

**KARAKTERISASI SENYAWA ASAM 2-(4-OKSO-5-((2-OKSO-
2H-KROMEN-6-IL)METILEN)-2-TIOKSOTIAZOLIDIN-3-
IL)ASETAT TERENKAPSULASI DALAM ZEOLITIC
IMIDAZOLATE FRAMEWORK-67**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana



Oleh:

**NUR AINI TSURAYA
NIM/TM. 22036035/2022**

**PROGRAM STUDI KIMIA
DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2026**

PERSETUJUAN SKRIPSI

KARAKTERISASI SENYAWA ASAM 2-(4-OKSO-5-((2-OKSO-2H-KROMEN-6-IL)METILEN)-2-TIOKSOTIAZOLIDIN-3-IL)ASETAT TERENKAPSULASI DALAM ZEOLITIC IMIDAZOLATE FRAMEWORK-67

Nama : Nur Aini Tsuraya
NIM : 22036035
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Mei 2026

Mengetahui :
Kepala Departemen Kimia



Budhi Oktavia, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 19721024 199803 1 001

Disetujui Oleh :
Dosen Pembimbing



Okta Suryani, S.Pd., M.Sc., Ph.D
NIP. 19891018 202012 2 010

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Nur Aini Tsuraya
NIM : 22036035
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**KARAKTERISASI SENYAWA ASAM 2-(4-OKSO-5-((2-OKSO-2H-KROMEN-6-IL)METILEN)-2-TIOKSOTIAZOLIDIN-3-IL)ASETAT
TERENKAPSULASI DALAM ZEOLITIC IMIDAZOLATE FRAMEWORK-67**

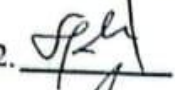
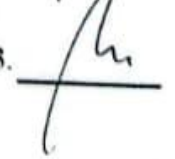
Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan di Depan Tim Penguji Skripsi

Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Padang

Padang, Mei 2026

Tim Penguji

No	Jabatan	Nama	Tanda Tangan
1	Ketua	Okta Suryani, S.Pd., M.Sc., Ph.D	1. 
2	Anggota	Dra. Sri Benti Etika, M.Si	2. 
3	Anggota	Prof. Dr. Minda Azhar, M.Si	3. 

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Aini Tsuraya
NIM : 22036035
Tempat/Tanggal Lahir : B. Lampung/ 19 Agustus 2004
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : Karakterisasi Senyawa Asam 2-(4-Okso-5-((2-Okso-2h-Kromen-6-Il)Metilen)-2-Tioksotiazolidin-3-Il)Asetat Terenkapsulasi Dalam Zeolitic Imidazolate Framework-67

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil karya saya dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya Tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak kecuali tim pembimbing.
3. Pada karya tulis/skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada kepustakaan.
4. Karya tulis/skripsi ini sah apabila telah ditandatangani Asli oleh tim pembimbing dan tim penguji.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Padang, Mei 2026

Yang menyatakan



Nur Aini Tsuraya
NIM.22036035

**Karakterisasi Senyawa Asam 2-(4-Okso-5-((2-Okso-2h-Kromen-6-
3-Il)Metilen)-2-Tioksotiazolidin-3-Il)Asetat Terenkapsulasi Dalam Zeolitic Imidazolate
Framework-67**

Nur Aini Tsuraya

ABSTRAK

Senyawa Asam 2-(4-Okso-5-((2-Okso-2h-Kromen-6-Il)Metilen)-2-Tioksotiazolidin-3-Il)Asetat (KR) memiliki potensi sebagai fotosensitizer, namun terbatas oleh stabilitas rendah dan fenomena *aggregation-caused quenching* (ACQ). Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi ZIF-67, mengenkapsulasi KR ke dalam ZIF-67, serta mengkaji karakteristik material KR@ZIF-67 menggunakan FTIR, XRD, dan UV-Vis DRS. ZIF-67 berhasil disintesis dengan rendemen sebesar 38,7%, sedangkan material KR@ZIF-67 disintesis melalui metode *in situ encapsulation* dengan rendemen sebesar 20,63% dan efisiensi enkapsulasi sebesar 2,53%. Karakterisasi FTIR menunjukkan terbentuknya ikatan Co–N serta keberadaan gugus C=O yang berasal dari KR. Analisis XRD mengonfirmasi bahwa struktur kristal ZIF-67 tetap terjaga setelah proses enkapsulasi. Sementara itu, hasil UV-Vis DRS menunjukkan peningkatan intensitas serapan pada sekitar 387 nm yang merupakan karakteristik serapan KR. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa KR berhasil terenkapsulasi ke dalam ZIF-67 tanpa mengubah struktur kristal material tersebut.

Kata kunci: Kumarin, Enkapsulasi, ZIF-67

Karakterisasi Senyawa 2-(4-oxo-5-((2-oxo-2H-chromen-6-yl)methylene)-2-thioxothiazolidine-3-yl)acetic acid Terenkapsulasi Dalam *Zeolitic Imidazolate Framework-67*

Nur Aini Tsuraya

ABSTRACT

The compound 2-(4-oxo-5-((2-oxo-2H-chromen-6-yl)methylene)-2-thioxothiazolidin-3-yl)acetic acid (KR) has potential as a photosensitizer; however, its application is limited by low stability and aggregation-caused quenching (ACQ) phenomena. This study aims to synthesize and characterize ZIF-67, encapsulate KR into ZIF-67, and investigate the characteristics of the KR@ZIF-67 material using FTIR, XRD, and UV–Vis DRS analyses. ZIF-67 was successfully synthesized with a yield of 38.7%, while KR@ZIF-67 was prepared via an in situ encapsulation method with a yield of 20.63% and an encapsulation efficiency of 2.53%. FTIR characterization indicated the formation of Co–N bonds as well as the presence of C=O functional groups derived from KR. XRD analysis confirmed that the crystalline structure of ZIF-67 remained intact after the encapsulation process. Meanwhile, UV–Vis DRS results showed an increase in absorption intensity around 387 nm, which corresponds to the characteristic absorption of KR. These findings indicate that KR was successfully encapsulated into ZIF-67 without altering the crystal structure of the material.

Keywords: Coumarin, Encapsulation, ZIF-67

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, nikmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan hasil penelitian yang berjudul “**Karakterisasi Senyawa Asam 2-(4-Okso-5-((2-Okso-2h-Kromen-6-Il)Metilen)-2Tioksotiazolidin-3-Il)Asetat Terenkapsulasi Dalam Zeolitic Imidazolate Framework-67**”. Skripsi ini disusun sebagai bagian dari persyaratan untuk memperoleh nilai Tugas akhir 2.

Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, petunjuk, arahan, dan masukan yang berarti dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Ibu Okta Suryani, S.Pd., M.Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing sekaligus penasehat akademik yang telah memberikan bimbingan dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
2. Ibu Dra. Sri Benti Etika, M.Si selaku dosen penguji 1
3. Ibu Prof. Dr. Minda Azhar, M.Si selaku dosen penguji 2
4. Bapak Budhi Oktavia, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Koordinator Program Studi Kimia sekaligus Kepala Departemen Kimia.
5. Semua pihak yang telah memberikan kontribusi dan dukungan kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

Skripsi ini telah berpedoman kepada panduan penulisan Skripsi Non Kependidikan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang. Namun, untuk kesempurnaan Skripsi ini, diharapkan masukan,

kritikan, dan saran yang membangun dari semua pihak. Besar harapan Skripsi ini dapat dilanjutkan ke tahap penelitian selanjutnya.

Padang, Mei 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah	4
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Fotosensitizer 6-Rodanin-3-Asetat Kumarin	6
B. Metal Organic Framework (MOF).....	8
C. Zeolitic Imidazolate Framework-67 (ZIF-67).....	10
D. Enkapsulasi	12
E. Karakterisasi.....	14
1. Spektroskopi <i>Fourier Transform InfraRed</i> (FT-IR)	14
2. X-ray Diffraction (XRD).....	16
3. Spektroskopi UV-Vis <i>Diffuse Reflectance</i> (UV-Vis DRS).....	18
BAB III METODE PENELITIAN.....	20
A. Waktu dan Tempat Penelitian	20
B. Objek Penelitian	20

C. Alat dan Bahan.....	20
D. Prosedur Kerja.....	20
1. Sintesis <i>Zeolitic Imidazolate Framework-67</i>	20
2. Enkapsulasi 6-rodanin-3-asetat kumarin kedalam ZIF-67	21
E. Karakterisasi.....	22
1. Spektroskopi <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FT-IR).....	22
2. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	22
3. Spektroskopi UV-VIS <i>Diffuse Reflectance</i> (UV-Vis DRS).....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
A. <i>Zeolitic Imidazolate Framework-67</i> (ZIF-67).....	24
B. Enkapsulasi 6-rodanin-3-asetat kumarin dalam ZIF-67.....	25
C. Efisiensi Enkapsulasi	27
D. Karakterisasi.....	29
1. <i>Spektroskopi Fourier Transform Infra-Red</i> (FT-IR)	29
2. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	32
3. <i>Spektroskopi UV-VIS Diffuse Reflectance</i> (UV-Vis DRS)	35
BAB V KESIMPULAN	36
A. Kesimpulan	36
B. Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN.....	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin	2
Gambar 2. Struktur kumarin	6
Gambar 3. Skema pembentukan ZIF-67	11
Gambar 4. Topologi sodalit ZIF-67	11
Gambar 5. Ilustrasi metode Postsynthetic confinement (a), dan in situ confinement (b).....	13
Gambar 6. Spektrum FT-IR 2-metilimidazol dan ZIF-67.....	15
Gambar 7. Pola XRD ZIF-67	17
Gambar 8. Spektrum UV-DRS ZIF-67	19
Gambar 9. Hasil sintesis ZIF-67	25
Gambar 10. Hasil Sintesis KR@ZIF-67	26
Gambar 11. Spektrum UV-Vis senyawa KR (hitam) dan KR hasil dekomposisi KR@ZIF-67	28
Gambar 12. FTIR 2-Metilimidazol (merah) dan ZIF-67(hitam).....	30
Gambar 13. Spektrum FT-IR ZIF-67 (hitam), KR (biru), KR@ZIF-67 (ungu) ...	31
Gambar 14. XRD hasil sintesis ZIF-67 dan KR@ZIF-67 (a), XRD referensi ZIF-67.....	33
Gambar 15. Hasil Uv-Vis DRS ZIF-67(hitam), KR@ZIF-67(merah), dan KR(biru).....	35

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perbandingan tipe fotosensitizer	7
Tabel 2. Nilai pita Absorpsi FTIR.....	16
Tabel 3. Perbandingan daerah serapan FT-IR.....	31
Tabel 4. Ukuran Kristal senyawa ZIF-67 dan KR@ZIF-67	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan.....	43
Lampiran 2. Skema kerja	47
Lampiran 3. Hasil instrumen.....	50
Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian.....	55

BAB I

PENDAHULUAN

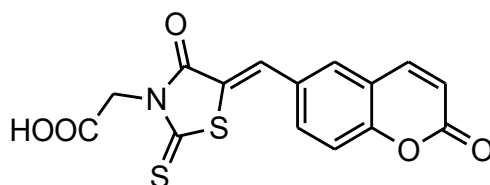
A. Latar Belakang

Fotosensitizer merupakan molekul yang dapat menyerap cahaya dan kemudian mentransfer energi atau elektron tersebut ke molekul lain (Zhang *et al.*, 2026). Senyawa ini memiliki peran penting dalam berbagai bidang teknologi, terutama pada *Photodynamic Therapy* (PDT) (Vigueras *et al.*, 2025), *Dye-sensitized photocatalyst water splitting* (Watanabe, 2017), dan *Dye sensitized solar cells* (DSSC) (Carella *et al.*, 2018). Potensi ini mendorong eksplorasi lebih lanjut terhadap perkembangan fotosensitizer baru.

Fotosensitizer yang dikembangkan saat ini terbagi menjadi tiga tipe utama, yaitu alami, organik, dan anorganik. Fotosensitizer alami strukturnya tidak dapat dimodifikasi sehingga karakteristiknya tidak bisa disesuaikan. Fotosensitizer anorganik, umumnya berbasis logam mulia menawarkan efisiensi optik tinggi, namun cenderung mahal dan tingkat toksisitas tinggi. Di antara itu, fotosensitizer organik menjadi pilihan yang paling tepat karena fleksibilitas desain tinggi sehingga karakteristik fotosensitizer dapat disesuaikan (Jabeen, 2025).

Salah satu fotosensitizer organik yang dikembangkan adalah turunan kumarin. Senyawa kumarin menunjukkan sifat fotofisika dan fotokimia yang baik, kemudahan sintesis, serta fleksibilitas dalam modifikasi struktur (Fatima *et al.*, 2022). Asam 2-(4-okso-5-((2-okso-2H-kromen-6-il)metilen)-

2-tioksotiazolidin-3il)asetat merupakan turunan kumarin yang disintesis melalui kondensasi antara 6-formaldehid kumarin dan asam rodanin-3-asetat dan menunjukkan penyerapan cahaya pada 380 nm (Katonnia, 2025), yang mendukung aplikasi sebagai fotosensitizer.



Gambar 1. Struktur senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin
IUPAC : Asam 2-(4-okso-5-((2okso-2H-kromen-6-il)metilen)-2-tioksotiazolidin-3il)asetat

Namun, Fotosensitizer organik umumnya memiliki stabilitas rendah terhadap paparan cahaya. Kondisi ini dapat menyebabkan fotodegradasi serta kerusakan struktur molekul, meskipun berbagai modifikasi desain telah dilakukan (Carella *et al.*, 2018). Selain itu, fotosensitizer umumnya masih rentan mengalami fenomena *aggregation-caused quenching* (ACQ), yang menyebabkan penurunan intensitas fluoresensi (Ma *et al.*, 2024).

Enkapsulasi fotosensitizer organik ke dalam *Metal Organic Frameworks* (MOF) merupakan salah satu pendekatan yang efektif untuk meningkatkan stabilitas molekul sekaligus mengurangi kecenderungan agregasi. MOF adalah material kristalin berpori dengan luas permukaan yang besar dan sifat struktur yang dapat disesuaikan, sehingga banyak dimanfaatkan dalam adsorpsi gas, penghantaran obat, katalisis heterogen, hingga imobilisasi enzim (Wang *et al.*, 2020). Struktur berpori pada MOF berfungsi sebagai lapisan pelindung yang mampu menahan pelepasan (*leaching*) dan mencegah agregasi, namun tetap memungkinkan difusi ion

atau gas. Dengan demikian, material yang terenkapsulasi menjadi lebih stabil dan tetap mempertahankan sifat fotoelektrokimia yang baik (Dou *et al.*, 2017).

Salah satu kelompok MOF yang berpotensi sebagai media enkapsulasi yaitu ZIF-67 karena stabilitasnya yang baik dalam air dan dapat disintesis pada suhu kamar, dengan maupun tanpa molekul tamu hadir. Hal ini penting karena banyak sintesis MOF melibatkan suhu atau pelarut yang dapat merusak tamu (Murty *et al.*, 2023). ZIF-67 terbentuk dari ion kobalt (Co^{2+}) berkoordinasi dengan *linker* 2-metilimidazolat, memiliki luas permukaan yang tinggi ($\text{SBET} > 1700 \text{ m}^2/\text{g}$), yang memberikan banyak situs aktif, dan keberadaan mikropori (0,34 nm) yang mendukung proses reaksi karena afinitasnya yang kuat terhadap molekul tamu (Duan *et al.*, 2022). Stabilitas termal dan kimia tinggi, serta *band gap* sempit (1,98 eV) untuk penyerapan cahaya tampak (Yang *et al.*, 2017).

Beberapa penelitian mendukung potensi ZIF-67 sebagai media enkapsulasi. Li *et al.*, (2019) melaporkan sintesis ZIF-67@POM (*Polyoxometalate*). katalis ZIF-67@POM yang disintesis menunjukkan stabilitas siklik yang sangat baik, luas permukaan yang tinggi, ketersediaan situs aktif permukaan yang melimpah, serta efisiensi difusi yang tinggi, sebanding dengan elektrokatalis OER bebas logam mulia konvensional. Selain itu, Wang *et al.*, (2020) melaporkan keberhasilan enkapsulasi enzim laccase ke dalam ZIF-67, dengan metode *one-pot synthesis* menghasilkan laccase@ZIF-67 dengan stabilitas penyimpanan, reusabilitas,

mempertahankan aktivitasnya pada rentang pH 3–5, serta menunjukkan stabilitas termal yang lebih tinggi dibandingkan laccase bebas.

Dengan demikian, untuk melindungi struktur 6-rhodanin-3-asetat kumarin, maka dalam penelitian ini dilakukan enkapsulasi 6-rodanin-3-asetat kumarin kedalam ZIF-67 dengan metode *in situ encapsulation* serta karakterisasi menggunakan FTIR, XRD dan UV-Vis DRS untuk mengetahui struktur, morfologi, serta kemampuan penyerapan cahayanya.

B. Identifikasi Masalah

1. Fotosensitizer organik rentan mengalami fotodegradasi
2. Fotosensitizer rentan mengalami fenomena *aggregation-caused quenching* (ACQ)
3. Enkapsulasi 6-rodanin-3-kumarin asetat kedalam ZIF-67 belum pernah dilakukan.

C. Batasan Masalah

1. Enkapsulasi senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin kedalam ZIF-67
2. Karakterisasi senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin terenkapsulasi ZIF-67 menggunakan FTIR, XRD, dan UV-Vis DRS.

D. Rumusan Masalah

1. Bagaimana hasil sintesis ZIF-67 dan hasil karakterisasi menggunakan FTIR, XRD dan UV-Vis DRS?
2. Apakah enkapsulasi senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin kedalam ZIF-67 dapat dilakukan?

3. Bagaimana hasil karakterisasi FTIR, XRD, dan UV-Vis DRS dari senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin terenkapsulasi ZIF-67?

E. Tujuan Penelitian

1. Melakukan Sintesis ZIF-67 dan karakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan UV-Vis DRS
2. Mengenkapsulasi senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin kedalam ZIF-67.
3. Mengetahui hasil karakterisasi FTIR, XRD, dan UV-Vis DRS dari senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin terenkapsulasi ZIF-67.

F. Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk mengetahui mengenai mekanisme dan pengaruh enkapsulasi terhadap struktur, stabilitas, dan sifat optik fotosensitizer dan menjadi dasar pengembangan material fotosensitizer stabil untuk aplikasi fotokimia di masa mendatang.

BAB V

KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan:

1. Sintesis ZIF-67 berhasil dilakukan dengan menghasilkan padatan berwarna ungu tua dengan rendemen 38,7%. Karakterisasi FTIR menunjukkan terbentuknya ikatan Co–N, XRD menunjukkan kesesuaian pola difraksi dengan ZIF-67 yang menandakan kristalinitas yang baik, serta UV-Vis DRS menunjukkan serapan khas ion Co^{2+} pada daerah 585 nm.
2. Enkapsulasi senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin (KR) ke dalam ZIF-67 berhasil dilakukan melalui metode *in situ*, dengan efisiensi enkapsulasi (2,53%). Keberhasilan ini didukung oleh hasil analisis UV-Vis setelah dekomposisi yang menunjukkan keberadaan KR dalam material.
3. Karakterisasi KR@ZIF-67 menunjukkan bahwa struktur ZIF-67 tetap terjaga setelah enkapsulasi. FTIR menampilkan pita khas Co-N dari ZIF-67 serta gugus C=O dari KR, XRD tidak menunjukkan perubahan fase kristal, dan UV-Vis DRS menunjukkan adanya kenaikan intensitas serapan pada daerah 387 nm mengindikasikan bahwa KR terenkapsulasi dalam ZIF-67.

B. Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengoptimasi kondisi sintesis, guna meningkatkan efisiensi enkapsulasi. Selain itu, karakterisasi lanjutan untuk mengevaluasi interaksi antara *host* dan *guest*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, M. Q., Javeria, H., Nazir, A., Du, Z., & Keshta, B. E. (2025). Enhanced ibuprofen removal from wastewater using Ni-doped ZIF-67 MOF: Synthesis, characterization, and impact of doping on adsorption performance. *Environmental Functional Materials*.
<https://doi.org/10.1016/j.efmat.2025.05.001>
- Bakar, B., Dik, G., Ulu, A., & Ateş, B. (2024). Immobilization of Xylanase into Zeolitic Imidazolate Framework - 67 (ZIF - 67) and Manganese - Doped ZIF - 67 (Mn / ZIF - 67): A Comparison Study. *Topics in Catalysis*, 67(9), 698–713. <https://doi.org/10.1007/s11244-023-01898-1>
- Bull, O. S., Bull, I., Odu, C. O., Okpa, E. Y. U., & Harcourt, P. (2022). A Review on Metal-Organic Frameworks (MOFS), Synthesis , Activation , Characterisation , and Application. *ORIENTAL JOURNAL OF CHEMISTRY*, 38(3), 490–516.
- Bunaciu, A. A., Udriştioiu, E. gabriela, & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(4), 289–299. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>
- Carella, A., Borbone, F., & Centore, R. (2018). Research progress on photosensitizers for DSSC. *Frontiers in Chemistry*, 6(SEP), 1–24. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00481>
- Carpenter, B. P., Talosig, A. R., Mulvey, J. T., Merham, J. G., Esquivel, J., Rose, B., Ogata, A. F., Fishman, D. A., & Patterson, J. P. (2022). Role of Molecular Modification and Protein Folding in the Nucleation and Growth of Protein – Metal – Organic Frameworks. *CHEMISTRY OF MATERIAL*, 34, 8336–8344. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.2c01903>
- Cazin, I., Rossegger, E., Guedes de la Cruz, G., Griesser, T., & Schlögl, S. (2021). Recent advances in functional polymers containing coumarin chromophores. *Polymers*, 13(1), 1–51. <https://doi.org/10.3390/polym13010056>
- Cisse, L., Djande, A., Capo, M., Abdourahmane, C., Pierre, J., François, B., Jules, D., Adama, Y., Tine, A., Jacques, J., Khonté, A., Pierre, J., François, B., & Jules, D. (2019). Quantitative study of the substituent effects on the electronic absorption and fluorescence spectra of coumarins Quantitative study of the substituent effects on the electronic absorption and fluorescence spectra of coumarins. *Journal of Physical Organic Chemistry*, 1–12. <https://doi.org/10.1002/poc.4014>
- Davoodi, M., Davar, F., Rezayat, M. R., Jafari, M. T., Bazarganipour, M., & Shalan, A. E. (2021). Synthesis and characterization of a new ZIF-67@MgAl₂O₄nanocomposite and its adsorption behaviour. *RSC Advances*, 11(22), 13245–13255. <https://doi.org/10.1039/d1ra01056e>
- Dou, Y., Zhou, J., Zhou, A., Li, jian rong, & Nie, Z. (2017). Visible-Light

- Responsive MOF Encapsulation of Noble-Metal- Sensitized Semiconductors for High-Performance Photoelectrochemical Water Splitting. *Journal of Materials Chemistry A*. <https://doi.org/10.1039/C7TA06443H>
- Duan, C., Yu, Y., & Hu, H. (2022). Recent progress on synthesis of ZIF-67-based materials and their application to heterogeneous catalysis. *Green Energy & Environment*, 7, 3–15. <https://doi.org/10.1016/j.gee.2020.12.023>
- Dutta, D., Dubey, R., Dwivedi, S. K., & Puzari, A. (2020). *Colorimetric Detection of Cobalt in Different Solvents by Using Their Solvatochromic Properties*. 6272, 144–149. <https://doi.org/10.36348/sjet.2020.v05i04.003>
- Fatima, S., Mansha, A., Asim, S., & Shahzad, A. (2022). Absorption spectra of coumarin and its derivatives. *Chemical Papers*, 76(2), 627–638. <https://doi.org/10.1007/s11696-021-01902-6>
- Feng, X., & Carreon, M. A. (2015). Kinetics of transformation on ZIF-67 crystals. *Journal of Crystal Growth*, 418, 158–162. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2015.02.064>
- Guo, X., Xing, T., & Lou, Y. (2015). Controlling ZIF-67 Crystals Formation through Various Cobalt Sources in Aqueous Solution. *Journal of Solid State Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2015.12.021>
- Gutiérrez, M., Zhang, Y., & Tan, J. (2022). Confinement of Luminescent Guests in Metal – Organic Frameworks : Understanding Pathways from Synthesis and Multimodal Characterization to Potential Applications of LG @ MOF Systems. *Chemical*, 122, 10438–10483. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.1c00980>
- Hof, F., Craig, S. L., Nuckolls, C., & Rebek, J. (2002). Molecular Encapsulation. *Angewandte Chemie Edisi Internasional*, 41, 1488–1508. [https://doi.org/https://doi.org/10.1002/1521-3773\(20020503\)41:9<1488::AID-ANIE1488>3.0.CO;2-G](https://doi.org/https://doi.org/10.1002/1521-3773(20020503)41:9<1488::AID-ANIE1488>3.0.CO;2-G)
- Hou, W., Huang, Y., & Liu, X. (2020). Highly Efficient and Recyclable ZIF - 67 Catalyst for the Degradation of Tetracycline. *Catalysis Letters*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s10562-020-03210-2>
- Jabeen, M. (2025). DSSC Sensitizers : A Panoramic Comparison. *Journal of the Turkish Chemical Society*, 12(1), 35–46.
- Jivaramonaikul, W., & Wanichwecharungruang, S. (2010). *UVA absorption and photostability of coumarins* †. 1120–1125. <https://doi.org/10.1039/c0pp00057d>
- Kamar, A., Ju, L., Tze, C., Tjin, G., & Rao, V. (2022). Medicine in Drug Discovery Rhodanine scaffold : A review of antidiabetic potential and structure – activity relationships (SAR). *Medicine in Drug Discovery Journal*, 15(100131).
- Katonna, E. K. A. P. (2025). *Sintesis Senyawa Asam 2-(4-Okso-5-((2-Okso-2h-Kromen-6-Il)Metilen)-2-Tioksotiazolidin-3- Il)Asetat Menggunakan 6-Formaldehid Kumarin Sebagai Prekursor*.

- Kumar, S., Srivastava, R., & Koh, J. (2020). Utilization of zeolites as CO₂ capturing agents: Advances and future perspectives. *Journal of CO₂ Utilization*, 41(April), 101251. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2020.101251>
- Li, C., Zhang, H., Liu, M., Lang, F.-F., Pang, J., & Bu, X. (2023). Recent progress in metal–organic frameworks (MOFs) for electrocatalysis. *Industrial Chemistry & Materials*, 1(1), 9–38. <https://doi.org/10.1039/d2im00063f>
- Li, Q. Y., Zhang, L., Xu, Y. X., Li, Q., Xue, H., & Pang, H. (2019). Smart Yolk/Shell ZIF-67@POM Hybrids as Efficient Electrocatalysts for the Oxygen Evolution Reaction. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 7(5), 5027–5033. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b05744>
- Liu, Y., Cheng, H., Cheng, M., Liu, Z., Huang, D., Zhang, G., Shao, B., Liang, Q., Luo, S., Wu, T., & Xiao, S. (2021). The application of Zeolitic imidazolate frameworks (ZIFs) and their derivatives based materials for photocatalytic hydrogen evolution and pollutants treatment. *Chemical Engineering Journal*, 417(December). <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127914>
- Liu, Z., Sun, D., Wang, C., You, B., Li, B., Han, J., Jiang, S., Zhang, C., & He, S. (2024). Zeolitic imidazolate framework-67 and its derivatives for photocatalytic applications. *Coordination Chemistry Reviews*, 502(December 2023), 215612. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2023.215612>
- Luo, Y., Liu, Z., Ye, M., Zhou, Y., Su, R., Huang, S., Chen, Y., & Dai, X. (2024). Synergistic Enhancement of Oxytetracycline Hydrochloride Removal by UV/ZIF-67 (Co)-Activated Peroxymonosulfate. *Water*, 67.
- Ma, M., Luo, L., Liu, L., Ding, Y., Dong, Y., & Fang, B. (2024). Synthesis of Coumarin-Based Photosensitizers for Enhanced Antibacterial Type I/II Photodynamic Therapy. *Molecules* 2024, 29(3793), 1–14.
- Masruroh, Manggara, A. bakti, Papilaka, T., & Triandi T, R. (2013). Penentuan ukuran Kristal (crystallite size) lapisan tipis PZT dengan metode XRD melalui pendekatan persamaan Debye Scherrer. *Erudio*, 1(2), 24–29.
- Morozzi, P., Ballarin, B., Arcozzi, S., Brattich, E., Lucarelli, F., Nava, S., Gómez-Cascales, P. J., Orza, J. A. G., & Tositti, L. (2021). Ultraviolet–Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV–Vis DRS), a rapid and non-destructive analytical tool for the identification of Saharan dust events in particulate matter filters. *Atmospheric Environment*, 252(September 2020). <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118297>
- Murty, R., Bera, M. K., Walton, I. M., Whetzel, C., Prausnitz, M. R., & Walton, K. S. (2023). Interrogating Encapsulated Protein Structure within Metal – Organic Frameworks at Elevated Temperature. *Journal of the American Chemical Society*, 145, 7323–7330. <https://doi.org/10.1021/jacs.2c13525>
- Nasri, nazhirah M., Yusof, E. nadia md, Raman, V., Abdullah, abdul halim, & Tahir, mohamed ibram mohamed. (2024). A Review On The Synthesis Strategies And Factors Contributing To The Formation Of Zeolitic Imidazolate Frameworks (ZIFs) And Their Applications. *Malaysian Journal*

of Analytical Sciences, 28(1), 188–219.

- Nurfitriyana, Fithri, N. A., & Yanuarti, R. (2022). Analisis Interaksi Kimia Fourier Transform Infrared (FTIR) Tablet Gastrorentif Ekstrak Daun Petai (*Parkia Speciosa* Hassk) Dengan Polimer Hpmc-K4m Dan Kitosan. *IONTech*, 03(02), 27–33.
- Park, H., Reddy, D. A., Kim, Y., Ma, R., Choi, J., Kim, T. K., & Lee, K. (2016). Zeolitic imidazolate framework-67 (ZIF-67) rhombic dodecahedrons as full-spectrum light harvesting photocatalyst for environmental remediation. *Solid State Sciences*, 67. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2016.10.018>
- Pérez, M. E., Durantini, J. E., Milanesio, M. E., & Durantini, E. N. (2025). BODIPY-Loaded ZIF-8 Nanomaterials for Enhanced Photodynamic Inactivation of *Staphylococcus aureus*. *ACS Applied Bio Materials*. <https://doi.org/10.1021/acsabm.5c00787>
- Raptopoulou, C. P. (2021). Metal-Organic Frameworks : Synthetic Methods and Potential Applications. *Materials*, 14(310), 1–32.
- Raturandang, R., Wenas, D. R., Mongan, S., & Bujung, C. (2022). Analisis Spektroskopi Ftir Untuk Karakterisasi Kimia Fisik Fluida Mata Air Panas Di Kawasan Wisata Hutan Pinus Tomohon Sulawesi Utara. *Jurnal FisTa : Fisika Dan Terapannya*, 3(1), 28–33. <https://doi.org/10.53682/fista.v3i1.167>
- Rivera-torrente, M., Mandemaker, L. D. B., Filez, M., Delen, G., Seoane, B., Meirer, F., Weckhuysen, B. M., & Rivera-torrente, M. (2020). Spectroscopy, microscopy, diffraction and scattering of archetypal MOFs: formation, metal sites in catalysis and thin films. *Royal Society of Chemistry*. <https://doi.org/10.1039/d0cs00635a>
- Sampaio, P. A., Pereira, E. C. V, Pedro, G. S. S., Alencar, M. T., Ferraz, L. R. M., Nishimura, R. H. V, Ferreira, A. S., Neto, P. J. R., Ara, E. S., & Rolim, L. A. (2025). A Review on Metal – Organic Frameworks as Technological Excipients : Synthesis , Characterization , Toxicity , and Application in Drug Delivery Systems. *Compounds*, 5(1), 1–28.
- Skoog, D. A., Holler, f J., & Crouch, S. R. (2017). *Instrumental Analysis Principles*. cengage learning.
- Stefanachi, A., Leonetti, F., Pisani, L., Farmaco, F., Moro, A., Orabona, E., & Bari, I.-. (2018). *Coumarin : A Natural , Privileged and Versatile Scaffold for Bioactive Compounds*. <https://doi.org/10.3390/molecules23020250>
- Tran, N. T., Trung, L. G., & Nguyen, M. K. (2021). The degradation of organic dye contaminants in wastewater and solution from highly visible light responsive ZIF-67 monodisperse photocatalyst. *Journal of Solid State Chemistry*, 300(April), 122287. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2021.122287>
- Vigueras, G., Izquierdo-garcía, E., Torre-rubio, E. De, Abad-montero, D., Santana, M. D., Marchán, V., & Ruiz, J. (2025). Metal–coumarin derivatives as promising photosensitizers: unlocking their cancer phototherapy potential. *INORGANIC CHEMISTRY*, 12(14), 4355–4375.

<https://doi.org/10.1039/d5qi00858a>

- Wang, Z., Ren, D., Yu, H., Jiang, S., & Zhang, S. (2020). Study on improving the stability of adsorption-encapsulation immobilized Laccase @ ZIF-67. *Biotechnology Reports*, 28, e00553. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00553>
- Watanabe, M. (2017). Dye-sensitized photocatalyst for effective water splitting catalyst. *Science and Technology of Advanced Materials*, 18(1), 705–723. <https://doi.org/10.1080/14686996.2017.1375376>
- Yadav, S. B., Erande, Y., Sreenath, M. C., & Chitrambalam, S. (2019). Pyrene Based NLOphoric D- π -A- π -D Coumarin-Chalcone and Their Red Emitting OBO Difluoride Complex : Synthesis , Solvatochromism , Z-scan , and Detailed TD-DFT Studies. *ChemistrySelect*, 4, 10385–10400. <https://doi.org/10.1002/slct.201901948>
- Yang, S., Pattengale, B., Kovrigin, E. L., & Huang, J. (2017). Photoactive Zeolitic Imidazolate Framework as Intrinsic Heterogeneous Catalysts for Light-Driven Hydrogen Generation. *ACS Energy Letters*, 2(1), 75–80. <https://doi.org/10.1021/acsenergylett.6b00540>
- Zhang, J., Chen, Z., Shi, P., Xu, G., & Zhao, J. (2026). Self-assembled metal-based photosensitizers for photodynamic therapy : Mechanisms , applications , and future perspectives. *Coordination Chemistry Reviews*, 549(P2), 217320. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2025.217320>
- Zhou, K., Mousavi, B., Luo, Z., Phatanasri, S., Chaemchuen, S., & Verpoort, F. (2017). Characterization and properties of Zn/Co zeolitic imidazolate frameworks vs. ZIF-8 and ZIF-67. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(3), 952–957. <https://doi.org/10.1039/C6TA07860E>