

**SINTESIS SENYAWA 7-METIL-2H-KROMEN-2-ON
TERENKAPSULASI ZEOLITIC IMIDAZOLATE
FRAMEWORK-8 (ZIF-8)**

SKRIPSI



Oleh

**SINDYA RAHMATUL NURISA
NIM/TM. 21036118/2021**

**PROGRAM STUDI KIMIA
DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2025**

**SINTESIS SENYAWA 7-METIL-2H-KROMEN-2-ON
TERENKAPSULASI ZEOLITIC IMIDAZOLATE
FRAMEWORK-8 (ZIF-8)**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains*



Oleh

**SINDYA RAHMATUL NURISA
NIM/TM. 21036118/2021**

**PROGRAM STUDI KIMIA
DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2025**

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Sindya Rahmatul Nurisa
TM/NIM : 2021/21036118
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

SINTESIS SENYAWA 7-METIL-2H-KROMEN-2-ON TERENKAPSULASI ZEOLITIC IMIDAZOLATE FRAMEWORK-8 (ZIF-8)

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

Padang, November 2025

Tim Penguji

No	Jabatan	Nama	Tanda Tangan
1	Ketua	Okta Suryani, S.Pd., M.Sc., Ph.D	1. 
2	Anggota	Melindra Mulia, M.Si	2. 
3	Anggota	Dr. Arif Juliari Kusnanda, M.Si	3. 

PERSETUJUAN SKRIPSI

SINTESIS SENYAWA 7-METIL-2H-KROMEN-2-ON TERENKAPSULASI *ZEOLITIC IMIDAZOLATE FRAMEWORK-8 (ZIF-8)*

Nama : Sindya Rahmatul Nurisa
NIM : 21036118
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, November 2025

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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini

Nama : Sindya Rahmatul Nurisa
NIM : 21036118
Tempat/Tanggal Lahir : Lubuk Basung/ 29 Juli 2002
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : SINTESIS SENYAWA 7-METIL-2H-KROMEN-2-ON
TERENKAPSULASI ZEOLITIC IMIDAZOLATE
FRAMEWORK-8 (ZIF-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/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, November 2025
Yang Menyatakan



Sindya Rahmatul Nurisa
NIM. 21036118

Sintesis Senyawa 7-metil-2H-kromen-2-on Terenkapsulasi *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8)

Sindya Rahmatul Nurisa

ABSTRAK

Senyawa fotosensitizer memiliki kemampuan menyerap energi cahaya dan mentransfernya ke molekul lain untuk memicu reaksi kimia. Kumarin merupakan salah satu fotosensitizer organik yang memiliki fluoresensi tinggi, stabilitas cahaya yang baik, dan toksisitas rendah. Namun, keterbatasan stabilitas fotokimia kumarin di bawah paparan cahaya intens menghambat kinerjanya. Penelitian ini bertujuan mensintesis dan mengarakterisasi senyawa 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8). Sintesis dilakukan dengan metode *one-pot nanoprecipitation* menggunakan bahan seng nitrat heksahidrat, 2-metilimidazol, dan 7-metil kumarin dalam pelarut metanol. Produk hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan spektroskopi FTIR dan spektroskopi UV-Vis DRS. Hasil FTIR menunjukkan adanya gugus C=O karbonil dan C–O ester khas kumarin serta gugus Zn–N yang menandakan pembentukan struktur ZIF-8. Analisis UV-Vis DRS menunjukkan serapan maksimum pada panjang gelombang 287 nm dengan nilai *band gap* sebesar 3,34 eV.

Kata kunci: Kumarin, ZIF-8, Fotosensitizer

Synthesis of 7-methyl-2H-chromen-2-one Compound Encapsulated Zeolitic Imidazolate Framework-8 (Zif-8)

Sindya Rahmatul Nurisa

ABSTRACT

Photosensitizer compounds have the ability to absorb light energy and transfer it to other molecules to trigger chemical reactions. Coumarin is one of the organic photosensitizers that has high fluorescence, good light stability, and low toxicity. However, the limited photochemical stability of coumarin under intense light exposure hinders its performance. This study aims to synthesize and characterize the compound 7-methyl-2H-chromen-2-one encapsulated Zeolitic Imidazolate Framework-8 (ZIF-8). The synthesis was carried out by the one-pot nanoprecipitation method using zinc nitrate hexahydrate, 2-methylimidazole, and 7-methyl coumarin in methanol solvent. The synthesized products were characterized using FTIR spectroscopy and UV-Vis DRS spectroscopy. The FTIR results showed the presence of C=O carbonyl and C–O ester groups typical of coumarin as well as Zn–N groups indicating the formation of the ZIF-8 structure. UV-Vis DRS analysis shows maximum absorption at a wavelength of 287 nm with a band gap value of 3.34 eV.

Keywords: Coumarin, ZIF-8, Photosensitizer

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Sintesis Senyawa 7-metil-2H-kromen-2-on Terenkapsulasi *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8)”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan mata kuliah Tugas Akhir. Penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Ibu Okta Suryani, S.Pd., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing dan Penasehat Akademik.
2. Ibu Melindra Mulia, M.Si. selaku Dosen Penguji pertama.
3. Bapak Arif Juliari Kusnanda S.Si., M.Si. selaku Dosen Penguji kedua.
4. Bapak Budhi Oktavia, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Koordinator Program Studi Kimia sekaligus Kepala Departemen Kimia.
5. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang yang telah membantu dan meluangkan waktunya untuk memberikan ilmu kepada penulis.
6. Kedua orang tua yang senantiasa memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Teman-teman yang selalu memberika dukungan dan arahan kepada penulis dalam proses mengerjakan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, untuk kesempurnaan skripsi ini dibutuhkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sehingga skripsi ini dapat memberikan manfaat serta dapat menjadi dasar untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

Padang, Oktober 2025

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
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	5
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Sintesis Senyawa MOF (<i>Metal–Organic Framework</i>)	7
B. Fotosensitizer	8
C. Kumarin	11
D. <i>Zeolitic Imidazolate Framework-8 (ZIF-8)</i>	14
E. Karakterisasi	16
1. <i>Spectroscopy Fourier Transformed Infrared (FTIR)</i>	16
2. <i>Spectroscopy UV-Vis Diffuse Reflectance (UV-Vis DRS)</i>	18
BAB III METODE PENELITIAN	20
A. Tempat dan Waktu Penelitian	20
B. Objek Penelitian	20
C. Alat dan Bahan	20
D. Prosedur Kerja	21
E. Karakterisasi	21
1. <i>Spectroscopy Fourier Transformed Infrared (FTIR)</i>	21
2. <i>Spectroscopy UV-Vis Diffuse Reflectance (UV-Vis DRS)</i>	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23

A. Sintesis Senyawa 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi <i>Zeolitic Imidazolate Framework-8</i> (ZIF-8).	23
B. Karakterisasi senyawa 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi <i>Zeolitic Imidazolate Framework-8</i> (ZIF-8).	25
BAB V PENUTUP.....	33
A. Kesimpulan	33
B. Saran.....	34
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN.....	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi <i>Zeolitic Imidazolate Framework-8</i> (ZIF-8).....	3
Gambar 2. Disain 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi <i>Zeolitic Imidazolate Framework-8</i> (ZIF-8) dengan menggunakan aplikasi Vesta	4
Gambar 3. Proses Pembentukan MOF (<i>Metal–Organic Framework</i>) Secara Umum (Ristianingsih & Suhascaryo, 2020)	8
Gambar 4. Struktur Kumarin.....	12
Gambar 5. Modifikasi Struktur Kumarin	13
Gambar 6. 3D ZIF-8 (Bergaoui <i>et al.</i> , 2021)	14
Gambar 7. Struktur ZIF-8 (Subhadarshini & Nanda, 2025)	15
Gambar 8. Hasil Sintesis 7-metil-2H-kromen-2-on Terenkapsulasi <i>Zeolitic Imidazolate Framework-8</i> (ZIF-8)	23
Gambar 9. Perbandingan Spektrum FTIR dari Reaktan dan Produk Sintesis.....	25
Gambar 10. Spektrum FTIR 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi <i>Zeolitic Imidazolate Framework-8</i> (ZIF-8).	26
Gambar 11. Spektrum FTIR yang telah dilaporkan oleh Li <i>et al.</i> , (2023)	28
Gambar 12. A) Spektrum serapan 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi	30
Gambar 13. A) Tauc Plot dari Senyawa 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi <i>Zeolitic Imidazolate Framework-8</i> (ZIF-8) B) Tauc Plot Zif-8 murni	32

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Serapan panjang gelombang modifikasi kumarin (<i>Cisse et al., 2020</i>)....	13
Tabel 2. Nilai pita absorpsi FTIR pada gugus fungsi (<i>Skoong et al., 2017</i>).....	17
Tabel 3. Daerah serapan FTIR 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi Zeolitic Imidazolate Framework-8 (ZIF-8).	26

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan reagen	39
Lampiran 2. Skema kerja sintesis senyawa 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi <i>Zeolitic Imidazolate Framework-8</i> (ZIF-8).....	41
Lampiran 3. Gambar bahan dan proses sintesis 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi <i>Zeolitic Imidazolate Framework-8</i> (ZIF-8).....	43

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Fotosensitizer merupakan suatu senyawa yang mampu menyerap energi cahaya dan mentransfer energi tersebut ke molekul lain. Beberapa senyawa fotosensitizer yang telah digunakan karena sifatnya yang ramah lingkungan dan bebas logam seperti porfirin, ftalosianin, trifenilamin, fenotiazin, kumarin, dan karbazol. Senyawa fotosensitizer telah digunakan dalam berbagai aplikasi, di antaranya terapi fotodinamik (PDT), fotokatalis lingkungan, fotokatalisis, dan antibakteri (Makino *et al.*, 2021)

Dalam upaya mencari fotosensitizer yang efisien dan aman, senyawa kumarin menarik perhatian besar. Kumarin merupakan golongan zat warna organik yang memiliki hasil kuantum fluoresensi tinggi, stabilitas cahaya yang baik, dan toksisitas rendah. Karakteristik kumarin inilah menjadikannya kandidat unggul untuk digunakan sebagai senyawa fotosensitizer. Meski demikian, beberapa turunan kumarin memiliki ketahanan cahaya dan penyerapan cahaya yang terbatas jika terkena paparan cahaya yang intens, hal ini dapat menyebabkan penurunan stabilitasnya melalui proses degradasi fotokimia (Chanda *et al.*, 2023)

Guna menjaga kestabilan kumarin, dilakukannya penggabungan kumarin dengan material berpori kristalin yang dikenal sebagai *Metal-Organic Frameworks* (MOF) khususnya *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8) sebagai material dasar. ZIF-8 menawarkan keunggulan yang signifikan, seperti struktur yang teratur, luas permukaan yang tinggi, dan stabilitas yang baik, sehingga menjadikannya

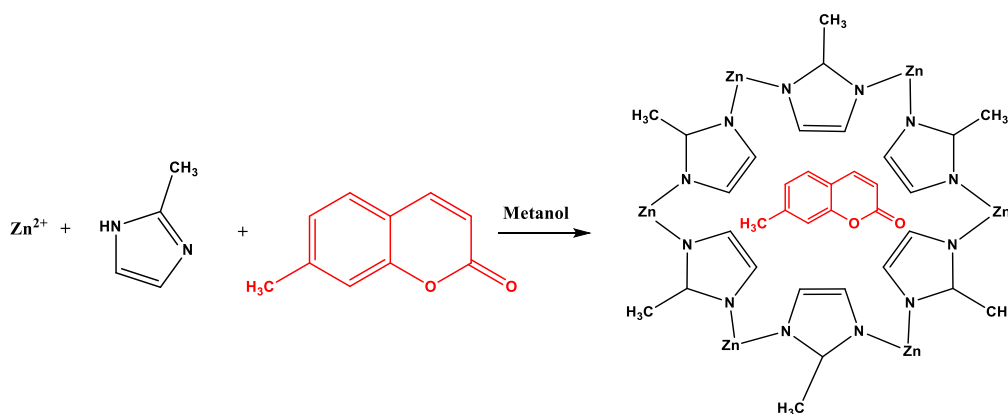
kandidat yang ideal untuk dimodifikasi menjadi sistem fotokatalitik yang unggul. Berkat keunggulan ini, ZIF-8 telah diterapkan di berbagai bidang, termasuk fotokatalisis, adsorpsi, elektronik, dan aplikasi medis (Behera *et al.*, 2025)

Meskipun keunggulan yang ditawarkan ZIF-8 sangat signifikan, ZIF-8 murni memiliki keterbatasan kinerja yang membatasi dalam fotokatalisis, seperti respons cahaya tampak yang rendah dan pembawa muatan yang terbatas. Hal ini disebabkan ZIF-8 memiliki celah pita (*band gap*) yang lebar, yaitu sekitar 5,0 eV, yang menyebabkan ZIF-8 murni hanya efektif pada sinar UV (Varangane *et al.*, 2022)

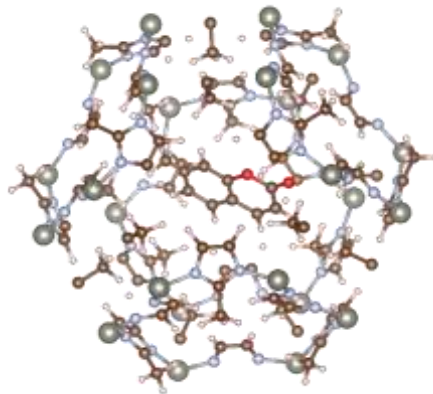
Oleh karena itu, diperlukan strategi untuk mengoptimalkan penyerapan cahayanya, yaitu dengan mengkombinasikan ZIF-8 dengan senyawa fotosensitizer (Makino *et al.*, 2021). Pendekatan ini terbukti efektif, seperti pada penelitian yang telah dilakukan oleh Varangane *et al.*, (2022), ia menggunakan ZIF-8 yang di doping dengan Cu untuk *water splitting* dan menunjukkan pergeseran ke area *visibel* dengan serapan maksimum sebesar 490 nm. Sementara itu, Ayyob *et al.*, (2023) menggunakan CdS-D@ZIF-8, dalam upaya meningkatkan produksi H₂ fotokatalitik dan menyerap cahaya yang kuat hingga sekitar 550 nm. Meskipun senyawa fotosensitizer yang telah di laporkan menunjukkan serapan yang baik, akan tetapi terdapat kekhawatiran terkait toksisitas bahan tersebut.

Pada tahun 2023, Li *et al.*, melakukan penelitian menggunakan kumarin yang digabungkan dengan ZIF-8 yang digunakan untuk mengembangkan sensor baru yang sangat sensitif untuk mendeteksi protein HER2. Pada penelitiannya, ia berhasil menciptakan sensor fluoresen yang berbasis kumarin (ZIF-8@COU-

HER2-Apt) dan memperoleh puncak serapan pada panjang gelombang 260 nm. Tidak hanya itu Sampaio *et al.*, (2021) juga melakukan penelitian menggunakan skopoletin (7-hidroksi-6-metoksikromen-2-on, SC) merupakan senyawa kumarin turunan fenolik yang ditemukan pada tanaman obat. Yang mana ia melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan sistem penghantaran obat dengan menggunakan ZIF-8 pada panjang gelombang maksimum 344 nm. 7-metil-2H-kromen-2-on merupakan senyawa kumarin yang memiliki fluoresensi yang tinggi dan tidak toksik, namun belum ada penelitian yang melaporkan enkapsulasi 7-metil-2H-kromen-2-on dengan ZIF-8. Oleh karena itu peneliti tertarik melakukan sintesis dengan menggunakan kumarin yang di gabungkan dengan ZIF-8, dengan struktur baru yaitu 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8).



Gambar 1. 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8)



Gambar 2. Disain 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8) dengan menggunakan aplikasi Vesta

Gambar diatas menunjukkan struktur disain dari senyawa 7-metil-2H-kromen-2-on (distrukturkan dengan atom C coklat, O merah, dan H putih) yang berhasil terenkapsulasi di dalam rongga kristal material *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8), di mana ZIF-8 (direpresentasikan oleh atom Zn abu-abu besar dan ligan 2-metilimidazol) berfungsi sebagai kerangka berpori pelindung. Struktur ini divisualisasikan menggunakan aplikasi Vesta yang biasa digunakan untuk memodelkan dan menganalisis struktur kristal dan molekul.

B. Identifikasi Masalah

1. Keterbatasan stabilitas fotokimia serta kemampuan penyerapan cahaya di bawah paparan cahaya intens menyebabkan menurunnya kinerja fotosensitizer dari kumarin.
2. Material ZIF-8 murni memiliki keterbatasan dalam merespon cahaya akibat nilai *band gap* yang tinggi
3. Belum pernah dilakukannya sintesis 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8)

C. Batasan Masalah

1. Sintesis senyawa 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8)
2. Karakterisasi senyawa 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8) dengan FTIR dan spektroskopi UV-Vis DRS

D. Rumusan Masalah

1. Bagaimana mensintesis senyawa 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8)
2. Bagaimana hasil karakterisasi dari senyawa 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8)

E. Tujuan Penelitian

1. Mensintesis senyawa 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8)
2. Mengetahui hasil karakterisasi dari senyawa 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8) dengan menggunakan spektroskopi FTIR dan spektroskopi Uv-Vis DRS

F. Manfaat Penelitian

1. Mengetahui cara mensintesis senyawa 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8)
2. Senyawa hasil sintesis, yaitu 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8) dapat diaplikasikan dalam

berbagai bidang seperti, terapi fotodinamik (PDT), *water splitting*, antibakteri dan fotokatalis pada penelitian selanjutnya.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Penelitian ini telah berhasil dilakukan dengan menggunakan senyawa 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8) dengan metode *one-pot Nanoprecipitation*. Sintesis dilakukan dengan mencampurkan larutan seng nitrat, 7-metil kumarin, dan 2-metilimidazol dalam metanol, menghasilkan nanopartikel ZIF-8 yang berhasil menjebak molekul kumarin di dalamnya.
2. Karakterisasi menggunakan spektroskopi FTIR berhasil mengonfirmasi munculnya keberadaan gugus fungsi khas dari kumarin yaitu C=O karbonil dan C-O ester, serta gugus fungsi Zn-N yang mengindikasikan adanya ikatan antar ion logam seng dan ligan 2-metilimidazol pembentuk ZIF-8.

Karakterisasi dengan spektroskopi UV-Vis DRS menunjukkan bahwa senyawa hasil sintesis memiliki serapan maksimum pada panjang gelombang 287 nm. Hasil serapan ini meningkat dibandingkan dengan ZIF-8 murni yang hanya menyerap pada 237

nm. Selain itu, nilai celah pita (*band gap*) hasil sintesis menurun menjadi 3,34 eV dari nilai yang telah di laporkan 3,81 eV.

B. Saran

Perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut terhadap senyawa 7-metil-2H-kromen-2-on terenkapsulasi *Zeolitic Imidazolate Framework-8* (ZIF-8) untuk aplikasi seperti terapi fotodinamik (PDT), *water splitting*, antibakteri dan fotokatalis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abriyani, E., Syalomita, D., Puji Apriani, I., Puspawati, I., Adiputra, S., & Toguria Nadeak, Z. (2024). Pengaruh Pengolahan Termal Terhadap Struktur Molekul Material Polimer Studi Dengan Spektroskopi FTIR. *Journal Of Social Science Research*, 4.
- Attwa, M., Said, A., ElGamal, M., El-Shaer, Y., & 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), 387–400. <https://doi.org/10.1007/s10904-023-02834-2>
- Ayyob, M., Sun, Z., Liu, Y. Y., Wang, Y., & Wang, A. (2023). Performance of amine-modified CdS-D@ZIF-8 nanocomposites for enhanced photocatalytic H₂ evolution. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(66), 25645–25659. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.03.304>
- Behera, D., Priyadarshini, P., & Parida, K. (2025). ZIF-8 metal-organic frameworks and their hybrid materials: emerging photocatalysts for energy and environmental applications. In *Dalton Transactions* (Vol. 54, Issue 7, pp. 2681–2708). Royal Society of Chemistry. <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. In *Journal of Natural Gas Science and Engineering* (Vol. 96). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2021.104289>
- Bethi, B., Radhika, G. B., Thang, L. M., Sonawane, S. H., & Boczkaj, G. (2023). Photocatalytic decolourization of Rhodamine-B dye by visible light active ZIF-8/BiFeO₃ composite. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(10), 25532–25545. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20165-6>
- Binaeian, E., Maleki, S., Motaghedi, N., & Arjmandi, M. (2020). Study on the performance of Cd²⁺ sorption using dimethylethylenediamine-modified zinc-based MOF (ZIF-8-mmen): optimization of the process by RSM technique. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 55(15), 2713–2728. <https://doi.org/10.1080/01496395.2019.1655056>
- Chanda, N., Gonuguntla, S., Verma, S. K., Basak, A. K., Soujanya, Y., Ahmadipour, M., Bojja, S., & Pal, U. (2023). Shedding light on small molecule coumarin dyes for efficient photocatalytic hydrogen evolution. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(96), 37715–37724. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.09.108>

- Cisse, L., Djande, A., Capo-Chichi, M., Khonté, A., Bakhoum, J. P., Delattre, F., Yoda, J., Saba, A., Tine, A., & Aaron, J. J. (2020). Quantitative study of the substituent effects on the electronic absorption and fluorescence spectra of coumarins. *Journal of Physical Organic Chemistry*, 33(2). <https://doi.org/10.1002/poc.4014>
- Correia, J. H., Rodrigues, J. A., Pimenta, S., Dong, T., & Yang, Z. (2021). Photodynamic therapy review: Principles, photosensitizers, applications, and future directions. *Pharmaceutics*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13091332>
- Fajri, R. (2018). Metal Organic Framework (MOF): Sintesis Zeolitic Imidazolate Framework-8 (ZIF-8). In *CHEMICA: Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia Page* (Vol. 1, Issue 2).
- Fatima, S., Mansha, A., Asim, S., & Shahzad, A. (2022). Absorption spectra of coumarin and its derivatives. In *Chemical Papers* (Vol. 76, Issue 2, pp. 627–638). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s11696-021-01902-6>
- Haben, S., Kromwijk, J. J. G., Vollmer, I., & Weckhuysen, B. M. (2024). Operando UV–Vis diffuse reflectance spectroscopy insights into the methane dehydroaromatization reaction over Mo/H-ZSM-5 catalysts. *Journal of Catalysis*, 436. <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2024.115619>
- Jain, P. K., & Joshi, H. (2012). Coumarin: Chemical and pharmacological profile. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2(6), 236–240. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2012.2643>
- Kessel, D. (2019). Photodynamic therapy: A brief history. In *Journal of Clinical Medicine* (Vol. 8, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/jcm8101581>
- Li, N., Zhang, Y., Xu, Y., Liu, X., Ma, W., Xiang, T., Hou, C., & Huo, D. (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. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2023.122641>
- Lima, E., & Reis, L. V. (2023). Photodynamic Therapy: From the Basics to the Current Progress of N-Heterocyclic-Bearing Dyes as Effective Photosensitizers. In *Molecules* (Vol. 28, Issue 13). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/molecules28135092>
- Makino, K., Takuro, I., & Kubo, Y. (2021). A benzofuran[b]-fused BODIPY as an efficient sensitizer for photocatalytic hydrogen production. *Sustainable Energy and Fuels*, 5(14), 3676–3686. <https://doi.org/10.1039/d1se00387a>
- Makula, P., Pacia, M., & Macyk, W. (2018). How To Correctly Determine the Band Gap Energy of Modified Semiconductor Photocatalysts Based on UV-Vis

- Spectra. In *Journal of Physical Chemistry Letters* (Vol. 9, Issue 23, pp. 6814–6817). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcllett.8b02892>
- 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), 97–118. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>
- Ortega-Forte, E., Rovira, A., Gandioso, A., Bonelli, J., Bosch, M., Ruiz, J., & Marchán, V. (2021). COUPY Coumarins as Novel Mitochondria-Targeted Photodynamic Therapy Anticancer Agents. *Journal of Medicinal Chemistry*, 64(23), 17209–17220. <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.1c01254>
- Pan, J., Shao, X., Xu, X., Zhong, J., Hu, J., & Ma, L. (2020). Organic Dye Molecules Sensitization-Enhanced Photocatalytic Water-Splitting Activity of MoS₂ from First-Principles Calculations. *Journal of Physical Chemistry C*, 124(12), 6580–6587. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b11001>
- Pérez, M. E., Durantini, J. E., Milanese, 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>
- Pillai, P., Dharaskar, S., Sasikumar, S., & Khalid, M. (2019). Zeolitic imidazolate framework-8 nanoparticle: a promising adsorbent for effective fluoride removal from aqueous solution. *Applied Water Science*, 9(7). <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1030-9>
- Raptopoulou, C. P. (2021). Metal-organic frameworks: Synthetic methods and potential applications. In *Materials* (Vol. 14, Issue 2, pp. 1–32). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ma14020310>
- Ristianingsih, Y., & Suhascaryo, N. (2020). *Sintesis Dan Aplikasi Material Baru Kerangka Logam Organik*.
- Sampaio, P. A., Serafim, S. C., Nascimento Menezes, P. M., Valença Pereira, E. C., Sousa de Sá, P. G., Teixeira de Alencar Filho, J. M., Gonçalves de Oliveira Júnior, R., Rolim Neto, P. J., da Silva, J. A., & Rolim, L. A. (2021). Development and characterization of the zeolite imidazolate framework for a modified release of the drug scopolamine. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2020.102131>
- Shahbaz, M., Perween, A., Momal, U., Imran, M., Ul Hassan, M. H., Naeem, H., Mujtaba, A., Hussain, M., Alsagaby, S. A., Al Abdulmonem, W., Abdelgawad, M. A., El-Ghorab, A. H., Selim, S., Mostafa, E. M., & Al Jbawi, E. (2025). Recent Perspectives on Anticancer Potential of Coumarin Against Different Human Malignancies: An Updated Review. In *Food Science and Nutrition* (Vol. 13, Issue 1). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4696>

- Skoong, D., Holler, J., & Crouch, S. (2017). Principles of Instrumental Analysis (7th ed.). In *Cengage Learning* (Issue 3). <https://doi.org/10.1515/pac-2015-0305>
- Subhadarshini, A., & Nanda, B. (2025). Zeolitic imidazolium framework (ZIF-8) and their derivative-based material for antibacterial study: a comprehensive review. In *Discover Materials* (Vol. 5, Issue 1). Discover. <https://doi.org/10.1007/s43939-025-00229-3>
- Suryani, O., Higashino, Y., Sato, H., & Kubo, Y. (2019). Visible-to-near-infrared light-driven photocatalytic hydrogen production using dibenzo-bodipy and phenothiazine conjugate as organic photosensitizer. *ACS Applied Energy Materials*, 2(1), 448–458. <https://doi.org/10.1021/acsaem.8b01474>
- Varangane, S., Vennapoosa, C. S., Tiwari, A., Nataraj, S. K., Yendrapati, T. P., & Pal, U. (2022). In situ synthesis of Cu-doped ZIF-8 for efficient photocatalytic water splitting. *Applied Organometallic Chemistry*, 36(9). <https://doi.org/10.1002/aoc.6815>
- Wulan Sari, N., & Fajri, M. (2018). *Analisis Fitokimia dan Gugus Fungsi dari Ekstrak Etanol Pisang Goroho Merah (Musa Acuminata (L))* (Vol. 2, Issue 1).
- Zhang, Y., Jia, Y., & Hou, L. (2018). Synthesis of zeolitic imidazolate framework-8 on polyester fiber for PM2.5 removal. *RSC Advances*, 8(55), 31471–31477. <https://doi.org/10.1039/c8ra06414h>