

Sintesis 7-Hidroksi-4-Metilkumarin melalui Metode *Microwave-Assisted Pechmann Condensation* serta Uji Aktivitasnya sebagai Antioksidan menggunakan DPPH (1,1-Difenil-2-pikrilhidrazil)

Skripsi

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1**



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Zakia Amanda Firdaus

22106030054

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2026

HALAMAN PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-2212/Un.02/DST/PP.00.9/08/2026

Tugas Akhir dengan judul : SINTESIS 7-HIDROKSI-4-METILKUMARIN MELALUI METODE MICROWAVE-ASSISTED PECHMANN CONDENSATION SERTA UJI AKTIVITASNYA SEBAGAI ANTIOKSIDAN MENGGUNAKAN DPPH (1,1-DIFENIL-2-PIKRILHIDRAZIL)

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : ZAKIA AMANDA FIRDAUS
Nomor Induk Mahasiswa : 22106030054
Telah diujikan pada : Rabu, 26 Agustus 2026
Nilai ujian Tugas Akhir : A-

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

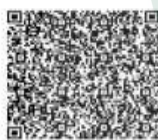
TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Prof. Dr. Susy Yunita Prabawati, M.Si.
SIGNED

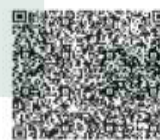
Valid ID: 6a8f9c86a7483



Penguji I

Dr. Imelda Fajriati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6a9103e23b900



Penguji II

Dr. rer. medic. Esti Wahyu Widowati, M.Si.,
M. Biotech
SIGNED

Valid ID: 6a9103ea3534e



Yogyakarta, 26 Agustus 2026
UIN Sunan Kalijaga

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6a9142e34eaf1

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Zakia Amanda Firdaus
NIM : 22106030054
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Sintesis 7-hidroksi-4-metilkumarin melalui Metode Microwave-Assisted Pechmann Condensation serta Uji Aktivitasnya sebagai Antioksidan menggunakan DPPH (1,1-Difenil-2-Pikrilhidrazil)”** merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 18 Agustus 2026



Zakia Amanda Firdaus
NIM. 22106030054

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lamp :

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Zakia Amanda Firdaus
NIM : 22106030054
Judul Skripsi : Sintesis 7-hidroksi-4-metilkumarin melalui Metode *Microwave-Assisted Pechmann Condensation* serta Uji Aktivitasnya sebagai Antioksidan menggunakan DPPH (*1,1-Difenil-2-Pikrilhidrazil*)

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 18 Agustus 2026

Pembimbing

Prof. Dr. Susy Yunita Prabawati, M.Si.
NIP: 19760621 199903 2 005

HALAMAN MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupan dia mendapat (pahala) dari (kebajikan) yang dikerjakannya dan mendapat (siksa) dari (kejahatan) yang diperbuatnya”

(Q.S Al-Baqarah:286)

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain).

Dan hanya kepada Tuhan mu lah engkau berharap”

(Q.S Al-Insyirah, 6-8)

“Selalu ada harga dalam sebuah proses. Nikmati saja lelah-lelah itu. Lebarkan lagi rasa sabar itu. Semua yang kau investasikan untuk menjadikan dirimu serupa yang kau impikan, mungkin tidak akan selalu berjalan lancar. Tapi gelombang-gelombang itu yang nanti akan bisa kau ceritakan”

(Boy Candra)

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT dan shalawat serta salam atas
Rasul-nya, kupersembahkan karya ini untuk:

Ibu dan Ayah tercinta,
Kakak-kakak saya dan seluruh keluarga besar
serta orang-orang yang aku cintai

Almamater kebanggaanku
Prodi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya yang telah memberikan kesehatan, kekuatan, dan kesempatan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini hingga selesai. Shalawat serta salam tidak lupa penulis haturkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, para sahabat, sehingga penulis dapat menyelesaikannya. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Sains Kimia pada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta. Skripsi ini disusun sebagai hasil dari penelitian yang dilaksanakan di Laboratorium Farmasi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan dan tidak akan selesai tanpa bantuan, dukungan, bimbingan dan do'a dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada segenap yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini. Terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta beserta jajaran yang telah membimbing, memberikan arahan, serta motivasi kepada penulis.
2. Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia yang telah membimbing penulis selama proses belajar dan berkembang.
3. Prof. Dr. Susy Yunita Prabawati, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah bersedia untuk meluangkan waktu dan pikiran untuk membimbing serta memberikan masukan dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini hingga dapat terselesaikan tepat pada waktunya. Terima kasih banyak atas waktu, ilmu, bimbingan serta perhatiannya yang telah diberikan.
4. Bapak Sudarlin, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa memberikan bimbingan, nasihat, serta dukungan selama masa perkuliahan. Semoga segala ilmu dan kebaikan yang diberikan menjadi amal jariyah.

5. Seluruh dosen di Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta atas ilmu pengetahuan selama penulis menempuh pendidikan.
6. Bapak wijayanto, Bapak Indra, Ibu Isnri serta seluruh tendik Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah membantu penulis selama penulis dalam proses belajar dan berkembang.
7. Laboran farmasi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta atas bantuan, arahan, dan fasilitas yang diberikan selama proses penelitian. Terima kasih atas kesediaan dan dukungan yang sangat membantu kelancaran penelitian ini.
8. Teristimewa buat cinta pertama dan pintu surgaku, kedua orangtua yang telah memberikan kasih sayang, nasihat, motivasi, dukungan serta do'a yang tiada henti kepada penulis selama melalui proses perkuliahan sampai saat ini. Walaupun tidak sempat merasakan duduk di bangku perkuliahan namun mereka berusaha bekerja keras demi memberikan kesempatan pendidikan yang lebih baik dari yang telah mereka lalui sebelumnya kepada anaknya, harapan yang selalu ada di setiap do'a yang penulis panjatkan "Semoga Allah SWT senantiasa melindungi dan menyayangi Ayah dan Ibu dalam setiap langkahnya dalam mendidik, membimbing, serta menuntun anak-anaknya yang telah Allah SWT titipkan". Terima kasih yang tak terhingga atas do'a, cinta, dan pengorbanan yang tiada henti.
9. Kedua kakak tercinta terima kasih atas do'a, dukungan, nasihat yang senantiasa diberikan dalam setiap langkah perjalanan penulis. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan kakak-kakak dengan keberkahan dan kebahagiaan, serta seluruh keluarga besar penulis yang selalu memberikan do'a, nasihat, semangat, dan dukungan baik secara moril maupun materil kepada penulis.
10. Teman-teman seperjuangan kimia angkatan 2022 (Xenon) yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Terima kasih telah menemani perjalanan perkuliahan dengan penuh kebersamaan, canda, serta suka dan duka. Terima kasih atas kenangan, kerja sama, dan semangat yang saling menguatkan. *See you on top, guys!*
11. Teman-teman KKN 117 kelompok Ponorogo 1, terima kasih telah berbagi kebersamaan, canda tawa, kerja sama, serta pengalaman selama masa

pengabdian. Terima kasih atas kenangan dan pengalaman berharga yang akan selalu dikenang.

12. Seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, yaitu pemilik nama M. Alif Fitra Firmansyah terima kasih telah kebersamaan penulis selama penyusunan skripsi dalam kondisi apapun dan terima kasih telah menjadi rumah yang tidak hanya berupa tanah dan bangunan.
13. Banyak pihak yang tak mampu penulis sebutkan satu per satu, namun setiap jejak kebaikan, uluran tangan, dan do'a tulus yang hadir di sepanjang proses ini adalah bagian penting yang tak tergantikan. Terima kasih atas tawa, nasihat, dan bahu yang menguatkan dalam setiap proses yang penuh tantangan ini.
14. Terakhir, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada diri sendiri, Zakia Amanda Firdaus. Terimakasih telah bertahan sejauh ini. Untuk setiap malam yang dihabiskan dalam kelelahan, setiap pagi yang disambut dengan keraguan namun tetap dijalni, serta setiap ketakutan yang berhasil dilawan dengan keberanian. Terima kasih kepada hati yang ikhlas, meski tidak semua hal berjalan sesuai harapan. Terima kasih kepada jiwa yang tetap kuat, meski berkali-kali hampir menyerah. Terima kasih kepada raga yang terus melangkah, meski lelah sering kali tak terlihat. Penulis bangga kepada diri sendiri yang telah mampu melewati berbagai fase sulit dalam kehidupan ini. Semoga ke depannya, raga ini tetap kuat, hati tetap tegar, dan jiwa tetap lapang dalam menghadapi setiap proses kehidupan. Mari terus bekerja sama untuk tumbuh dan berkembang, menjadi pribadi yang lebih baik dari hari ke hari.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran pembaca yang membangun diharapkan dapat menjadi penyempurna skripsi ini. Harapan penulis semoga skripsi ini dapat memberikan sumbangan ilmu pengetahuan terutama di bidang kimia.

Yogyakarta, Agustus 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A.Latar Belakang.....	1
B.Batasan Masalah.....	4
C.Rumusan Masalah	4
D.Tujuan Penelitian.....	4
E. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	5
A.Tinjauan Pustaka	5
B. Landasan Teori	8
2.1 Kumarin.....	8
2.2. Resorsinol	9
2.3 Etil Asetoasetat	10
2.4. Asam Askorbat.....	11
2.5. Asam Lewis dan Peran FeCl_3	11
2.6. Reaksi Kondensasi Pechmann	12
2.7. Microwave-Assisted Organic Synthesis (MAOS).....	14
2.8. Spektrofotometer UV-Vis.....	16
2.9. Kromatografi Lapis Tipis	16
2.10. Spektrofotometer FTIR.....	17
2.11. Spektrofotometer NMR	18
2.12. Antioksidan.....	19

C. Hipotesis Penelitian	23
BAB III METODE PENELITIAN	24
A. Waktu dan Tempat Penelitian	24
B. Alat-alat Penelitian	24
C. Bahan Penelitian	24
D. Prosedur Kerja Penelitian	24
1. Sintesis 7-hidroksi-4-metil kumarin dengan Microwave-Assisted Pechmann Condensation	24
2. Uji Kemurnian dengan Kromatografi Lapis Tipis (KLT)	25
3. Uji Aktivitas Antioksidan menggunakan Metode DPPH	25
BAB IV PEMBAHASAN.....	28
4.1. Hasil Sintesis Senyawa 7-hidroksi-4-metilkumarin	28
4.2. Karakterisasi Senyawa dengan Kromatografi Lapis Tipis	31
4.3. Karakterisasi Senyawa dengan Spektrofotometer FTIR dan ¹ H-NMR	33
4.4 Hasil Uji Aktivitas Antioksidan	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	45
A. Kesimpulan	45
B. Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN.....	53
CURRICULUM VITAE.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Struktur 7-hidroksi-4-metilkumarin	3
Gambar 2.1	Struktur Kumarin.....	8
Gambar 2.2	Struktur Resorsinol.....	9
Gambar 2.3	Struktur Etil Asetoasetat.....	10
Gambar 2.4	Mekanisme Reaksi Pembentukan 7-hidroksi-4-metilkumarin	13
Gambar 2.5	Pemanasan Konvensional vs Pemanasan Microwave (DIK dalam Awasthi dan Dikshit, 2021).....	15
Gambar 2.6	Reaksi DPPH dengan Antioksidan (Putri & Mahfur, 2023)	21
Gambar 4. 1	Mekanisme Aktivitas Karbonil dan Pembentukan Intermediet Awal	29
Gambar 4. 2	Mekanisme Reaksi Siklisasi Intramolekul dan Pembentukan Cincin Lakton.....	30
Gambar 4. 3	Mekanisme Reaksi Dehidrasi dan Pembentukan Produk 7-Hidroksi-4-Metilkumarin.....	31
Gambar 4. 4	Hasil Identifikasi KLT Senyawa Produk dan Prekursor dengan Eluen n-heksana : etil asetat (3:2), dengan P untuk spot produk, R adalah spot resorsinol, dan E untuk spot etil asetoasetat	32
Gambar 4. 5	Hasil Karakterisasi FTIR dari Senyawa 7-Hidroksi-4-Metilkumarin Hasil Sintesis dan Prekursor beserta Strukturnya.....	35
Gambar 4. 6	Hasil Karakterisasi ¹ H-NMR dari 7-hidroksi-4-metilkumarin	37
Gambar 4. 7	Pola sistem ABX benzena trisubstitusi pada senyawa 7-hidroksi-4-metilkumarin.....	37
Gambar 4. 8	Struktur Kimia DPPH.....	39
Gambar 4. 9	Mekanisme Peredaman Radikal oleh Senyawa Fenolik.....	43
Gambar 4. 10	Mekanisme Peredaman Radikal DPPH oleh Senyawa 7-hidroksi-4-metilkumarin.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data nilai Rf Senyawa Produk dan Prekursor	32
Tabel 4.2 Perbandingan serapan karakteristik gugus fungsi senyawa resorsinol, etil asetoasetat, dan 7-hidroksi-4-metilkumarin	35
Tabel 4. 3 Identifikasi jumlah proton senyawa hasil sintesis pada spektrum ^1H - NMR.	38
Tabel 4. 4 Data nilai absorbansi, % inhibisi senyawa uji 7-hidroksi-4- metilkumarin dan asam askorbat	41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian.....	53
Lampiran 2. Perhitungan Rendemen Senyawa Hasil Sintesis	54
Lampiran 3. Hasil Analisis FTIR.....	55
Lampiran 4. Hasil analisis $^1\text{H-NMR}$	56
Lampiran 5. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum.....	57
Lampiran 6. Perhitungan Uji Aktivitas Antioksidan.....	58



ABSTRAK**Sintesis 7-Hidroksi-4-Metilkumarin melalui Metode *Microwave-Assisted Pechmann Condensation* serta Uji Aktivitasnya sebagai Antioksidan menggunakan DPPH (1,1-Difenil-2-pikrilhidrazil)****Oleh:****Zakia Amanda Firdaus****22106030054****Pembimbing: Prof. Dr. Susy Yunita Prabawati, M.Si.**

Kumarin merupakan kelompok senyawa heterosiklik yang secara alami terdapat pada tanaman dan memiliki banyak aktivitas biologis. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis senyawa turunan kumarin yaitu 7-hidroksi-4-metilkumarin melalui reaksi Pechmann condensation dengan pendekatan metode *Microwave-Assisted Organic Synthesis* serta mengevaluasi aktivitasnya sebagai antioksidan.

Sintesis dilakukan dengan mereaksikan resorsinol dan etil asetoasetat menggunakan katalis FeCl_3 pada kondisi tanpa pelarut (*solvent-free*) dengan pemanasan microwave pada daya 300 watt selama 6 menit. Produk hasil sintesis kemudian dimurnikan melalui rekristalisasi. Karakterisasi senyawa dilakukan menggunakan Kromatografi Lapis Tipis (KLT), spektrofotometer FTIR dan ^1H -NMR untuk memastikan terbentuknya struktur senyawa target. Uji aktivitas antioksidan dilakukan dengan metode DPPH menggunakan variasi konsentrasi 20, 40, 60, 80, dan 100 ppm, serta asam askorbat sebagai kontrol positif.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa 7-hidroksi-4-metilkumarin berhasil disintesis berupa padatan dengan rendemen sebesar 70,17%. Hasil KLT menunjukkan satu noda tunggal dengan nilai R_f 0,46 yang menandakan tingkat kemurnian yang baik. Spektrum FTIR menunjukkan pita serapan khas gugus OH fenolik pada 3489 cm^{-1} dan gugus $\text{C}=\text{O}$ lakton pada 1665 cm^{-1} , serta sinyal khas pada spektrum ^1H -NMR yang sesuai dengan struktur 7-hidroksi-4-metilkumarin. Uji aktivitas antioksidan menunjukkan nilai IC_{50} sebesar 147,85 ppm yang tergolong dalam kategori aktivitas antioksidan sedang.

Kata kunci: 7-hidroksi-4-metilkumarin, antioksidan, DPPH.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Radikal bebas merupakan atom atau molekul yang memiliki satu atau lebih elektron tidak berpasangan sehingga bersifat reaktif atau tidak stabil. Berdasarkan sumbernya, radikal bebas dibedakan menjadi dua, yaitu radikal bebas endogen yang terbentuk dari proses metabolisme tubuh dan eksogen yang berasal dari faktor luar seperti polusi, radiasi UV, dan asap rokok. Radikal bebas dapat berupa spesies oksigen reaktif (*Reactive Oxygen Species* atau ROS) dan spesies nitrogen reaktif (*Reactive Nitrogen Species* atau RNS). Dalam jumlah berlebih, ROS dan RNS dapat menyebabkan stres oksidatif yaitu ketidakseimbangan antara pembentukan radikal bebas dan kemampuan tubuh menetralkannya. Kondisi ini dapat merusak lipidd, protein, dan DNA serta meningkatkan risiko berbagai penyakit degeneratif (Droge *et al.*, 2002; Ahmad, 2018). Stres oksidatif dapat dicegah dengan mengonsumsi sayur, buah, atau bahan lain yang memiliki kandungan antioksidan tinggi, seperti suplemen antioksidan.

Kumarin (1,2-benzopiron) merupakan senyawa heterosiklik aromatik yang terdiri atas cincin benzena yang menyatu dengan cincin piron. Senyawa ini banyak ditemukan di alam, khususnya pada tanaman dari famili Apiaceae, Rutaceae, Umbelliferae, dan Fabaceae (Venugopala *et al.*, 2013). Kumarin dan turunannya diketahui memiliki berbagai aktivitas biologis seperti antikoagulan, antimikroba, antikanker, antijamur, antiinflamasi, antibakteri, serta antioksidan (Kostova, 2005; Ribeiro *et al.*, 2021). Efek antioksidan dari kumarin biasanya disebabkan oleh adanya gugus hidroksil (-OH) serta gugus karbonil (>C=O) yang dapat mendonasikan elektron untuk menstabilkan radikal bebas melalui proses delokalisasi elektron (Rice-Evans *et al.*, 1997).

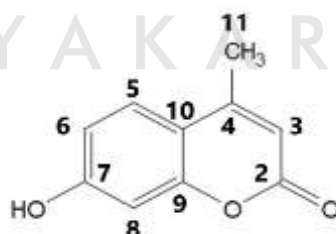
Salah satu turunan kumarin yang banyak dikaji adalah 7-hidroksi-4-metilkumarin, yang memiliki struktur stabil dan mudah untuk dimodifikasi. Penelitian yang dilakukan oleh Nayak *et al* (2016) membuktikan bahwa 7-hidroksi-

4-metilkumarin dapat disintesis melalui metode *Pechmann condensation* konvensional dengan menggunakan pelarut etanol dan katalis asam sulfat pekat, menghasilkan rendemen sekitar 52% dalam waktu reaksi selama 2-3 jam. Meskipun reaksi tersebut berhasil mendapatkan senyawa yang diinginkan, metode konvensional sering kali membutuhkan suhu tinggi, menggunakan pelarut organik, dan dapat menghasilkan limbah kimia yang tidak ramah lingkungan (Kumar et al, 2020). Penelitian lain yang menerapkan metode kondensasi serupa juga membuktikan bahwa efisiensi yang rendah dan waktu reaksi yang lama, sehingga dapat diperlukan pendekatan metode sintesis yang lebih efisien, cepat, dan ramah lingkungan,

Seiring berkembangnya konsep *green chemistry*, berbagai upaya telah dilakukan untuk mengembangkan metode sintesis yang lebih ramah lingkungan dan efisien. Salah satu pendekatan yang diterapkan adalah reaksi tanpa pelarut (*solvent-free*) yang dapat mengurangi penggunaan pelarut organik dan limbah kimia (Polshettiwar & Varma, 2008). Dalam sintesis kumarin melalui reaksi Pechmann, katalis asam diperlukan untuk mengaktivasi gugus karbonil β -ketoester sehingga mempermudah proses kondensasi dengan senyawa fenolik. Katalis asam seperti H_2SO_4 atau p-toluenasulfonat (p-TsOH) telah digunakan dalam sintesis turunan kumarin, tetapi penggunaan asam kuat pada metode konvensional dapat memerlukan kondisi reaksi yang relatif kompleks (Sharma et al., 2011). Penggunaan katalis $FeCl_3$ kemudian dipilih sebagai alternatif katalis karena merupakan asam lewis yang mampu mengaktivasi gugus karbonil pada β -ketoester sehingga meningkatkan sifat elektrofilik karbonil dan mempermudah serangan nukleofilik oleh senyawa fenolik dalam pembentukan kerangka kumarin melalui reaksi pechmann. Keunggulan $FeCl_3$ sebagai katalis adalah kemampuannya memberikan katalisis yang efektif pada reaksi Pechmann serta dapat digunakan dalam kondisi tanpa pelarut (*solvent-free*). Penggunaan $FeCl_3$ dalam kondisi tersebut dapat mempermudah proses sintesis, mengurangi penggunaan pelarut dan mendukung penerapan prinsip kimia hijau (*green chemistry*) (Anastas & Warner, 1998).

Pemanasan gelombang mikro (*Microwave-Assisted Pechmann*

Condensation) juga menjadi langkah inovatif yang signifikan untuk meningkatkan efisiensi dalam sintesis. Pemanasan gelombang mikro berfungsi untuk memberikan energi langsung pada molekul reaktan melalui interaksi dengan medan elektromagnetik, sehingga menghasilkan pemanasan yang merata, cepat, dan efisien (Kappe, 2004; Varma, 2014). Keberhasilan penggunaan microwave dalam sintesis senyawa organik juga ditunjukkan oleh Godara *et al.* (2024) pada sintesis 16 turunan *prenylated chalcone*, yang menghasilkan rendemen 86-92% dengan waktu 1-4 menit. Setelah proses sintesis, produk yang diperoleh perlu dimurnikan untuk menghilangkan sisa reaktan, katalis maupun pengotor lainnya. Salah satu metode pemurnian yang dapat digunakan adalah rekristalisasi, yaitu dengan melarutkan produk dalam pelarut yang sesuai, kemudian mendinginkan larutan sehingga senyawa target mengkristal kembali, sedangkan sebagian pengotor tetap berada di dalam larutan. Proses pembentukan kristal tersebut terjadi karena penurunan kelarutan senyawa akibat perubahan suhu. Oleh karena itu, berdasarkan uraian sebelumnya, senyawa 7-hidroksi-4-metilkumarin memiliki potensi sebagai antioksidan yang tinggi dan dapat disintesis secara efisien menggunakan metode gelombang mikro. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis senyawa tersebut melalui *Microwave-Assisted Pechmann Condensation* tanpa pelarut dengan katalis FeCl_3 , serta menguji aktivitas antioksidannya menggunakan metode DPPH. Pendekatan ini diharapkan menghasilkan metode sintesis yang cepat, ramah lingkungan, serta menghasilkan senyawa 7-hidroksi-4-metilkumarin dengan memiliki aktivitas antioksidan, sekaligus mendukung penerapan prinsip *green chemistry* dalam sintesis senyawa bioaktif.



Gambar 1. 1 Struktur 7-hidroksi-4-metilkumarin

B. Batasan Masalah

1. Sintesis senyawa dilakukan melalui reaksi Pechmann Condensation berbantuan *Microwave-Assisted Organic Synthesis*.
2. Reaksi dilakukan tanpa pelarut (*solvent-free*) dengan bantuan katalis FeCl_3 (Besi (III) klorida).
3. Karakterisasi senyawa hasil sintesis dilakukan menggunakan uji kromatografi lapis tipis (KLT), uji titik leleh, spektroskopi FTIR dan $^1\text{H-NMR}$.
4. Uji aktivitas antioksidan dilakukan dengan metode DPPH secara kuantitatif berdasarkan nilai IC_{50} .

C. Rumusan Masalah

1. Bagaimana proses sintesis 7-hidroksi-4-metilkumarin melalui metode *Microwave-Assisted Organic Synthesis* (MAOS) dengan katalis FeCl_3 tanpa pelarut?
2. Bagaimana hasil uji aktivitas antioksidan senyawa hasil sintesis berdasarkan nilai IC_{50} menggunakan metode DPPH?

D. Tujuan Penelitian

1. Mensintesis 7-hidroksi-4-metilkumarin menggunakan metode *Microwave-Assisted Organic Synthesis* (MAOS) dengan katalis FeCl_3 tanpa pelarut.
2. Mengevaluasi hasil aktivitas antioksidan senyawa hasil sintesis secara kuantitatif menggunakan metode DPPH.

E. Manfaat Penelitian

1. Memberikan kontribusi dalam pengembangan metode sintesis senyawa bioaktif berbasis *green chemistry* melalui pendekatan *Microwave-Assisted Organic Synthesis* yang efisien dan ramah lingkungan.
2. Menjadi sumber referensi untuk penelitian selanjutnya terkait dalam bidang kimia sintesis organik dan uji aktivitas biologis lainnya pada senyawa turunan kumarin.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan yang diperoleh yaitu:

1. Sintesis senyawa 7-hidroksi-4-metilkumarin berhasil dilakukan dengan menggunakan bahan dasar resorsinol dengan etil asetoasetat dan menggunakan katalis FeCl_3 sebagai asam Lewis dengan metode *Microwave-Assisted Synthesis* pada kondisi tanpa pelarut (*solvent free*), dan didapatkan hasil sintesis senyawa berupa padatan berwarna coklat kekuningan dengan rendemen sebesar 70,17%.
2. Senyawa hasil sintesis 7-hidroksi-4-metilkumarin memiliki potensi sebagai senyawa antioksidan berdasarkan nilai IC_{50} sebesar 147,85 ppm dengan kategori aktivitas antioksidan senyawa ini adalah antioksidan sedang.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan modifikasi struktur senyawa kumarin, dengan menggunakan bahan dasar, katalis yang berbeda.
2. Perlu dilakukan pengujian toksisitas dan stabilitas senyawa hasil sintesis agar dapat dipertimbangkan lebih lanjut dalam pengembangan aplikasi di bidang pangan dan farmasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, R. (2018), Introductory Chapter: Basic of Free Radicals and Antioxidant, <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.76689>
- Ahriani., Zelviani, S., Hernawati., & Fitriyani. (2021). Analisa Nilai Absorbansi Untuk Menentukan Kadar Flavonoid Daun Jarah Merah (*Jatropha Gossypifolia* L) Menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis. *Jurnal Fisika Dan Terapannya* vol. 8 No. 2, 56-64.
- Alexandri, E., Ahmed, R., Siddiqui, H., Choudhary, M. I., Tsiafoulis, C. G., & Gerothanassis, I. P. (2017). High resolution NMR spectroscopy as a structural and analytical tool for unsaturated lipids in solution. *Molecules*, 22(10). <https://doi.org/10.3390/molecules22101663>
- Ananda Ismail, I., Riga, R., Suryani, O., Insani, M., Lian Pernadi, N., & Febriyanti, A. (2022). Analisis Spektrum | H-NMR: Penjelasan Sederhana. *International Journal of Academic Multidisciplinary Research*, 6(12), 336-342. www.ifeais.org/ijamr
- Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press.
- Anisa, H. A. N. & Sari, M. W. 2023. Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Kulit Pisang Serta Aplikasinya Pada Produksi Tahu. *Jurnal Teknik Kimia* Vol. 18, No. 1, 21- 27.
- Awasthi, A., & Dikshit, D. 2021. *Microwave assisted organic synthesis (MAOS) : Green alternatives to existing laboratory methods involving toxic chemicals and solvents*. 5(3), 35–42.
- Azmi, U., & Nurwahida. (2023). Sintesis turunan kumarin dari senyawa floroglusinol dan uji aktivitasnya sebagai antioksidan. Institut Teknologi Sumatera. <https://repo.itera.ac.id/depan/submission/SB2309270033?>
- Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181(4617), 1199–1200. <https://doi.org/10.1038/1811199a0>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

- Breitmaier, E. (2002). S: TR; U, CTUIRE EIU CliDATI: ON B: Y NMIR. In *English* (Vol. 8).
- Damanis, F., Wewengkang, D. & Antasionasti, L. (2020). Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Ascidin Herdmania momus dengan Metode DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil). *Pharmacon*, IX(3), pp. 464-469
- Desi, K. 2016. Isolasi Senyawa Metabolit Sekunder dari Fraksi Etil Asetat Tumbuhan Rumpun Mutiara (*Hedyotis corymbosa* L.) dan Uji Toksisitas dengan Metode Brine Shrimp Lethality Test (BSLT). *Skripsi*. Universitas Andalas. Padang.
- Dhanawade, O., _et al_ (2026). Pechmann Condensation Mediated Synthesis of 7-Hydroxy-4-Methyl Coumarin and Its Comprehensive Characterization with Antimicrobial Activity Evaluation. *International Journal of Pharmaceutical Sciences*, 4(6), 1625-1640. DOI: 10.5281/zenodo.20568757
- Dighe, N. S., Pattan, S. R., Dengale, S. S., and Musmade, D. S. 2010. Synthetic and Pharmacological Profiles of Coumarins: A Review. *Journal Scholars Research Library*. 2(2) : 65–71.
- Droge, W, (2002), Free radicals in the physiological control of cell function, *Physiological Re- views*, 82: 47
- Ervina, M., Wea, V. K. C., Oktaviani, A., Hartanti, L., Sinansari, R., Wilianto, Y. R., Steven, & Caroline. (2023). Solvent preextraction influenced to coumarin and glucose binding capacity of cinnamomi's extracts. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology and Research*, 14(2), 69-74. https://doi.org/10.4103/japtr.japtr_671_22
- Fang, Y., Zhang, L., & Wang, H. (2020). Antioxidant activity of resorcinol derivatives in biological systems. *Food Chemistry*, 312, Article 126134. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126134>.
- Handayani, S., Najib, A., & Wati, N. P. (2018). Uji Aktiitas Antioksidan Ekstak Daun Daraju (*Acanthus ilicifolius*) Dengan Metode Peredaman Radikal Bebas 1,1-Diphenyl-2-Picrylhidrazil (DPPH). *Jurnal Fitofarmaka Indonesia*, 5(2), 299–308. www.jurnal.farmasi.umi.ac.id/index.php/fitofarmakaindonesia
- Handayani, S., Najib, A., & Wati, N. P. (2018). Uji Aktiitas Antioksidan Ekstak Daun Daraju (*Acanthus ilicifolius*) Dengan Metode Peredaman Radikal Bebas 1,1-Diphenyl-2-Picrylhidrazil (DPPH). *Jurnal Fitofarmaka Indonesia*, 5(2), 299–308. www.jurnal.farmasi.umi.ac.id/index.php/fitofarmakaindonesia

- Handayani, V., Roskiana Ahmad, A., & Sudir, M. (2014). Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Metanol Bunga dan Daun Patikala (*Etlingera elatior* (Jack) R.M.Sm) Menggunakan Metode DPPH. *Pharm Sci Res*, 1(2), 86–93.
- Indranila & Ulfah, M. (2015). *Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Daun Karika (Carica pubescens) dengan Metode DPPH Beserta Identifikasi Senyawa Alkaloid, Fenol dan Flavonoid.* Semarang. Fakultas Farmasi Universitas Wahid Hasyim. Semarang. Universitas Wahid Hasyim.
- Irianti, T. *et al.* (2016). DPPH Radical Scavenging Activity of Aqueous Fraction from Ethanolic Extract of Talok Fruit (*Muntingia calabura* L.). *Traditional Medicine Journal*, 1(21).
- Isnawati, A., Mudahar, H., dan Kamilatunisah. 2008. Isolasi dan Identifikasi Senyawa Kumarin dari Tanaman *Artemisia Annua* (L.). *Jurnal Biomedis dan Farmasi*. 18(3) : 1–14.
- Jain, S., Sharma, R., & KumaNAYAKr, A. (2019). Recent advances in coumarin synthesis: A comprehensive review. *Chemical Reviews*, 119(12), 7890–7925.
- Jamiah, J., Sari, D., & Rahman, F. (2018). Metode DPPH untuk pengujian aktivitas antioksidan in vitro. *Jurnal Farmasi dan Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 15(1), 12–20.
- Kappe, C. O. (2004). Controlled microwave heating in modern organic synthesis. *Angewandte Chemie International Edition*, 43(46), 6250–6284.
- Kaur, G., & Arora, D. S. (2015). Antioxidant activity of natural coumarins: Structure–activity relationship analysis. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, 14(2), 309–325.
- Kidwai, M., Saxena, A., & Khan, S. (2006). Synthesis of coumarin derivatives via Knoevenagel condensation. *Indian Journal of Chemistry Section B: Organic Chemistry Including Medicinal Chemistry*, 45(1), 123–128.
- Kostova, I. (2005). Synthetic and natural coumarins as cytotoxic agents. *Current Medicinal Chemistry - Anti-Cancer Agents*, 5(1), 29–46. <https://doi.org/10.2174/1568011053172913>
- Kowalewska, E., & Litwinienko, G. (2010). Phenolic chain-breaking antioxidants—their activity and mechanisms of action. *Postępy Biochemii*, 56(3), 274–283. PMID: 21117315
- Kumar, A., & Singh, P. (2017). Microwave-assisted synthesis of coumarin derivatives under green conditions. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 10(3), 234–240. <https://doi.org/10.1080/17518253.2017.1341623>

- Kumar, R., Sharma, S., & Gupta, V. (2020). Role of ethyl acetoacetate in sustainable green synthesis of heterocycles. *Sustainable Chemistry*, 2(2), 145–156. <https://doi.org/10.1016/j.suschem.2020.02.003>
- Lewis, G.N. (1923). *Valance and the Strucjture of Atoms and Molecules*. New York: Chemical Catalog Company.
- Liu, Y., Wang, Z., & Chen, L. (2019). β -Ketoesters in the formation of heterocyclic compounds: Recent advances. *Advanced Synthesis & Catalysis*, 361(10), 2234–2245. <https://doi.org/10.1002/adsc.201900123>
- March, J. (1992). *Advanced Organic Chemistry: Reactions, Mechanism, and Structure*(4th ed.). New York: Wiley-Interscience.
- Matysik, E., Woźniak, A., Paduch, R., Rejdak, R., Polak, B., & Donica, H. (2016). The New TLC Method for Separation and Determination of Multicomponent Mixtures of Plant Extracts. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/1813581>
- Mishra, S., Singh, V., & Patel, R. (2021). Application of green chemistry principles in coumarin synthesis. *Current Organic Synthesis*, 18(4), 312–325.
- Molyneux, P. (2004). The Use Of The Stable Free Radical Diphenylpicryl-hidrazyl (DPPH) for Estimating Antioxidant Activity. *Journal Science Technology*, 26(2), pp. 211-219.
- Nayak, S. K., Dash, B., & Sahu, P. K. (2016). Synthesis and biological evaluation of novel 7-hydroxy-4-methylcoumarin derivatives. *Medicinal Chemistry Research*, 25(7), 1425–1434.
- Nurhasanah, S. (2021). *Sintesis turunan nitro kumarin* [Skripsi, Universitas Negeri Jakarta]. Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta.
- Osman, H., Al-Mekhlafi, H. M., & Kaminski, Z. J. (2012). Synthesis and Antioxidant Evaluation of Coumarin Derivatives under Microwave Irradiation. *International Journal of Organic Chemistry*, 2(3), 161–166.
- P. D. Prenzler, D. Ryan, and K. Robards, in *Handbook of Antioxidant Methodology: Approaches to Activity Determination*, ed. P. D. Prenzler, D. Ryan, and K. Robards, The Royal Society of Chemistry, 2021, ch. 1, pp. 1-62. <https://share.google/fTjqFIpIxDgrW4OSc>
- Pasha, M. A., & Jayashankara, V. P. (2007). FeCl₃-catalyzed Pechmann condensation for coumarin synthesis. *Journal of Chemical Research*, 2007(5), 298–300.

- Patil, M. S., Patil, S. V., & Bobade, A. S. (2015). Solvent-free synthesis of coumarins using FeCl₃ as catalyst. *Catalysis Communications*, 68, 1–5.
- Patil, M. S., Patil, S. V., & Bobade, A. S. (2019). FeCl₃-catalyzed microwave-assisted reactions for coumarin derivatives. *Tetrahedron*, 75(22), 3123–3130.
- Pechmann, H. V., & Duisberg, C. (1884). Ueber die Einwirkung von Acetessigester auf Phenol und Resorcinol. *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, 17(2), 929–935. <https://doi.org/10.1002/cber.18840170246>
- Polshettiwar, V., & Varma, R. S. (2008). Aqueous microwave-assisted chemistry: A clean and green synthetic tool for rapid synthesis of biodiesel. *Green Chemistry*, 10(6), 581–587. <https://doi.org/10.1039/B800510F>
- Quezada, E., Vilar, S., Viña, D., Santana, L., & Uriarte, E. (2007). Assignment of the ¹H and ¹³C NMR signals of some hydroxyphenylcoumarins. *Magnetic Resonance in Chemistry*, 45(1), 99–101, <https://doi.org/10.1002/mrc.1924>
- Rahayu, D. & Fachriyah, E. (2010). *Penentuan Aktivitas Antioksidan dari Ekstrak Etanol Daun Ketapang (Terminalia catappa L.) dengan Metode 1,1-Difenil-2-Pikrilhidrazil (DPPH)*. Semarang, Diponegoro: Jurusan Kimia FMIPA Universitas Diponegoro.
- Rahman, A., Khan, M. N., & Islam, S. (2021). Reactivity of resorcinol in Pechmann condensation reactions. *Organic & Biomolecular Chemistry*, 19(15), 3345–3352.
- Rahman, M. M., & Sarker, M. M. (2020). Advantages of microwave-assisted Pechmann condensation (MAPC) in coumarin production. *RSC Advances*, 10(25), 14789–14798.
- Ramadhan, P. (2015). *Mengenal Antioksidan (Cetakan Pertama)*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Ribeiro, J. F., Cavalcanti, L. N., & de Sousa, D. P. (2021). Pharmacological activities and synthesis of coumarin derivatives. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 209, Article 112456.
- Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., & Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science*, 2(4), 152–159. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(97\)01018-2](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(97)01018-2)
- Rohman, A. (2019). The employment of Fourier transform infrared spectroscopy coupled with chemometrics techniques for traceability and authentication of meat and meat products. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 6(1), 9–17. <https://doi.org/10.5455/javar.2019.f306>
- Rohman, A., Ghazali, M. A. B., Windarsih, A., Irnawati, Riyanto, S., Yusof, F.M., & Mustafa, S. (2020). Comprehensive Review on Application of FTIR

Spectroscopy Coupled with Chemometrics for Authentication Analysis of Fats and Oils in the Food Products. *Molecules*, 25(22).
<https://doi.org/10.3390/MOLECULES25225485>

Rosahdi, T.D., Kusmiyati, M., & Wijayanti Fitri Retna. (2013). Uji Aktivitas Daya Antioksidan Buah Rambutan Rapih Dengan Metode DPPH. *Jurnal ISTEK*, VII(1).

Salih, M. H., Al-Janabi, M. T., & Al-Karkhi, I. (2020). Synthesis and evaluation of antioxidant activity of new coumarin derivatives. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 12(5), 645–649.

Salmiyah, S., & Bahruddin, A. (2019). Sumber, klasifikasi, dan komponen antioksidan dalam makanan. *Jurnal Nutrisi dan Kesehatan*, 13(4), 200–210.

Santiago, M., & Strobel, S. (2013). Thin layer chromatography. *Methods in Enzymology*, 533, 303–324. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420067-8.00024-6>

Sari, R., Riyanta, A. B., & Wibawa, A. S. 2017. Formulasi Dan Evaluasi Sabun Padat Antioksidan Ekstrak Maserasi Kulit Buah Pisang Kepok (Musa Normalis L). *Jurnal Para Pemikir Volume 6 Nomor 2*, 151–155.

Sashidhara, K.V., Kumar, M., Modukuri, R. K., & Srivastava, A. (2011). Lewis acid catalyzed Pechmann condensation: An efficient synthesis of coumarins. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 21, 4480–4484.

Sayuti, K. & Yenrina, R. (2015). *Antioksidan, Alami dan Sintetik*. I penyunt. Padang: Andalas University Press.

Sethna, S., & Phadke, R. (1953). The Pechmann reaction. I. A study of the mechanism. *Chemical Reviews*, 53(1), 1–80. <https://doi.org/10.1021/cr50009a001>

Setiawan, A., & Rakhmawaty, D. (2014). Aktivitas biologis dan isolasi senyawa kumarin dari tanaman. *Jurnal Kimia Farmasi*, 6(2), 89–97.

Setiawan, D., & Rakhmawaty, D. (2014). Sintesis dan karakterisasi senyawa 3,3'-benzilidena bis-4-hidroksi kumarin untuk sediaan radioterapi. *Chimica et Natura Acta*, 2(3), 154–159. <https://doi.org/10.24198/cna.v2i3.9161>

Shanti, P. C. (2019). *Formulasi Dan Uji Aktivitas Antioksidan Emulgel Minyak Atsiri Bunga Cengkeh Menggunakan Metode (1,1-Difenil-2-Pikrilhidrazil) DPPH* [Skripsi]. UIN Maulana Malik Ibrahim.

Sharma, D., Kumar, S., & Makrandi, J. K. (2011). Modified Pechmann condensation using grinding technique under solvent-free condition at room temperature. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 4(2), 127–129.
<https://doi.org/10.1080/17518253.2010.517785>

- Sharma, O. P., & Bhat, T. K. (2009). DPPH antioxidant assay revisited. *Food Chemistry*, 113(4), 1202–1205. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.008>
- Singh, K., & Sharma, V. (2018). Microwave-assisted Pechmann condensation (MAPC) for high-yield coumarin synthesis. *Journal of Chemical Sciences*, 130(5), Article 67.
- Spangenberg, B., Poole, C. F., & Weins, C. (2011). Quantitative thin-layer chromatography: A practical survey. *Quantitative Thin-Layer Chromatography: A Practical Survey*, 1-388. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-10729-0>
- Tristantini, D., Ismawati, A., Pradana, B. T., & Jonathan, J. G. 2016. Pengujian Aktivitas Antioksidan Menggunakan Metode Dpph Pada Daun Tanjung (Mimusops Elengi L). *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*.
- Utomo, S. B., Prabawati, S. Y., Wahyuni, I., Susanti, E., Mulyani, S., Agustina, W., & Ariani, S. R. D. (2025). Inhibition profile of C-4-methoxy-phenyl-calix[4]resorcinarene against formation of calcium sulfate (CaSO₄) crust. *Advanced Journal of Chemistry* A, 8(12), 1876–1889.
- Varma, R. S. (2014). Greener routes to organics and advanced materials. *Accounts of Chemical Research*, 47(2), 345–355. <https://doi.org/10.1021/ar400314z>.
- Venugopala, K. N., Rashmi, V., & Odhav, B. (2013). Review on natural coumarin lead compounds: The state of the art. *Expert Opinion on Therapeutic Patents*, 23(8), 925–950. <https://doi.org/10.1517/13543776.2013.798064>.
- Wang, M., Zhang, Y., Wang, R., Wang, Z., Yang, B., & Kuang, H. (2021). An evolving technology that integrates classical methods with continuous technological developments: Thin-layer chromatography bioautography. *Molecules*, 26(15). <https://doi.org/10.3390/molecules26154647>
- Wang, Z. (2010). *Comprehensive Organic Name Reactions and Reagents*. Hoboken: Wiley
- Whitaker, D. R. (1997). Mechanisms of microwave heating in chemical reactions. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 32(4), 219–228.
- Winarti, S. (2010). *Makanan Fungsional*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Zhou, D., Zhuang, Y., & Sheng, Z. (2022). Study on effective synthesis of 7-hydroxy-4-substituted coumarins. *Heterocyclic Communications*, 28(2), 181–187. <https://doi.org/10.1515/hc-2022-0154>