimbing 1



Prof. Dr. Fakhri Gulo, M.Si
NIP. 196412091991021001

Pembimbing 2



Macfa Eka Haryani, S.Pd., M.Pd
NIP. 198505272008122002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Pendidikan MIPA



Dr. Ketang Wiyono, S.Pd., M.Pd.
NIP. 197905222005011005

Koordinator Program Studi



Dr. Diah Kartika Sari, M.Si.
NIP. 198405202008012010

PRAKATA

Skripsi dengan judul “Efisiensi Adsorpsi *Congo Red* Oleh Hidroksi Lapis Ganda CdIn Menggunakan Metode Kopesipitasi dengan Pengaruh Variasi Konsentrasi, pH, Suhu, dan Waktu Adsorpsi” disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Pendidikan (S.Pd.) pada Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sriwijaya. Dalam mewujudkan skripsi ini, penulis telah mendapatkan bantuan dari berbagai pihak.

Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Fakhili Gulô, M.Si. dan Ibu Maefa Eka Haryani, S.Pd., M.Pd sebagai pembimbing atas segala bimbingan yang telah diberikan dalam penulisan skripsi ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Dr. Hartono, M.A selaku Dekan FKIP Unsri, Dr. Ketang Wiyono, S.Pd., M.Pd. selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA, Dr. Diah Kartika Sari, M. Si. selaku Koordinator Program Studi Pendidikan yang telah memberikan kemudahan dalam pengurusan administrasi selama penulisan skripsi ini.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk pembelajaran bidang studi kimia dan pengembangan ilmu pengetahuan, teknologi, dan seni.

Indralaya, 5 Desember 2024

Yang membuat pernyataan,



Putri Nurhafizah

NIM. 06101382126057

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

nama : Putri Nurhafizah

NIM : 06101382126057

Program Studi : Pendidikan Kimia

menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa skripsi yang berjudul “Efisiensi Adsorpsi Congo Red Oleh Hidroksi Lapis Ganda CdIn Menggunakan Metode Kopresipitasi dengan Pengaruh Variasi Konsentrasi, pH, Suhu, dan Waktu Adsorpsi” ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku sesuai dengan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 17 tahun 2010 tentang Pencegahan dan Penanggulangan Plagiat di Perguruan Tinggi. Apabila di kemudian hari, ada pelanggaran yang ditemukan dalam skripsi ini dan/atau ada pengaduan dari pihak lain terhadap keaslian karya ini, saya bersedia menanggung sanksi yang dijatuhkan kepada saya.

Demikianlah pernyataan ini dibuat dengan sungguh-sungguh tanpa pemaksaan dari pihakmanapun.

Indralaya, 5 Desember 2024

Yang membuat pernyataan,



Putri Nurhafizah

NIM. 06101382126057

PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohim.

Alhamdulillahirobbil'Alamin, puji syukur kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala, Dzat yang maha dalam segalanya. Penulis mengucapkan terima kasih dan mempersembahkan skripsi ini dengan penuh rasa syukur dan bangga kepada.

- Ayah dan Ibu tercinta yang selalu melangitkan doa untuk setiap langkah baik yang kujalani. Kalian yang kusebut setelah bismillah ku, mengiringi aamiin ku, dan setiap alhamdulillah ku yang juga kupersembahkan untuk kalian. Terlibat ayah dan ibu dalam semoga yang selalu kupanjatkan.
- Saudara/i ku yang selalu mendukung selama perkuliahan.
Terkhusus yuk Meli yang selalu menampung keluhan, menemani, dan memberi solusi.
- Ibu Dr. Diah Kartika Sari, M.Si., selaku Koordinator Program Studi Pendidikan Kimia, terimakasih telah mempermudah segala urusan administrasi skripsi ini.
- Bapak Prof. Dr. Fakhili Gulo, M.Si., dan Ibu Maefa Eka Haryani, S.Pd., M.Pd., selaku dosen pembimbing, terima kasih atas ilmu dan waktu yang telah diluangkan untuk bimbingan skripsi.
- Ibu Dr. Diah Kartika Sari, M.Si., selaku dosen penguji, terima kasih atas masukan dan saran sehingga skripsi ini menjadi lebih baik.
- Seluruh dosen Pendidikan Kimia FKIP UNSRI dan staf administrasi, terima kasih telah memberikan banyak ilmu dan pengalaman yang berkesan selama perkuliahan.
- Pembimbing penelitian sekaligus skripsi, kak Wahyu Setiawan, S.T., dan kak Siska Nuri Fadilah, S.T., terima kasih atas bimbingannya.
Terkhusus kak Wahyu Setiawan, S.T., terima kasih atas ilmu, arahan, dan kesabarannya dalam membimbing selama pengerjaan skripsi.
- Teman sepembimbing Chintia, Ingga, Aninda dan Pratama, terima kasih atas dukungan dan telah saling mengingatkan ketika bimbingan.

Terkhusus Chintia, terima kasih atas kerjasamanya sepanjang perjalanan skripsi dari bimbingan di kampus Layo-Plg dan penelitian di lab Pasca-UIN.

- FKIP kiwkiw LKU, Dewi, Dira, Dian, dan Pratama terima kasih telah memberi warna selama penulisan skripsi.
- Pendidikan Kimia 2021, terkhusus Ayu terima kasih telah berjuang bersama selama perkuliahan.
- Jamaah Abbas, Salsaz dan Ayud yang selalu berbagi cerita “ceria”.
- 2017.
- Terima kasih kepada semua pihak yang terlibat selama penulisan skripsi, yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.
- Putri Nurhafizah, terima kasih telah bertanggung jawab menyelesaikan skripsi kimia murni ini.

MOTTO

“...Janganlah engkau bersedih, sesungguhnya Allah bersama kita...”

(Q.S. At-Taubah : 40)

DAFTAR ISI

PERNYATAAN	iii
PRAKATA	iv
PERSEMBAHAN	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II	4
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Congo Red</i>	4
2.2 Hidroksi Lapis Ganda (HLG).....	4
2.3 Logam Kadmium.....	5
2.4 Logam Indium	5
2.5 Metode Kopresipitasi	5
2.6 Mekanisme Adsorpsi	6
2.6.1 Kinetika.....	6
2.6.2 Isoterm	7
2.6.3 Termodinamika	8
2.7 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi	8
2.7.1 Pengaruh pH Awal.....	9

2.7.2	Pengaruh Konsentrasi Awal Adsorbat	9
2.7.3	Ukuran Adsorben	9
2.7.4	Waktu Kontak.....	9
BAB III METODE PENELITIAN		11
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	11
3.2	Variabel Penelitian.....	11
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	11
3.3.1	Alat.....	11
3.3.2	Bahan.....	12
3.4	Diagram Alir Penelitian	12
3.5	Tahap Penelitian	13
3.5.1	Preparasi HLG-CdIn	13
3.5.2	Preparasi Uji Karakterisasi Sampel HLG-CdIn	13
3.5.3	pH _{pzc}	13
3.5.4	Kinetika Adsorpsi.....	13
3.5.5	Isoterm dan Termodinamika.....	14
3.5.6	Regenerasi Adsorben.....	14
BAB IV		16
HASIL DAN PEMBAHASAN		16
4.1	Karakteristik HLG-CdIn.....	16
4.1.1	Analisis <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR).....	16
4.1.2	Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	18
4.1.3	Analisis <i>Brunauer-Emmett-Teller</i> (BET).....	19
4.1.4	Analisis <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX)	20
4.2	pH _{pzc} /Variasi pH	23
4.3	Mekanisme Penyisihan <i>Congo red</i>	24
4.3.1	Kinetika Adsorpsi.....	24
4.3.2	Isoterm Adsorpsi	27
4.3.3	Termodinamika Adsorpsi	29
4.4	Regenerasi HLG-CdIn.....	30

BAB V	32
SIMPULAN DAN SARAN	32
5.1 Simpulan.....	32
5.2 Saran.....	32
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Struktur <i>Congo red</i>	4
Gambar 2 Diagram Alir Penelitian.....	12
Gambar 3 Spektrum FTIR HLG-CdIn Sebelum dan Sesudah.....	17
Gambar 4 XRD	18
Gambar 5 Isoterm Adsorpsi/Desorpsi HLG-CdIn	19
Gambar 6 SEM Perbesaran (i). 1000x, (ii) 3000x, (iii) 5000x, (iv) 7000x.....	21
Gambar 7 (i) dan (ii) Permukaan HLG-CdIn, Kandungan Elemen (iii) Oksigen ; (iv) Indium ; (v) Kadmium.....	22
Gambar 8 pH _{pzc}	23
Gambar 9 Pengaruh Waktu Kontak Adsorpsi	25
Gambar 10 Grafik Isoterm pada Suhu 308 K, 318 K, dan 328 K.....	27
Gambar 11 Regenerasi Adsorben HLG-CdIn	31

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Perbandingan Luas Permukaan, Volume Pori dan Rata-rata Diameter Pori HLG-CdIn dengan Adsorben Lain	20
Tabel 2 Hasil Karakterisasi EDX	22
Tabel 3 Kinetika Model PFO dan PSO adsorben HLG-CdIn	25
Tabel 4 Isoterm Langmuir dan Freundlich adsorben HLG-CdIn.....	28
Tabel 5 Perbandingan Kapasitas Adsorpsi HLG-CdIn dengan Adsorben Lain	29
Tabel 6 Parameter Termodinamika Adsorpsi	29

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Keterangan Pembimbing	44
Lampiran 2. Surat Permohonan Izin Penggunaan Laboratorium.....	46
Lampiran 3. Surat Permohonan Izin Penggunaan Laboratorium.....	47
Lampiran 4. Surat Izin Penggunaan Laboratorium	48
Lampiran 5. Surat Bebas Penelitian	49
Lampiran 6. Perhitungan dan Dokumentasi HLG-CdIn	50
Lampiran 7. Larutan Blanko <i>Congo red</i>	51
Lampiran 8. Perhitungan dan Dokumentasi Uji pH _{pzc}	52
Lampiran 9. Kinetika Adsorpsi	53
Lampiran 10. Perhitungan dan Dokumentasi Isoterm.....	60
Lampiran 11. Perhitungan dan Dokumentasi Termodinamika.....	67
Lampiran 12. Dokumentasi Regenerasi Adsorben HLG-CdIn	69
Lampiran 13. Uji Karakterisasi FTIR	71
Lampiran 14. Uji Karakterisasi XRD	72
Lampiran 15. Uji Karakterisasi BET	74
Lampiran 16. Uji Karakterisasi SEM.....	76
Lampiran 17. Bukti Similarity	78

ABSTRAK

Limbah *congo red* bersifat karsinogenik, dan sulit dihilangkan. Limbah *congo red* dapat dihilangkan melalui proses adsorpsi Hidroksi Lapis Ganda-CdIn (HLG-CdIn) menjadi adsorben pertama kali yang berhasil dipreparasi dengan metode kopresipitasi. Spektrum FTIR menunjukkan -OH yang membuktikan terbentuknya HLG. Ion sulfit, ikatan -NH, dan ikatan C-C yang menunjukkan penyerapan *congo red*. Melalui uji BET menghasilkan luas permukaan 29.618 m²/g. Adsorben memiliki struktur layer berlapis dengan kandungan unsur dominan yaitu kadmium yang dibuktikan dengan uji SEM-EDX. Uji XRD menunjukkan puncak difraksi 15.38° ; 16.26° ; 36.68° adanya senyawa Cd(OH)₂, puncak difraksi 30.42° adanya senyawa InOH₃. pH optimum adsorpsi berada pada pH 8. Penyerapan *congo red* bereaksi endotermik dan spontan pada suhu tinggi. Model uji kinetika yang digunakan yaitu PSO. Adsorpsi terjadi pada permukaan heterogen dengan kapasitas penyerapan maksimum 192,31 mg/g. Regenerasi HLG-CdIn dapat dilakukan sebanyak 4 kali.

Kata Kunci : HLG-CdIn, adsorpsi, *congo red*

Abstract

Congo red waste is carcinogenic, and difficult to remove. Congo red waste can be removed through the adsorption process of Layered Double Hydroxy-CdIn (HLG-CdIn) being the first adsorbent successfully prepared by the coprecipitation method. The FTIR spectrum shows -OH which proves the formation of HLG. Sulfite ions, -NH bond, and C-C bond that show congo red absorption. The BET test yielded a surface area of 29,618 m²/g. The adsorbent has a layered structure with a dominant element content of cadmium as evidenced by SEM-EDX test. XRD test showed diffraction peaks of 15.38°; 16.26°; 36.68° of Cd(OH)₂ compound, diffraction peak of 30.42° of InOH₃ compound. pH optimum adsorption was at pH 8. Sorption of congo red reacted endothermic and spontaneously at high temperatures. The kinetics test model used is PSO. Adsorption occurred on a heterogeneous surface with a maximum sorption capacity of 192.31 mg/g. Regeneration of HLG-CdIn can be done 4 times.

Keywords : HLG-CdIn, adsorption, congo red

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pewarna menjadi salah satu bahan penting dalam industri tekstil. Air limbah industri tekstil mengandung berbagai polutan pewarna yang sangat beracun sehingga menimbulkan ancaman serius bagi flora, fauna, dan manusia (Kishor *et al.*, 2021). Sebagian besar pewarna tekstil terdiri dari struktur aromatik kompleks yang diketahui berbahaya bagi kesehatan manusia. *Congo red* merupakan polutan organik yang dianggap sebagai salah satu limbah industri berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan (Siddiqui *et al.*, 2023). Penghilangan *congo red* dalam air limbah industri penting dilakukan agar terhindar dari efek karsinogenis, mutagenis, dan toksisitas *congo red* (Oladoye *et al.*, 2022).

Metode yang telah digunakan untuk penanganan limbah zat warna diantaranya adalah fotokatalitik (Singh *et al.*, 2020), filtrasi membran (Shahi *et al.*, 2020), biodegradasi (Sonwani *et al.*, 2021), oksidasi kimia, koagulasi (Tianzhi *et al.*, 2021) dan adsorpsi (He *et al.*, 2024). Diantara semua metode penyerapan ini, adsorpsi menjadi metode yang paling sering digunakan karena kepraktisan, tingkat efisiensi yang tinggi, dan selektivitas khusus yang dihasilkan oleh gugus fungsi yang terletak di permukaan material (Raj & Das, 2023). Proses adsorpsi dapat menggunakan berbagai macam bahan penyerap diantaranya abu, mineral, nanomaterial, resin, karbon aktif, dan hidroksi lapis ganda (Al-Afy & Sereshti, 2019). Kontaminan dari limbah perairan dapat dihilangkan dengan adsorben dari bahan berlapis yang biasa dikenal sebagai Hidroksi Lapis Ganda (HLG) atau *Layered Double Hydroxide* (LDH) (Siregar *et al.*, 2022).

HLG merupakan material dengan morfologi dua dimensi, porositas tinggi, dan partikel anionik yang dapat bertukar dengan ruang antarlapisan. HLG dapat digunakan sebagai adsorben polutan dari air limbah karena kapasitas pertukaran anion antarlapisan dapat disesuaikan. Bahan HLG terdiri dari lapisan trivalen (M^{3+}) dan bivalen (M^{2+}) yang mengandung logam kationik kemudian diseimbangkan oleh

anion terhidrasi di ruang antarlapisan (Kameliya *et al.*, 2023). Persiapan material HLG dapat digunakan dengan berbagai metode diantaranya kopresipitasi (Seliverstov *et al.*, 2024), metode sol-gel (Mohammadi *et al.*, 2022), hidrolisis urea (Aladpoosh & Montazer, 2022), dan hidrothermal (X. Zhang *et al.*, 2023). Metode kopresipitasi menjadi yang paling umum digunakan karena prosesnya yang lebih sederhana (Shahparast & Asadpour-Zeynali, 2024), membentuk struktur dengan kristalinitas tinggi, dan sangat mampu direproduksi (Muñoz *et al.*, 2017).

Penelitian yang telah dilakukan oleh Aminu *et al.*, (2020) mengenai penyerapan zat warna *congo red* ke karbon aktif dari biji Jujube (*Ziziphus Mauritania*) menghasilkan kapasitas penyerapan 19,73 (mg/g) sehingga adsorben bahan organik kurang efektif digunakan untuk penyerapan larutan pewarna *congo red*. Oleh karena itu dibutuhkan adsorben yang lebih efektif untuk mengadropsi limbah zat warna *congo red*. Penelitian mengenai adsorpsi *congo red* oleh HLG yang telah dilakukan yaitu MgAl-HLG menghasilkan kapasitas penyerapan maksimum 111.11 mg/g (Lafi *et al.*, 2016), Zn₂Al-HLG menghasilkan kapasitas penyerapan maksimum 74.78 mg/g (Bouteiba *et al.*, 2020), MgAl-CO₃ HLG menghasilkan kapasitas penyerapan maksimum 147.27 mg/g (Jawad *et al.*, 2017), Fe₃O₄/SiO₂/MgAl-borat HLG menghasilkan kapasitas penyerapan maksimum 158.98 mg/g (Miao *et al.*, 2021), dan ZrO₂/MgAl-HLG menghasilkan kapasitas penyerapan maksimum 169,42 mg/g (Brahma & Saikia, 2022).

Logam Indium merupakan logam trivalent dan logam kadmium termasuk logam bivalen yang dapat digunakan sebagai bahan HLG. Sampai saat ini belum pernah dilakukan sintesis HLG-CdIn. Penelitian ini bertujuan untuk mengadsorpsi pewarna anionik *congo red* menggunakan HLG-CdIn dengan metode kopresipitasi.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh konsentrasi terhadap kapasitas adsorpsi *congo red* dengan adsorben HLG-CdIn?
2. Berapa pH optimum penyisihan *congo red* dengan adsorben HLG-CdIn?

3. Bagaimana pengaruh suhu terhadap proses adsorpsi *congo red* dengan adsorben HLG-CdIn?
4. Berapa waktu optimal penyisihan *congo red* dengan adsorben HLG-CdIn?
5. Bagaimana hasil karakterisasi adsorben HLG-CdIn?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, tujuan penelitian dijabarkan sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh konsentrasi terhadap kapasitas adsorpsi *congo red* dengan adsorben HLG-CdIn.
2. Mengetahui pH optimum penyisihan *congo red* dengan adsorben HLG-CdIn.
3. Mengetahui pengaruh suhu terhadap proses adsorpsi *congo red* dengan adsorben HLG-CdIn.
4. Mengetahui waktu optimal penyisihan *congo red* dengan adsorben HLG-CdIn.
5. Mengetahui karakteristik adsorben HLG-CdIn.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi sebagai berikut.

1. Memberi informasi mengenai efisiensi adsorpsi zat warna *congo red* oleh hidroksi lapis ganda CdIn untuk mengurangi pencemaran limbah industri
2. Meningkatkan pengetahuan dan menambah wawasan mengenai HLG-CdIn sebagai adsorben zat warna *congo red*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abazari, R., Sanati, S., Fan, W. K., Tahir, M., Nayak, S., Parida, K., El-Shahat, M., Abdelhameed, R. M., Nesterov, D. S., Kirillov, A. M., & Qian, J. (2025). Design and engineering of MOF/LDH hybrid nanocomposites and LDHs derived from MOF templates for electrochemical energy conversion/storage and environmental remediation: Mechanism and future perspectives. *Coordination Chemistry Reviews*, 523, 216256. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2024.216256>
- Akpasi, S. O., & Isa, Y. M. (2022). Effect of operating variables on CO₂ adsorption capacity of activated carbon, kaolinite, and activated carbon – kaolinite composite adsorbent. *Water-Energy Nexus*, 5, 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.wen.2022.08.001>
- Aladpoosh, R., & Montazer, M. (2022). Functionalization of cellulose fibers alongside growth of 2D LDH platelets through urea hydrolysis inspired Taro wettability. *Carbohydrate Polymers*, 275, 118584. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118584>
- Al-Afy, N., & Sereshti, H. (2019). Rapid removal of boron from environmental water samples using magnetic graphene oxide: optimized by central composite design. *Desalination and Water Treatment*, 153, 65–75. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.23948>
- Alongamo, B. A. A., Ajifack, L. D., Ghogomu, J. N., Nsami, N. J., & Ketcha, J. M. (2021). Activated Carbon from the Peelings of Cassava Tubers (*Manihot esculenta*) for the Removal of Nickel(II) Ions from Aqueous Solution. *Journal of Chemistry*, 2021, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2021/5545110>
- Aminu, I., Gumel, S. M., Ahmad, W. A., & Idris, A. A. (2020). Adsorption Isotherms and Kinetic Studies of Congo-Red Removal from Waste Water Using Activated Carbon Prepared from Jujube Seed. *American Journal of Analytical Chemistry*, 11(01), 47–59. <https://doi.org/10.4236/ajac.2020.111004>
- Ansari, M. O., Kumar, R., Ansari, S. A., Ansari, S. P., Barakat, M. A., Alshahrie, A., & Cho, M. H. (2017). Anion selective pTSA doped polyaniline@graphene oxide-multiwalled carbon nanotube composite for Cr(VI) and Congo red adsorption. *Journal of Colloid and Interface Science*, 496, 407–415. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.02.034>

- Anwar, N. A. F., Meicahayanti, I., & Rahayu, D. E. (2022). Pengaruh Variasi Waktu Kontak dan Massa Adsorben Kulit Jeruk Siam (*Citrus Nobilis*) terhadap Penyisihan Kadmium (Cd) Dan Merkuri (Hg). In *UNMUL* (Vol. 6, Issue 1). <https://doi.org/https://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TL/article/view/7409>
- Baig, M. M., Gul, I. H., Baig, S. M., & Shahzad, F. (2021). The complementary advanced characterization and electrochemical techniques for electrode materials for supercapacitors. *Journal of Energy Storage*, *44*, 103370. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103370>
- Bar, A., Kumar, S., Sarkar, S., Singh, R. S., & Upadhyay, C. (2024). Efficient removal of *Congo red* from aqueous solutions using calcined and uncalcined MgZnFe ternary layered double hydroxide (LDH). *Surfaces and Interfaces*, *55*, 105341. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2024.105341>
- Belcaid, A., Beakou, B. H., El Hassani, K., Bouhsina, S., & Anouar, A. (2021). Efficient removal of Cr (VI) and Co (II) from aqueous solution by activated carbon from *Manihot esculenta* Crantz agricultural bio-waste. *Water Science and Technology*, *83*(3), 556–566. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.585>
- Bouteiba, A., Benhadria, N., Elaziouti, A., Ezziane, K., & Bettahar, N. (2020). Competitive adsorption removal of indigo carmine and *Congo red* dyes from residual effluents by Zn₂Al-LDH prepared by co-precipitation. *Desalination and Water Treatment*, *201*, 404–419. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.26016>
- Brahma, D., Nath, K. P., Patgiri, M., & Saikia, H. (2022). Synthesis of Ternary CaNiAl-Layered Double Hydroxide as Potential Adsorbent for *Congo red* Dye Removal in Aqueous Solution. *Asian Journal of Chemistry*, *34*(12), 3215–3223. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2022.23977>
- Budhiary, K. N. S., & Sumantri, I. (2021). Langmuir and Freundlich isotherm adsorption using activated charcoal from banana peel to reduce total suspended solid (TSS) levels in tofu industry liquid waste. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *1053*(1), 012113. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1053/1/012113>
- Chaibeddra, D., Benamira, M., Colmont, M., Boulehbali, H., Lahmar, H., Avramova, I., & Trari, M. (2023). Synthesis, physical and electrochemical characterization of CoCr₂O₄ and its application as photocatalyst under solar irradiation. *Inorganic Chemistry Communications*, *155*, 111116. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.111116>
- Clavijo, C., & Osmá, J. F. (2019). Functionalized Leather: A Novel and Effective Hazardous Solid Waste Adsorbent for the Removal of the Diazo Dye *Congo*

- red* from Aqueous Solution. *Water*, 11(9), 1906. <https://doi.org/10.3390/w11091906>
- Darussalam, R., Benti Etika, S., Kurniawati, D., & Suryani, O. (2024). Pengaruh Waktu Kontak Adsorpsi Metanil Yellow terhadap Ekstrak Flavonoid dari Kulit Kelengkeng (*Dimocarpus longan*). <https://doi.org/https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/15268/11585>
- Deng, H., Song, Y., Li, W., Fatima, M. N., Bibi, H., & Ye, S. (2024). Performance and economy of antibiotic adsorption by the composite of plant decomposed liquid, chemical modifier, and clay. *Process Safety and Environmental Protection*, 192, 1408–1419. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.11.025>
- Gajendiran, V., Deivasigamani, P., Sivamani, S., & Sivakumar, P. M. (2023). A Review on Cassava Residues as Adsorbents for Removal of Organic and Inorganic Contaminants in Water and Wastewater. *Journal of Chemistry*, 2023, 1–27. <https://doi.org/10.1155/2023/7891518>
- Hamad, K. H., Yasser, A. M., Nabil, R., Tarek, R., Hesham, E., El-telbany, A., Saeed, A., Selim, S. E., & Abdelhamid, A. E. (2024). Nylon fiber waste as a prominent adsorbent for Congo red dye removal. *Scientific Reports*, 14(1), 1088. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-51105-0>
- He, J., Zhu, L., Guo, S., & Yang, B. (2024). An effective strategy for coal-series kaolin utilization: Preparation of magnetic adsorbent for Congo red adsorption. *Chemical Engineering Science*, 120958. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2024.120958>
- Hu, G., Yang, J., Duan, X., Farnood, R., Yang, C., Yang, J., Liu, W., & Liu, Q. (2021). Recent developments and challenges in zeolite-based composite photocatalysts for environmental applications. *Chemical Engineering Journal*, 417, 129209. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.129209>
- Jawad, A., Liao, Z., Zhou, Z., Khan, A., Wang, T., Ifthikar, J., Shahzad, A., Chen, Z., & Chen, Z. (2017). Fe-MoS₄: An Effective and Stable LDH-Based Adsorbent for Selective Removal of Heavy Metals. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 9(34), 28451–28463. <https://doi.org/10.1021/acsami.7b07208>
- Johnston, A.-L., Lester, E., Williams, O., & Gomes, R. L. (2021). Understanding Layered Double Hydroxide properties as sorbent materials for removing organic pollutants from environmental waters. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105197. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105197>

- Kameliya, J., Verma, A., Dutta, P., Arora, C., Vyas, S., & Varma, R. S. (2023). Layered Double Hydroxide Materials: A Review on Their Preparation, Characterization, and Applications. *Inorganics*, *11*(3), 121. <https://doi.org/10.3390/inorganics11030121>
- Kishor, R., Purchase, D., Saratale, G. D., Ferreira, L. F. R., Bilal, M., Iqbal, H. M. N., & Bharagava, R. N. (2021). Environment friendly degradation and detoxification of *Congo red* dye and textile industry wastewater by a newly isolated *Bacillus cohnii* (RKS9). *Environmental Technology & Innovation*, *22*, 101425. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101425>
- Kong, X., Zhang, N., Lian, Y., & Tang, Q. (2021). Removal of *Congo red* using the chlorinated Ca-Al layered double hydroxide produced from the desulfurization circulating wastewater. *Desalination and Water Treatment*, *238*, 294–305. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27770>
- Lafi, R., Charradi, K., Djebbi, M. A., Ben Haj Amara, A., & Hafiane, A. (2016). Adsorption study of *Congo red* dye from aqueous solution to Mg–Al–layered double hydroxide. *Advanced Powder Technology*, *27*(1), 232–237. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2015.12.004>
- Li, Y.-J., Chou, S.-L., & Xiao, Y. (2024). Detecting dynamic structural evolution based on in-situ high-energy X-ray diffraction technology for sodium layered oxide cathodes. *Chinese Chemical Letters*, 110389. <https://doi.org/10.1016/j.ccllet.2024.110389>
- Liu, J., Wang, N., Zhang, H., & Baeyens, J. (2019). Adsorption of *Congo red* dye on $\text{Fe}_x\text{Co}_3\text{-xO}_4$ nanoparticles. *Journal of Environmental Management*, *238*, 473–483. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.009>
- Lubis, H. (2022). Perbandingan Karakterisasi Morfologi Fe_3O_4 terhadap Fe_3O_4 Merck melalui Metode Kopresipitasi. *Jurnal Insitusi Politeknik Ganesha Medan*, *5* (2), 485–463. <https://jurnal.polgan.ac.id/index.php/juripol/article/download/11775/1112>
- Mahato, S. K., Acharya, C., Wellington, K. W., Bhattacharjee, P., & Jaisankar, P. (2020). InCl_3 : A Versatile Catalyst for Synthesizing a Broad Spectrum of Heterocycles. *ACS Omega*, *5*(6), 2503–2519. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03686>
- Masoudiasl, A., Montazerozohori, M., Joohari, S., Taghizadeh, L., Mahmoudi, G., & Assoud, A. (2019). Structural investigation of a new cadmium coordination compound prepared by sonochemical process: Crystal structure, Hirshfeld

- surface, thermal, TD-DFT and NBO analyses. *Ultrasonics Sonochemistry*, 52, 244–256. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.11.024>
- Miao, J., Zhao, X., Zhang, Y.-X., & Liu, Z.-H. (2021). Feasible synthesis of hierarchical porous MgAl-borate LDHs functionalized Fe₃O₄@SiO₂ magnetic microspheres with excellent adsorption performance toward *congo red* and Cr(VI) pollutants. *Journal of Alloys and Compounds*, 861, 157974. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.157974>
- Mo, W., Wei, C., He, C., Yang, Y., Islahah, M. N. L., Su, X., Yang, J., Huang, Y., Feng, J., & Ma, S. (2024). Fe₃O₄@Mg/Al/Fe-LDH adsorption properties of As(V) and As(III) co-existing in water. *Journal of Water Process Engineering*, 68, 106444. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.106444>
- Mohammadi, I., Shahrabi, T., Mahdavian, M., & Izadi, M. (2022). A novel corrosion inhibitive system comprising Zn-Al LDH and hybrid sol-gel silane nanocomposite coating for AA2024-T3. *Journal of Alloys and Compounds*, 909, 164755. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.164755>
- Muñoz, M., Moreno, S., & Molina, R. (2017). Oxidative steam reforming of ethanol (OSRE) over stable NiCo–MgAl catalysts by microwave or sonication assisted coprecipitation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(17), 12284–12294. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.03.090>
- Murthihapsari, M., Mangallo, B., & Handyani, D. D. (2017). MODEL ISOTERM FREUNDLICH DAN LANGMUIR OLEH ADSORBEN ARANG AKTIF BAMBU ANDONG (*G. verticillata* (Wild) Munro) DAN BAMBU ATER (*G. atter* (Hassk) Kurz ex Munro). *Jurnal Sains Natural*, 2(1), 17. <https://doi.org/10.31938/jsn.v2i1.31>
- Mustapha, S., Shuaib, D. T., Ndamitso, M. M., Etsuyankpa, M. B., Sumaila, A., Mohammed, U. M., & Nasirudeen, M. B. (2019a). Adsorption isotherm, kinetic and thermodynamic studies for the removal of Pb(II), Cd(II), Zn(II) and Cu(II) ions from aqueous solutions using *Albizia lebbek* pods. *Applied Water Science*, 9(6), 142. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1021-x>
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), 97. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>
- Ni'mah, Y. L., Subandi, A. P. K., & Suprpto, S. (2022). The application of silica gel synthesized from chemical bottle waste for zinc (II) adsorption using Response Surface Methodology (RSM). *Heliyon*, 8(12), e11997. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11997>

- Oladoye, P. O., Bamigboye, M. O., Ogunbiyi, O. D., & Akano, M. T. (2022). Toxicity and decontamination strategies of *Congo red* dye. *Groundwater for Sustainable Development*, *19*, 100844. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100844>
- Patel, H. (2021). Review on solvent desorption study from exhausted adsorbent. *Journal of Saudi Chemical Society*, *25*(8), 101302. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2021.101302>
- Raj, K., & Das, A. P. (2023). Lead pollution: Impact on environment and human health and approach for a sustainable solution. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, *5*, 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.02.001>
- Raji, Z., Karim, A., Karam, A., & Khalloufi, S. (2023). Adsorption of Heavy Metals: Mechanisms, Kinetics, and Applications of Various Adsorbents in Wastewater Remediation—A Review. *Waste*, *1*(3), 775–805. <https://doi.org/10.3390/waste1030046>
- Revellame, E. D., Fortela, D. L., Sharp, W., Hernandez, R., & Zappi, M. E. (2020). Adsorption kinetic modeling using pseudo-first order and pseudo-second order rate laws: A review. *Cleaner Engineering and Technology*, *1*, 100032. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2020.100032>
- Sahu, M., Ganguly, M., Sharma, P., Doi, A., & Negishi, Y. (2024). Simultaneous ionic cobalt sensing and toxic *Congo red* dye removal: a circular economic approach involving silver-enhanced fluorescence. *Nanoscale Advances*, *6*(24), 6173–6183. <https://doi.org/10.1039/D4NA00588K>
- Sakthivel, M., Sivakumar, M., Chen, S., Hou, Y., Veeramani, V., Madhu, R., & Miyamoto, N. (2017). A Facile Synthesis of Cd(OH)₂-rGO Nanocomposites for the Practical Electrochemical Detection of Acetaminophen. *Electroanalysis*, *29*(1), 280–286. <https://doi.org/10.1002/elan.201600351>
- Santos, E. T., Power, N. P., Krishnamurthy, S., Bertuol, D. A., & Tanabe, E. H. (2024). Application of layered Nickel/Indium double hydroxide in the highly efficient removal of crystal violet dye from textile effluent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *12*(5), 113952. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.113952>
- Seliverstov, E. S., Pisarenko, A. S., Yapryntsev, M. N., & Lebedeva, O. E. (2024). Optimal synthetic route for obtaining Co/In layered double hydroxide. *Ceramics International*, *50*(24), 56019–56024. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.11.024>

- Shahi, A., Rai, B. N., & Singh, R. S. (2020). Biodegradation of Reactive Orange 16 Dye in Microbial Fuel Cell: An Innovative Way to Minimize Waste Along with Electricity Production. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 192(1), 196–210. <https://doi.org/10.1007/s12010-020-03306-w>
- Shahparast, S., & Asadpour-Zeynali, K. (2024). Development of an efficient electrochemical sensor based on CuAl-LDH using an electrostatic repulsion approach for the selective determination of dopamine in the presence of uric acid and ascorbic acid species. *Electrochemistry Communications*, 165, 107756. <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2024.107756>
- Siddiqui, S. I., Allehyani, E. S., Al-Harbi, S. A., Hasan, Z., Abomuti, M. A., Rajor, H. K., & Oh, S. (2023). Investigation of Congo red Toxicity towards Different Living Organisms: A Review. *Processes*, 11(3), 807. <https://doi.org/10.3390/pr11030807>
- Silvia, L., & Zainuri, M. (2020). Analisis Silika (SiO₂) Hasil Kopresipitasi Berbasis Bahan Alam menggunakan Uji XRF dan XRD. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 16(1), 12. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v16i1.5322>
- Singh, J., Kumar, S., Rishikesh, Manna, A. K., & Soni, R. K. (2020). Fabrication of ZnO–TiO₂ nanohybrids for rapid sunlight driven photodegradation of textile dyes and antibiotic residue molecules. *Optical Materials*, 107, 110138. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2020.110138>
- Siregar, P. M. S. B. N., Wijaya, A., Amri, A., Nduru, J. P., Hidayati, N., Lesbani, A., & Mohadi, R. (2022). Layered Double Hydroxide/C (C=Humic Acid;Hydrochar) As Adsorbents of Cr(VI). *Science and Technology Indonesia*, 7(1), 41–48. <https://doi.org/10.26554/sti.2022.7.1.41-48>
- Song, L., Liu, F., Zhu, C., & Li, A. (2019). Facile one-step fabrication of carboxymethyl cellulose based hydrogel for highly efficient removal of Cr(VI) under mild acidic condition. *Chemical Engineering Journal*, 369, 641–651. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.03.126>
- Sonker, R. K., Hitkari, G., Sabhajeet, S. R., Sikarwar, S., Rahul, & Singh, S. (2020). Green synthesis of TiO₂ nanosheet by chemical method for the removal of Rhodamin B from industrial waste. *Materials Science and Engineering: B*, 258, 114577. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2020.114577>
- Sonwani, R. K., Swain, G., Jaiswal, R. P., Singh, R. S., & Rai, B. N. (2021). Moving bed biofilm reactor with immobilized low-density polyethylene–polypropylene for Congo red dye removal. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101558. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101558>

- Sriatun, Taslimah, & Suhartana. (2012). *BUKU AJAR KIMIA UNSUR*. UPT UNDIP Press Semarang. https://doc-pak.undip.ac.id/3222/1/Buku_Ajar_KIMIA_UNSUR.pdf
- Sun, W., Liu, C., Liu, S., Zhang, J., Chen, H., & Qiu, Z. (2025). Effective adsorption of *Congo red* by an innovative biochar/LDH-derived MIL-100(Al): Investigation of coexisting pollutants and mechanism revelation. *Separation and Purification Technology*, 359, 130670. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.130670>
- Sylvia, N., Wijaya, Y. A., Masrullita, & Safriwardy, F. (2021). Efektivitas Karbon Aktif Kulit Singkong (Manihot Esculenta Crantz) terhadap Adsorpsi Ion Logam Fe²⁺ dengan Aktivator NaOH. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 10(Efektivitas Karbon Aktif Kulit Singkong (Manihot Esculenta Crantz) terhadap Adsorpsi Ion Logam Fe²⁺ dengan Aktivator NaOH), 88. <https://ojs.unimal.ac.id/jtk/index>
- Tang, Y., Zhang, X., Li, X., Bai, J., Yang, C., Zhang, Y., Xu, Z., Jin, X., & Jiang, Y. (2023). Facile synthesis of magnetic ZnAl layered double hydroxides and efficient adsorption of malachite green and *Congo red*. *Separation and Purification Technology*, 322, 124305. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.124305>
- Thompson, C. M., & Chao, C.-K. (2020). VGLUT substrates and inhibitors: A computational viewpoint. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, 1862(12), 183175. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2020.183175>
- Tianzhi, W., Weijie, W., Hongying, H., & Khu, S.-T. (2021). Effect of coagulation on bio-treatment of textile wastewater: Quantitative evaluation and application. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127798. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127798>
- Velázquez-Herrera, F. D., Zarazua-Aguilar, Y., Garzón-Pérez, A. S., Álvarez-Gómez, K. M., & Fetter, G. (2024). Composites formed by layered double hydroxides with inorganic compounds: An overview of the synthesis methods and characteristics. *MethodsX*, 13, 102912. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102912>
- Wang, X., Cheng, B., Zhang, L., Yu, J., & Li, Y. (2022). Synthesis of MgNiCo LDH hollow structure derived from ZIF-67 as superb adsorbent for *Congo red*. *Journal of Colloid and Interface Science*, 612, 598–607. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.12.176>

- Wellings, J. J., Thorpe, J. M., Yendole, K., Matsubayashi, Y., & Hartley, P. S. (2024). Effect of short and long-term cadmium exposure on behaviour and cardiac function in *Drosophila*. *Environmental Pollution*, 125481. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125481>
- Wu, J., Yang, J., Huang, G., Xu, C., & Lin, B. (2020). Hydrothermal carbonization synthesis of cassava slag biochar with excellent adsorption performance for Rhodamine B. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119717. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119717>
- Zhang, J., Yu, J., Wei, X., Zhou, K., Niu, W., Wei, Y., Zhao, C., Chen, G., Jin, F., & Song, K. (2024). A soft scanning electron microscopy for efficient segmentation of alloy microstructures based on a new self-supervised pre-training deep learning network. *Materials Characterization*, 114532. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2024.114532>
- Zhang, X., Zhang, X., An, C., & Wang, S. (2023). Electrochemistry-enhanced peroxymonosulfate activation by CoAl-LDH@biochar for simultaneous treatment of heavy metals and PAHs. *Separation and Purification Technology*, 311, 123341. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.123341>
- Zhang, Y., Zhu, Y., Zeng, Z., Zeng, G., Xiao, R., Wang, Y., Hu, Y., Tang, L., & Feng, C. (2021). Sensors for the environmental pollutant detection: Are we already there? *Coordination Chemistry Reviews*, 431, 213681. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2020.213681>
- Zubair, Y. O., Fuchida, S., Oyama, K., & Tokoro, C. (2025). Morphologically controlled synthesis of MgFe-LDH using MgO and succinic acid for enhanced arsenic adsorption: Kinetics, equilibrium, and mechanism studies. *Journal of Environmental Sciences*, 148, 637–649. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2024.01.049>