

**ENKAPSULASI DAN KARAKTERISASI SENYAWA
6-RODANIN-3-ASETAT KUMARIN DALAM
*ZEOLITIC IMIDAZOLATE FRAMEWORK-8***

SKRIPSI



**Oleh:
ROJA SEPPURNAMA SARI
NIM. 22036094/2022**

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

**ENKAPSULASI DAN KARAKTERISASI SENYAWA
6-RODANIN-3-ASETAT KUMARIN DALAM
ZEOLITIC IMIDAZOLATE FRAMEWORK-8**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana



**Oleh:
ROJA SEPPURNAMA SARI
NIM. 22036094/2022**

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

PERSETUJUAN SKRIPSI

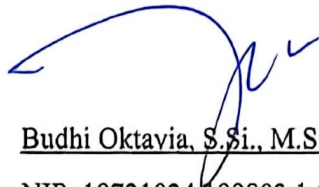
**ENKAPSULASI DAN KARAKTERISASI SENYAWA
6-RODANIN-3-ASETAT KUMARIN DALAM
ZEOLITIC IMIDAZOLATE FRAMEWORK-8**

Nama : Roja Seppurnama Sari
NIM : 22036094
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 20 Mei 2026

Mengetahui:

Kepala Departemen Kimia

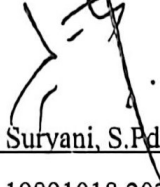


Budhi Oktavia, S.Si., M.Si., Ph.D.

NIP. 19721024 199803 1 001

Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing



Okta Suryani, S.Pd., M.Sc., Ph.D.

NIP. 19891018 202012 2 014

PENGESEHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

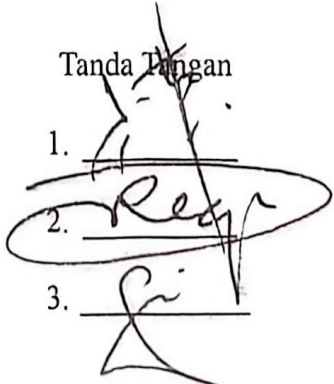
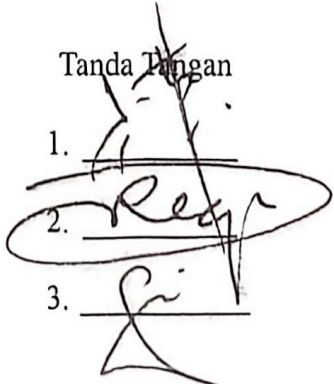
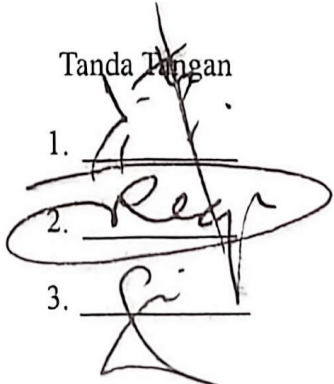
Nama : Roja Seppurnama Sari
NIM : 22036094
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

ENKAPSULASI DAN KARAKTERISASI SENYAWA 6-RODANIN-3-ASETAT KUMARIN DALAM ZEOLITIC IMIDAZOLATE FRAMEWORK-8

Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan Di Depan Tim Penguji Skripsi
Departemen Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas
Negeri Padang

Padang, 20 Mei 2026

Tim Penguji

No	Jabatan	Nama	Tanda Tangan
1	Ketua	Okta Suryani, S.Pd., M.Sc., Ph.D.	1. 
2	Anggota	Dr. Riga, S.Pd., M.Si.	2. 
3	Anggota	Fitri Amelia, M.Si., Ph.D	3. 

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Roja Seppurnama Sari

NIM : 22036094

Tempat/ Tanggal Lahir : Tanah Kare/ 13 September 2003

Program Studi : Kimia

Departemen : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Judul Skripsi : Enkapsulasi dan Karakterisasi 6-rodanin-3-asetat kumarin
Dalam *Zeolitic Imidazolate Framework-8*

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 lain 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 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, 20 Mei 2026

Yang Menyatakan



Roja Seppurnama Sari

22036094

Enkapsulasi Dan Karakterisasi Senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin Dalam *Zeolitic Imidazolate Framework-8*

Roja Seppurnama Sari

ABSTRAK

Senyawa fotosensitizer merupakan senyawa yang mampu menyerap cahaya atau energi dan mentransfer energi tersebut ke molekul lain. Salah satu fotosensitizer yang banyak dikembangkan adalah turunan kumarin karena memiliki sifat fotofisika yang baik, namun penggunaannya masih terbatas karena mudah mengalami fotodegradasi dan agregasi pada konsentrasi tinggi. Salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah melalui enkapsulasi ke dalam materia berpori yaitu *Zeolitic imidazolate framework-8* (ZIF-8). Penelitian ini bertujuan untuk mengenkapsulasikan senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin (KR) ke dalam ZIF-8 dan mengkarakterisasi material hasil enkapsulasi. Hasil sintesis menunjukkan terbentuknya material KR@ZIF-8 berupa padatan kuning pucat dengan rendemen sebesar 35%. Karakterisasi FTIR digunakan untuk mengkonfirmasi terbentuknya struktur ZIF-8 yang ditandai dengan munculnya puncak ikatan Zn-N. Pola difraksi XRD menunjukkan struktur kristal ZIF-8 tetap terjaga setelah proses enkapsulasi. Selanjutnya, hasil UV-Vis DRS menunjukkan adanya puncak serapa pada 381 nm yang mengkonfirmasi keberadaan senyawa KR dalam material KR@ZIF-8. Keberhasil enkapsulasi ini dikonfirmasi melalui pengujian efisiensi enkapsulasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan nilai efisiensi sebesar 7,93 %.

Keyword: Fotosensitizer, Enkapsulasi, Kumarin, ZIF-8

Encapsulation and Characterization 6-rodanin-3-acetate coumarin Compound in Zeolitic Imidazolate Framework-8

Roja Seppurnama Sari

ABSTRACT

Photosensitizers are compounds capable of absorbing light or energy and transferring the energy to other molecules. One type of photosensitizer that has been widely developed is coumarin derivatives due to their good photophysical properties. However, their application is still limited because they are prone to photodegradation and aggregation at high concentrations. One approach to overcome these limitations is encapsulation into porous materials, such as Zeolitic Imidazolate Framework-8 (ZIF-8). This study aimed to encapsulate 6-rhodanine-3-acetate coumarin (KR) into ZIF-8 and characterize the resulting encapsulated material. The synthesis results showed the formation of KR@ZIF-8 as a pale yellow solid with a yield of 35%. FTIR characterization was used to confirm the formation of the ZIF-8 structure, indicated by the presence of the Zn–N bond peak. The XRD diffraction pattern showed that the crystal structure of ZIF-8 remained intact after the encapsulation process. Furthermore, the UV-Vis DRS results showed an absorption peak at 381 nm, confirming the presence of KR in the KR@ZIF-8 material. The successful encapsulation was further confirmed through encapsulation efficiency analysis using a UV-Vis spectrophotometer, which showed an encapsulation efficiency value of 7,93 %.

Keyword: Photosensitizer, Encapsulation, Coumarin, ZIF-8

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, dan karunianya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Enkapsulasi dan Karakterisasi Senyawa 6-Rodanin-3-Asetat Kumarin dalam Zeolitic Imidazolate Framework-8”** dengan baik dan tepat waktu. Skripsi ini disusun sebagai bagian dari persyaratan Tugas Akhir 2 di Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

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

1. Ibu Okta Suryani, S.Pd., M.Sc., Ph.D. Selaku Dosen Pembimbing sekaligus Penasehat Akademik yang telah membimbing dan memberikan masukan dalam penyusunan proposal ini.
2. Bapak Dr. Riga, S.Pd., M.Si dan Ibu Fitri Amelia, M.Si., Ph.D selaku dosen pembahas
3. Bapak Budhi Oktavia, S.Si., M.Si., Ph.D. Selaku Koordinator Program Studi Kimia sekaligus Kepala Departemen Kimia
4. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan doa, dukungan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Kepada Semua pihak yang telah memberikan kontribusi, dukungan dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis berharap penelitian dan penulisan skripsi ini dapat menambah ilmu dan wawasan pembaca tentang topik penelitian ini serta penulis mengharapkan kritik

dan saran yang membangun dari pembaca, sehingga dapat bermanfaat di kemudian hari.

Padang, 20 mei 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah.....	4
C. Batasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah.....	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. <i>Metal Organic Framework</i>	6
B. <i>Zeolitic Imidazolate Framework-8</i>	8
C. Fotosensitizer 6-rodanin-3-asetat kumarin	10
D. Enkapsulasi	13
E. Karakterisasi	14
BAB III METODE PENELITIAN	21
A. Tempat dan Waktu Penelitian	21
B. Objek Penelitian.....	21
C. Alat dan Bahan.....	21
D. Variabel penelitian.....	22
E. Prosedur Sintesis.....	22
F. Karakterisasi	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
A. Sintesis <i>Zeolitic Imidazolate Framework (ZIF-8)</i>	25
B. Karakterisasi <i>Zeolitic Imidazolate Framework (ZIF-8)</i>	26
C. Enkapsulasi 6-rodanin-3-asetat kumarin dalam ZIF-8	31
D. Karakterisasi enkapsulasi 6-rodanin-3-asetat kumarin dalam ZIF-8	32
E. Efisiensi enkapsulasi.....	37
BAB V PENUTUP	39
A. Kesimpulan	39
B. Saran	39
DAFTAR PUSTAKA.....	40
LAMPIRAN.....	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Struktur senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin (KR)	2
Gambar 2.	Pembuatan struktur MOF	6
Gambar 3.	Struktur Zeolit Si-O-Si (a), Ikatan M-Im-M dalam ZIFs (b), dan struktur kristal dari ZIF-8 (c).....	8
Gambar 4.	Skema pembentukan ZIF-8	9
Gambar 5.	Mekanisme pembentukan Kerangka ZIF-8	10
Gambar 6.	Struktur Kumarin.....	11
Gambar 7.	Struktur kumarin dan turunanya	11
Gambar 8.	Struktur asam rodanin-3-asetat.....	13
Gambar 9.	Skema enkapsulasi fotosensitizer ke dalam ZIF-8	13
Gambar 10.	Spektrum FTIR dari ZIF-8	16
Gambar 11.	Diagram prinsip kerja XRD.....	17
Gambar 12.	Analisis Pola XRD.....	18
Gambar 13.	Spektrum UV-Vis DRS ZIF-8.....	20
Gambar 14.	Hasil sintesis ZIF-8.....	26
Gambar 15.	Spektrum FTIR dari 2-metilimidazol dan ZIF-8	27
Gambar 16.	Spektrum X-Ray Diffraction (XRD) hasil sintesis ZIF-8	28
Gambar 17.	Spektrum ZIF-8 Referensi (CCDC number: 602,542)	29
Gambar 18.	Spektrum UV Vis DRS ZIF-8	30
Gambar 19.	Hasil enkapsulasi KR@ZIF-8.....	32
Gambar 20.	Spektrum FTIR 6-rodanin-3-asetat kumarin (KR), ZIF-8, dan KR@ZIF-8.....	33
Gambar 21.	Spektrum X-Ray Diffraction (XRD) ZIF-8 dan KR@ZIF-8	35
Gambar 22.	Spektrum UV-Vis DRS KR, ZIF-8, dan KR@ZIF-8.....	36
Gambar 23.	Spektrum UV-Vis KR dan KR hasil pelepasan dari KR@ZIF-8 setelah pemecahan kerangka ZIF-8	37

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai Pita Absorpsi FTIR	16
Tabel 2. Perbandingan Hasil Analisis FTIR	34
Tabel 3. Ukuran Kristal Dengan Persamaan Debye-Scherrer	36

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan.....	46
Lampiran 2. Perhitungan ukuran Kristal.....	51
Lampiran 3. Skema Kerja Sintesis.....	52
Lampiran 4. Karakterisasi.....	56
Lampiran 5. Dokumentasi penelitian.....	60

BAB I

PENDAHULUAN

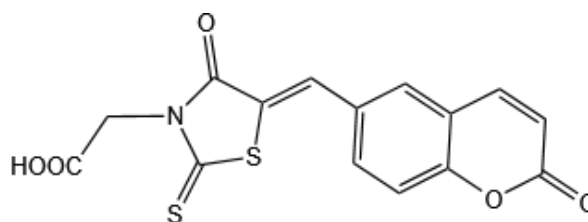
A. Latar Belakang

Fotosensitizer merupakan suatu senyawa yang mampu menyerap cahaya atau energi foton kemudian meneruskan energi atau elektron tersebut ke molekul lain (J. Zhang *et al.*, 2025). Secara umum, fotosensitizer dapat berasal dari molekul organik terkonjugasi, kompleks logam transisi, maupun nanostruktur anorganik (Escudero *et al.*, 2021). Kemampuan fotosensitizer dalam menjalankan fungsinya sangat dipengaruhi oleh sifat fotofisikanya, seperti kemampuan penyerapan cahaya, potensial redoks, dan lama waktu molekul berada dalam keadaan tereksitasi. Sifat tersebut berperan penting dalam mendukung transfer energi secara efektif (Kim *et al.*, 2024). Oleh karena itu, fotosensitizer yang baik diharapkan memiliki daya serap cahaya yang tinggi, efisiensi *intersystem crossing* (ISC) yang baik, tidak mudah mengalami *photobleaching*, serta memiliki toksisitas yang rendah (Escudero *et al.*, 2021).

Sebagian besar fotosensitizer yang dikembangkan masih berbasis kompleks logam mulia yang menunjukkan sifat fotofisika yang baik, namun memerlukan biaya produksi yang relatif tinggi. Kondisi ini mendorong Pengembangan fotosensitizer organik yang lebih terjangkau dan ramah lingkungan (Suryani *et al.*, 2017). Salah satu fotosensitizer organik yang banyak dikembangkan adalah turunan kumarin. Pemilihan senyawa ini berdasarkan dengan sifat fotofisika yang unggul, seperti efisiensi kuantum fluoresensi yang tinggi, kemampuan merespon cahaya dengan baik, dan memiliki fleksibilitas kerangka yang memungkinkan modifikasi strukturnya. Hal tersebut memungkinkan turunan kumarin banyak digunakan

dalam berbagai bidang seperti probe fluoresensi, *Organic Light-Emitting Device* (OLED), *dye-sensitized solar cell* (H. Zhang *et al.*, 2021), *dye-sensitized water splitting*, dan terapi fotodinamik (Vigueras *et al.*, 2025; Waskasi *et al.*, 2012).

Pada penelitian katonna 2025, telah berhasil disintesis senyawa organik berbasis kumarin yang dimodifikasi dengan asam rodanin-3-asetat, menghasilkan senyawa dengan IUPAC Asam 2-(4-okso-5-((2-okso-2H-kromen-6-il)metilen)-2-tioksotiazolidin-3-il)asetat, atau dikenal juga dengan 6-rodanin-3-asetat kumarin seperti gambar 1. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin tersebut mampu menyerap cahaya pada panjang gelombang 380 nm, sehingga berpotensi sebagai fotosensitizer (Katonna, 2025).



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

Meskipun kumarin memiliki sifat fotofisika yang luar biasa, senyawa ini masih memiliki keterbatasan, yaitu mudah mengalami fotodegradasi akibat penyinaran secara terus-menerus sehingga membatasi penggunaannya secara berulang (Abou Khalil *et al.*, 2024). Selain itu, cenderung mengalami agregasi (*Aggregation Caused Quenching/ACQ*) ketika berada pada konsentrasi tinggi (H. Zhang *et al.*, 2021). Salah satu strategi untuk menyelesaikan masalah tersebut adalah melakukan enkapsulasi fotosensitizer ke dalam matriks penyangga berpori yaitu *Metal Organic Framework* (MOF). Enkapsulasi dalam MOF ini dapat membatasi pergerakan rotasi dan vibrasi fotosensitizer (Sakamoto *et al.*, 2022).

Penggunaan MOF sebagai material kristal berpori untuk mengenkapsulasi fotosensitizer didorong karena MOF memiliki luas permukaan yang besar, porositas tinggi, dan situs fungsional yang banyak. Diantara berbagai jenis MOF, *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8) adalah yang paling terkenal karena memiliki luas permukaan yang besar, porositas tinggi, stabilitas kimia dan termal yang luar biasa, serta kemudahan sintesis pada suhu kamar. ZIF-8 terdiri dari ion logam Zn^{2+} dan ligan 2-metilimidazol yang membentuk interaksi koordinasi, dengan diameter pori mencapai 11,6 Å, dengan bukaan 3,4 Å yang mendukung enkapsulasi molekul fotosensitizer (Behera *et al.*, 2025; James & Lin, 2017; Zou *et al.*, 2018). Selain itu, ZIF-8 memiliki stabilitas struktur hingga 500°C, sehingga mampu mempertahankan porositas dan kristalinitasnya meskipun terendam dalam air maupun pelarut organik, dan menunjukkan ketahanan terhadap fotodegradasi (Behera *et al.*, 2025; Pouramini *et al.*, 2023).

Beberapa penelitian terdahulu telah melaporkan keberhasilan enkapsulasi fotosensitizer ke dalam ZIF-8. Penelitian oleh (Pérez *et al.*, 2025) menunjukkan bahwa ZIF-8 dapat digunakan sebagai matriks untuk mengenkapsulasikan fotosensitizer. Pada penelitian tersebut, BODIPY berhasil dienkapsulasikan dalam ZIF-8 ($\text{H}_2\text{BDP@ZIF-8}$ dan $\text{Br}_2\text{BDP@ZIF-8}$) menggunakan metode *one pot nanoprecipitation*. Hasil spektroskopi UV-Vis menunjukkan panjang gelombang 521 nm untuk $\text{H}_2\text{BDP@ZIF-8}$ dan 552 nm untuk $\text{Br}_2\text{BDP@ZIF-8}$. Hasil tersebut menunjukkan senyawa BODIPY yang berada dalam ZIF-8 tetap dapat mempertahankan karakteristik optiknya. Selain itu, enkapsulasi BODIPY dalam ZIF-8 terbukti tidak merusak struktur ZIF-8 dan mampu meningkatkan fotostabilitas dibandingkan senyawa BODIPY bebas. Hasil serupa juga dilaporkan

oleh N.Li dan rekannya, melaporkan keberhasilan enkapsulasi kumarin ke dalam ZIF-8 tanpa merusak struktur dari ZIF-8 (N. Li *et al.*, 2023).

Enkapsulasi fotosensitizer ke dalam MOF ini terbukti mampu meningkatkan sifat fotofisika dari fotosensitizer, respon optik cepat, fotostabilitas tinggi, serta sensitivitas yang dapat diatur. Selain itu, melindungi agregasi fotosensitizer, sehingga meningkatkan efisiensi transfer energi ke fotosensitizer (Abdelhamid *et al.*, 2019). Meskipun demikian, penelitian tentang enkapsulasi fotosensitizer organik turunan kumarin ke dalam kerangka ZIF-8 masih sangat terbatas. Padahal, berpotensi menghasilkan transfer muatan yang lebih efisien dan penyerapan cahaya tampak yang lebih luas. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada enkapsulasi senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin (KR) dalam *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8) dengan metode *One Pot Nanoprecipitation* dan dikarakterisasi dengan menggunakan spektrofotometer FTIR, XRD, dan UV-Vis DRS.

B. Identifikasi Masalah

1. Senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin (KR) mudah mengalami agregasi dan fotodegradasi akibat penyinaran berulang.
2. Belum pernah dilakukan enkapsulasi senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin (KR) ke dalam ZIF-8.

C. Batasan Masalah

1. Enkapsulasi senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin (KR) ke dalam ZIF-8.
2. Karakterisasi enkapsulasi senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin (KR) ke dalam ZIF-8 dengan menggunakan spektrofotometer FTIR, XRD, dan UV-Vis DRS.

D. Rumusan Masalah

1. Apakah enkapsulasi senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin (KR) ke dalam ZIF-8 dapat dilakukan?
2. Bagaimana hasil karakterisasi terhadap sifat struktural dan sifat optik material hasil enkapsulasi senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin (KR) ke dalam ZIF-8 dengan menggunakan spektrofotometer FTIR, XRD, dan UV-Vis DRS?

E. Tujuan Penelitian

1. Mengenkapsulasi senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin (KR) Ke dalam ZIF-8.
2. Mengetahui hasil karakterisasi sifat struktural dan sifat optik material hasil enkapsulasi senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin (KR) ke dalam ZIF-8 dengan menggunakan spektrofotometer FTIR, XRD, dan UV-Vis DRS.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan stabilitas senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin melalui proses enkapsulasi ke dalam ZIF-8, sehingga lebih tahan terhadap fotodegradasi dan mampu mengurangi agregasi dalam larutan berair. Selain itu, juga diharapkan memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai penggunaan ZIF-8 sebagai pelindung senyawa yang sensitif cahaya, sehingga dapat digunakan dalam berbagai aplikasi di masa mendatang.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

1. Penelitian ini telah berhasil mengenkapsulasikan senyawa 6-rodanin-3-asetat kumarin ke dalam ZIF-8 (KR@ZIF-8) menggunakan metode *one-pot nanoprecipitation*. Sintesis dilakukan dengan mencampurkan larutan zink nitrat heksahidrat, 2-metilimidazol, dan 6-rodanin-3-asetat kumarin (KR), sehingga didapatkan padatan berwarna kuning pucat sebagai bukti keberhasilan enkapsulasi senyawa KR dalam ZIF-8 dengan rendemen sebesar 35 %.
2. Hasil karakterisasi KR@ZIF-8 menunjukkan sifat struktural dan optik yang mendukung keberhasilan proses enkapsulasi KR dalam ZIF-8. Hal ini ditunjukkan oleh munculnya pita Zn-N pada FTIR yang menandakan terbentuknya struktur ZIF-8. Pola difraksi XRD KR@ZIF-8 masih memiliki posisi puncak yang sesuai dengan ZIF-8 murni, serta munculnya serapan khas KR pada UV-Vis DRS pada panjang gelombang 381 nm yang mengkonfirmasi keberadaan senyawa KR dalam kerangka ZIF-8.

B. Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan optimasi kondisi enkapsulasi agar jumlah senyawa yang masuk dalam ZIF-8 dapat meningkat. Selain itu, material hasil enkapsulasi perlu dilakukan uji lebih lanjut dalam aplikasi yang sesuai untuk melihat kinerja dari fotosensitizer hasil enkapsulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelhamid, H. N., El-zohry, A. M., Cong, J., Thersleff, T., Karlsson, M., Kloo, L., & Zou, X. (2019). *Towards implementing hierarchical porous zeolitic imidazolate frameworks in dye-sensitized solar cells*. *Ic*, 5–12.
- Abou Khalil, Z., Del Angel, R., Mouchaham, G., Serre, C., Daturi, M., & El-Roz, M. (2024). Photocatalytic water splitting reaction: The pathway from semiconductors to MOFs. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 60–61(October). <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2024.100680>
- Agustin, D. A., & Wibowo, A. A. (2021). Teknologi Enkapsulasi : Teknik Dan Aplikasinya. *Jurnal Teknologi Separasi*, 7(9), 202–209.
- Al-amin, K., & Bhuiyan, R. (2025). *Nanoscale Advances Fourier transform infrared spectroscopic technique for analysis of inorganic materials : a review*. 6677–6702. <https://doi.org/10.1039/d5na00522a>
- Aslan, E., & Mohamed, G. sanli. (2025). *Lapatinib-Loaded ZIF - 8 Nanoparticles : A Multifunctional Drug Delivery System with Anticancer , Antibacterial , and Antioxidant Properties*. <https://doi.org/10.1021/acsomega.5c03165>
- Attwa, M., Said, A., Yasser, M. E., Shaer, E., & Elbasuney, S. (2024). Bespoke Energetic Zeolite Imidazolate Frameworks-8 (ZIF-8)/ Ammonium Perchlorate Nanocomposite : A Novel Reactive Catalyzed High Energy Dense Material with Superior Decomposition Kinetics. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 34(1), 401–418. <https://doi.org/10.1007/s10904-023-02834-2>
- Banerjee, R., Phan, A., Wang, B., Knobler, C., Furukawa, H., O’Keeffe, M., & Yaghi, O. M. (2008). High-throughput synthesis of zeolitic imidazolate frameworks and application to CO₂ capture. *Science*, 319(5865), 939–943. <https://doi.org/10.1126/science.1152516>
- Behera, D., Priyadarshini, P., & Parida, K. (2025). ZIF-8 metal-organic frameworks and their hybrid materials: emerging photocatalysts for energy and environmental applications. *Dalton Transactions*, 54(7), 2681–2708. <https://doi.org/10.1039/d4dt02662d>
- Bergaoui, M., Khalfaoui, M., Awadallah-f, A., & Al-muhtaseb, S. (2021). A review of the features and applications of ZIF-8 and its derivatives for separating CO₂ and isomers of C₃ - and C₄ - hydrocarbons. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 96(June), 104289. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2021.104289>
- Brabha, M. J., & Malbi, M. A. (2023). Synthesis , characterization and biological activity of zinc complexes of ethylenediamine and its derivatives. *Chemical Physics Impact*, 7(January), 100248. <https://doi.org/10.1016/j.chphi.2023.100248>
- Carrasco, S. (2018). Metal-organic frameworks for the development of biosensors: A current overview. *Biosensors*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/bios8040092>
- Chauhan, A., & Chauhan, P. (2014). Powder XRD Technique and its Applications in Science and Technology. *Analytical & Bioanalytical Techniques*, 5(5). <https://doi.org/10.4172/2155-9872.1000212>

- Chirra, S., Wang, L., Aggarwal, H., & Tsai, M. (2021). Rapid synthesis of a novel nano-crystalline mesoporous faujasite type metal- organic framework , ZIF-8 catalyst , its detailed characterization , and NaBH₄ assisted enhanced catalytic Rhodamine B degradation, *Materials Today Communications*, 26(February), 101993. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101993>
- Dal Sasso, G., Asscher, Y., Angelini, I., Nodari, L., & Artioli, G. (2018). A universal curve of apatite crystallinity for the assessment of bone integrity and preservation. *Scientific Reports*, 8(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30642-z>
- Doraghi, Z., Alinezhad, H., & Ahmadi, A. (2025). *OPEN A copper-doped ZIF-8 : a high- performance catalyst for eco- friendly Ullmann and Biginelli reactions*. 1–21.
- Dummert, V. S., Dorschmidt, S., Bloehs, T., Rodewald, K., & Caviglia, M. (2025). *Design and characterisation of ZIF-8/alginate composites as drug carrier systems*. 13(34). <https://doi.org/10.1039/d5tb00614g>
- Escudero, A., Carrillo-carrio, C., Romero-ben, E., Rosales-barrios, C., & Carrillo-carrio, C. (2021). Photodynamic therapy : photosensitizers and nanostructures. *Materials Chemistry*, 5(April), 3788–3812. <https://doi.org/10.1039/d0qm00922a>
- Fatimah, S., Ragadhita, R., Fitria, D., Husaeni, A., Bayu, A., & Nandiyanto, D. (2022). How to Calculate Crystallite Size from X-Ray Diffraction (XRD) using Scherrer Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 2(1), 65–76.
- García-Palacín, M., Martínez, J. I., Paseta, L., Deacon, A., Johnson, T., Malankowska, M., Téllez, C., & Coronas, J. (2020). Sized-Controlled ZIF-8 Nanoparticle Synthesis from Recycled Mother Liquors: Environmental Impact Assessment. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(7), 2973–2980. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b07593>
- 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*. 1–101.
- Han, Z., Yang, Y., Rushlow, J., Huo, J., Liu, Z., Hsu, Y. C., Yin, R., Wang, M., Liang, R., Wang, K. Y., & Zhou, H. C. (2024). Development of the design and synthesis of metal-organic frameworks (MOFs) - from large scale attempts, functional oriented modifications, to artificial intelligence (AI) predictions. *Chemical Society Reviews*, 54(1), 367–395. <https://doi.org/10.1039/d4cs00432a>
- Hanif, Q. A., Nugraha, R. E., & Lestari, W. W. (2018). Kajian Metal–Organic Frameworks (MOFS) sebagai Material Baru Pengantar Obat. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 14(1), 16. <https://doi.org/10.20961/alchemy.14.1.8218.16-36>
- Hosono, N., & Uemura, T. (2021). *Development of Functional Materials via Polymer Encapsulation into Metal?Organic Frameworks*. 94, 2139–2148. <https://doi.org/10.1246/bcsj.20210191>
- Hu, L., Chen, L., Peng, X., Zhang, J., Mo, X., Liu, Y., & Yan, Z. (2020). Bifunctional

- metal-doped ZIF-8: A highly efficient catalyst for the synthesis of cyclic carbonates from CO₂ cycloaddition. *Microporous and Mesoporous Materials*, 299(January), 110123. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2020.110123>
- James, J. B., & Lin, Y. S. (2017). Thermal stability of ZIF-8 membranes for gas separations. In *Journal of Membrane Science* (Vol. 532). <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.02.017>
- Katonna, E. . (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 Sintesis Senyawa Asam 2-(4-Okso-5-((2-Okso-2h-Kromen-6-Il)Metilen)-2-Tioksotiazolidin-3-Il)Asetat. Skripsi. *Skripsi*.
- Khairul, A., Kamar, A., Ju, L., Tze, C., Tjin, G., & Rao, V. (2022). Rhodanine scaffold: A review of antidiabetic potential and structure – activity relationships (SAR). *Medicine in Drug Discovery*, 15(December 2021).
- Khakbiz, M., Chagami, M., Salahi, F., & Delshad, P. (2026). Synthesis and release studies of ZIF-8 nanoparticles for ascorbic acid delivery in cancer therapy. *Journal of Molecular Structure*, 1353(P1), 144516. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2025.144516>
- Kim, D., Dang, vinh Q., & Teets, T. (2024). Improved transition metal photosensitizers to drive advances in photocatalysis. *Chemical Science*, 15, 77–94. <https://doi.org/10.1039/d3sc04580c>
- Li, D., Yadav, A., Zhou, H., Roy, K., Thanasekaran, P., & Lee, C. (2024). *Advances and Applications of Metal-Organic Frameworks (MOFs) in Emerging Technologies : A Comprehensive Review*. 2300244, 1–32. <https://doi.org/10.1002/gch2.202300244>
- Li, N., Zhang, Y., Xu, Y., Liu, X., Ma, W., & Xiang, T. (2023). An ultrasensitive label-free fluorescent aptamer sensor based on pH-gated release coumarin for detect HER2. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 296(March).
- Liu, T., Chen, L., Wang, X., & Cooper, A. I. (2024). Screening potential dye sensitizers for water splitting photocatalysts using a genetic algorithm †. *PCCP*, 26, 16847–16858. <https://doi.org/10.1039/d4cp01487a>
- Meng, X., Guan, J., & Lai, S. (2022). RSC Advances combining chemophotodynamic therapy for excellent antibacterial activity †. *RSC Advances*, 12, 10005–10013. <https://doi.org/10.1039/D1RA09450E>
- Mishra, P., Saxena, S., Singh, N., Siddique, A., & Joshi, S. (2024). Structural and mechanistic insights into the selective adsorption by Metal–Organic Frameworks. In *Discover Chemistry* (Vol. 1, Issue 1). Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/s44371-024-00039-1>
- Molina, P., Tarraga, A., & Oton, F. (2012). Imidazole derivatives: A comprehensive survey of their recognition properties. *Organic & Biomolecular Chemistry*, 10, 1711–1724. <https://doi.org/10.1039/c2ob06808g>
- Mondal, S., Ashikuzzaman, S., & Islam, S. (2023). Morphological evaluation and boosted photocatalytic activity of N-doped ZnO nanoparticles prepared via Co-precipitation

- method. *Heliyon*, 9(10), e20948. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20948>
- Morales, A. E., Mora, S., & Pal, U. (2007). Use of diffuse reflectance spectroscopy for optical characterization of un-supported nanostructures. *Revista Mexicana De Fisica*, 53, 18–22.
- Mphuthi, L. E., Erasmus, E., & Langner, E. H. G. (2021). *Metal Exchange of ZIF - 8 and ZIF-67 Nanoparticles with Fe (II) for Enhanced Photocatalytic Performance. Ii*. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c04142>
- Neubertova, V., Svorcik, V., & Kolska, Z. (2024). *Amino-modified ZIF-8 for enhanced CO 2 capture: Synthesis , characterization and performance evaluation*. 366(September 2023). <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2023.112956>
- Park, K. S., Ni, Z., Cote, A. P., Choi, J. Y., Huang, R., Uribe-romo, F. J., Chae, H. K., Park, K. S., Ni, Z., Co, A. P., Keeffe, M. O., & Yaghi, O. M. (2006). *Exceptional chemical and thermal stability of zeolitic imidazolate frameworks*. 8–13.
- Pasieczna-patkowska, S., & Cichy, M. (2025). *Application of Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy in Characterization of Green Synthesized Nanoparticles*. 1–36.
- 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*, 8(7), 6316–6325. <https://doi.org/10.1021/acsabm.5c00787>
- Pouramini, Z., Mousavi, S. M., Babapoor, A., Hashemi, S. A., Lai, C. W., Mazaheri, Y., & Chiang, W. H. (2023). Effect of Metal Atom in Zeolitic Imidazolate Frameworks (ZIF-8 & 67) for Removal of Dyes and Antibiotics from Wastewater: A Review. *Catalysts*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/catal13010155>
- Sadiq, S., Khan, I., Humayun, M., Wu, P., Khan, A., Khan, S., Khan, A., Khan, S., Alanazi, A. F., & Bououdina, M. (2023). Synthesis of Metal – Organic Framework-Based ZIF-8 @ ZIF-67 Nanocomposites for Antibiotic Decomposition and Antibacterial Activities. *ACS Omega*, 8, 49244–49258. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c07606>
- Sakamoto, H., Ito, A., & Ohtani, M. (2022). Impact of nanosizing a host matrix based on a metal–organic framework on solid-state fluorescence emission and energy transfer. *Material Advances*, 3(4). <https://doi.org/10.1039/d1ma01056e>
- Saqib, M., Zafar, A., & Waqas, M. (2021). Phyto-reflexive Zinc Oxide Nano-Flowers synthesis : An advanced photocatalytic degradation and infectious therapy. *Journal of Materials Research and Technology*, 13, 2375–2391. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.05.107>
- Sari, N. W., Fajri, M., Terpadu, L., Unggul, U. E., Barat, J., & Jeruk, K. (2018). *Analisis Fitokimia dan Gugus Fungsi Dari Ekstrak Etanol Pisang Goroho Merah ((MUSA ACUMINATE (L). 2*.
- Sharma, D., Dhayalan, V., Manikandan, C., & Dandela, R. (2016). Recent Methods for Synthesis of Coumarin Derivatives and Their New Applications. *Intech*, 121–144.

- Skoog, D. A., Holler, J. H., & Crouch, R. S. (2018). *Instrumental Analysis Principles*.
- Suryani, O., Shigasino Yuta, Mulyana, Yan, J., Kaneko, M., Hoshi, T., Shigaki, K., & Kubo, Y. (2017). *A Near-infrared organic photosensitizer for use in dye-sensitized photoelectrochemical water splitting Okta*. <https://doi.org/10.1039/C7CC02730C>
- Szczepański, J., Tuszewska, H., & Trotsko, N. (2022). Anticancer Profile of Rhodanines: Structure–Activity Relationship (SAR) and Molecular Targets—A Review. *Molecules*, 27(12). <https://doi.org/10.3390/molecules27123750>
- Tiwari, A., Singh, A., Garg, N., & Randhawa, J. K. (2017). Curcumin encapsulated zeolitic imidazolate frameworks as stimuli responsive drug delivery system and their interaction with biomimetic environment. *Scientific Reports*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12786-6>
- Varangane, S., Vennapoosa, C. S., Prabhu, Y. T., & Pal, U. (2022). *In situ synthesis of Cu - doped ZIF - 8 for efficient photocatalytic water splitting*. July. <https://doi.org/10.1002/aoc.6815>
- 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. <https://doi.org/10.1039/d5qi00858a>
- Wagner, B. D. (2009). The use of coumarins as environmentally-sensitive fluorescent probes of heterogeneous inclusion systems. *Molecules*, 14(1), 210–237. <https://doi.org/10.3390/molecules14010210>
- Wan, Z., Jia, C., Wang, Y., & Yao, X. (2017). A Strategy to Boost the Efficiency of Rhodanine Electron Acceptor for Organic Dye: From Nonconjugation to Conjugation. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 9(30), 25225–25231. <https://doi.org/10.1021/acsami.7b04233>
- Waskasi, M. M., Hashemianzadeh, S. M., Setare, O., & Sarhangi, M. (2012). Computational model of hydrogen production by Coumarin-dye-sensitized water splitting to absorb the visible light in a local electric field. *Energy Conversion and Management*, 62, 154–164. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.03.014>
- Xu, X., Ma, M., Sun, T., Zhao, X., & Zhang, L. (2023). Luminescent Guests Encapsulated in Metal – Organic Frameworks for Portable Fluorescence Sensor and Visual Detection Applications : A Review. *Biosensors*, 13, 435.
- Yang, X., Ji, Y., Jian, M., Meng, N., Zhu, Y., Tan, C., & Li, H. (2025). Fabrication of metal-organic frameworks macro-structures for adsorption applications in water treatment: A review. *Separation and Purification Technology*, 354(P7), 129376. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.129376>
- Yusuf, V. F., Malek, N. I., & Kailasa, S. K. (2022). Review on Metal-Organic Framework Classification, Synthetic Approaches, and Influencing Factors: Applications in Energy, Drug Delivery, and Wastewater Treatment. *ACS Omega*, 7(49), 44507–44531. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c05310>
- Zhang, H., Liu, X., Gong, Y., Yu, T., & Zhao, Y. (2021). Synthesis and characterization of SFX-based coumarin derivatives for OLEDs. *Dyes and*

Pigments, 185(PA), 108969. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2020.108969>

Zhang, J., Chen, Z., Shi, P., Xu, G., & Zhao, J. (2025). *Self-assembled metal-based photosensitizers for photodynamic therapy : Mechanisms , applications , and future perspectives*. 549(October 2025).

Zheng, Z., Rong, Z., Nguyen, H. L., & Yaghi, O. M. (2023). Structural Chemistry of Zeolitic Imidazolate Frameworks. *Inorganic Chemistry*, 62, 20861–20873. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.3c02322>

Zou, D., Liu, D., & Zhang, J. (2018). From Zeolitic Imidazolate Framework-8 to Metal-Organic Frameworks (MOFs): Representative Substance for the General Study of Pioneering MOF Applications. *Energy and Environmental Materials*, 1(4), 209–220. <https://doi.org/10.1002/eem2.12018>