



## Synthesis of Methyl 3-(4-hydroxyphenyl) acrylate using Domestic Microwave Irradiation at 200 Watt Power

### Sintesis Metil 3-(4-hidroksifenil) akrilat menggunakan Iradiasi Gelombang Mikro Domestik Daya 200 Watt

Moch Davit Abdul Majid<sup>1)</sup>, Juni Ekowati<sup>2,3)\*</sup>, Bambang Tri Purwanto<sup>2,3)</sup>

<sup>1</sup>Study Program of Pharmacy, Faculty of Pharmacy, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

<sup>2</sup>Department of Pharmaceutical Science, Faculty of Pharmacy, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

<sup>3</sup>Group Research of Drug Development, Faculty of Pharmacy, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

\*Corresponding author

E-mail: [juni-e@ff.unair.ac.id](mailto:juni-e@ff.unair.ac.id)

Article History:

Received: August 23, 2022; Revised: November 11, 2023; Accepted: November 30, 2023; Online: November 30, 2023

#### ABSTRACT

In this study, a methylation reaction was carried out for the *p*-coumaric acid compound using potassium carbonate as a base and dimethyl carbonate as a methylation agent with acetone as a solvent. The methylation reaction was carried out using microwave irradiation from microwave domestic with a power of 200 watts. The purity test was carried out on a TLC plate using three different eluents and produced a single stain that was different from the initial compound. The phenol functional group tested with FeCl<sub>3</sub> reagent showed a positive purple color. Compound identification was done using an FT-IR spectrophotometer and a <sup>1</sup>H-NMR spectrometer. In the synthesized FT-IR spectrum, there was an absorption of the ester group at wave numbers 1671 cm<sup>-1</sup> (C=O group) and 1243 cm<sup>-1</sup> (C-O group), there was a band at 3378 cm<sup>-1</sup> indicating the presence of the phenol group. There were differences in fingerprint results in the FT-IR spectrum of the *p*-coumaric acid compound and the results of the methylation reaction. The <sup>1</sup>H-NMR spectrum confirmed the presence of three methyl ester protons of the carboxylic acid and the phenolic OH. This indicated that the synthesis produced a compound, namely methyl (E)-3-(4-hydroxyphenyl) acrylate.

Keywords: methyl (E) 3-(4hydroxyphenyl) acrylate), *p*-coumaric acid, Potasium Carbonate, Microwave Irradiation, Synthesis

#### ABSTRAK

Pada penelitian ini dilakukan reaksi metilasi senyawa asam *p*-kumarat menggunakan kalium karbonat sebagai basa dan dimetil karbonat sebagai bahan metilasi dengan pelarut aseton. Reaksi metilasi dilakukan menggunakan iradiasi gelombang mikro dari *microwave domestic* dengan daya 200 watt. Uji kemurnian dilakukan pada plat KLT menggunakan tiga eluen berbeda dan menghasilkan noda tunggal yang berbeda dengan senyawa awal. Gugus fungsi fenol diuji dengan pereaksi FeCl<sub>3</sub> menunjukkan hasil positif warna ungu. Identifikasi senyawa menggunakan spektrofotometer FT-IR dan spektrometer <sup>1</sup>H-NMR. Pada spektrum FT-IR hasil sintesis, terdapat serapan gugus ester pada pada bilangan gelombang 1671 cm<sup>-1</sup> (gugus C=O) dan 1243 cm<sup>-1</sup> (gugus C-O), terdapat pita pada 3378 cm<sup>-1</sup> menunjukkan masih adanya gugus fenol. Terdapat perbedaan hasil sidik jari pada spektrum FT-IR senyawa asam *p*-kumarat dan hasil reaksi metilasi. Spektrum <sup>1</sup>H-NMR mengkonfirmasi adanya tiga proton metil ester dari asam karboksilat dan OH fenolik. Hal ini menunjukkan bahwa sintesis yang dilakukan telah menghasilkan senyawa yaitu metil (E)-3-(4-hidroksifenil) akrilat).

Kata kunci: metil (E) 3-(4hidroksifenil)akrilat), Asam *p*-kumarat, Dimetil Karbonat, Iradiasi Gelombang Mikro

#### PENDAHULUAN

Asam *p*-kumarat merupakan turunan dari asam fenolat, yang memiliki sifat hidrofilik karena adanya dua gugus polar gugus asam karboksilat dan gugus fenol, sehingga sulit menembus membran sel yang tersusun atas lipid bilayer. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan sintesis metilasi dengan tujuan menurunkan kepolaran dan meningkatkan sifat lipofilik dari senyawa asam *p*-

kumarat. Peningkatan lipofilik senyawa diharapkan dapat lebih mudah menembus dinding sel. Semakin besar konsentrasi senyawa aktif yang teradsorpsi oleh sel maka aktivitasnya semakin tinggi (Islam *et al.*, 2016).

Reaksi metilasi dapat dilakukan baik pada gugus asam karboksilat maupun gugus fenol tersebut. Bahan yang digunakan dalam reaksi metilasi ini adalah kalium karbonat (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), dimetil karbonat (DMC). Kalium karbonat digunakan sebagai pengalkali yang membuat

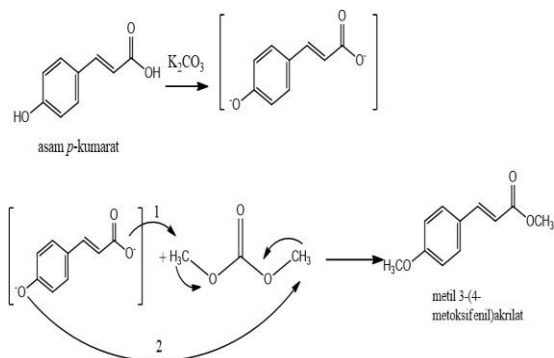
Cite this Majid, M.D.A., Ekowati, J. and Purwanto, B.T. (2023) 'Synthesis of Methyl 3-(4-hydroxyphenyl) acrylate using Domestic Microwave Irradiation at 200 Watt Power', *Berkala Ilmiah Kimia Farmasi*, 10(2), pp. 31-35. DOI: 10.20473/bikfar.v10i2.38479.



suasana menjadi basa, dan meningkatkan nukleofilitas, sedangkan DMC digunakan sebagai agen metilasi.

Penggunaan sumber agen metilasi DMC lebih banyak digunakan dibandingkan agen metilasi lain seperti dimetil sulfat dan metil halida, hal ini disebabkan dimetil sulfat dan metil halida merupakan agen metilasi yang memiliki toksisitas tinggi dan bersifat karsinogenik. Oleh karena itu, penggunaan kedua reagen tersebut perlu dihindari. Sebagai alternatif pengganti kedua reagen tersebut digunakan dimetil karbonat yang lebih ramah lingkungan dan memiliki toksisitas yang rendah (Tundo, 2001).

Pada penelitian ini target senyawa hasil sintesis adalah senyawa metil 3-(4-metoksifenil) akrilat dengan mekanisme reaksi pada [Gambar 1](#), menggunakan senyawa awal asam *p*-kumarat untuk sintesis metilasi. Metode sintesis yang digunakan yaitu *green chemistry microwave* yang bertujuan untuk mengurangi efisiensi bahan baku, mengurangi limbah, dan menghindari penggunaan reagen dan pelarut yang berbahaya dan beracun (Belwal, 2013). Sintesis dengan gelombang mikro merupakan proses sintesis yang menerapkan iradiasi gelombang mikro. Metode ini memanfaatkan kemampuan muatan listrik seluler yang ada dalam cairan atau ion penghantar bahan padatan untuk mengubah energi elektromagnetik menjadi panas dengan sehingga terjadi proses reaksi kimia (Grewal *et al.*, 2013). Penggunaan iradiasi gelombang mikro memiliki keuntungan mempercepat reaksi metilasi dibandingkan metode konvensional dengan bantuan pemanasan. Semakin tinggi daya watt yang diberikan, maka reaksi metilasi akan berjalan dengan semakin cepat.



**Gambar 1.** Mekanisme Reaksi Metilasi Asam *p*-kumarat

## METODOLOGI PENELITIAN

### Alat

Peralatan yang digunakan adalah alat-alat gelas yang umum digunakan dalam sintesis, timbangan analitik, *oven microwave* (SHARP 1000 Watt), lampu UV 254 nm, Spektrofotometer FTIR, Spektrometer <sup>1</sup>H-NMR.

### Bahan

Asam(E)-4-hidroksi-3-metoksisinamat (*p.a.*), aseton (*p.a.*), K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (*p.a.*), dimetil karbonat (DMC), metanol (*p.a.*), kloroform (*p.a.*), magnesium sulfat anhidrat, aquadestilata, lempeng KLT silika gel GF<sub>254</sub>, *n*-heksana (*p.a.*), asam asetat glasial (*p.a.*), etil asetat (*p.a.*).

## Prosedur Kerja

### Tahap Sintesis

Menimbang bahan senyawa awal yang akan direaksikan (Asam *p*-kumarat sebanyak 500 mg (3,08 mmol); dan kalium karbonat (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) sebanyak 720 mg (5,21 mmol) kemudian dicampur aseton sebanyak 3 ml didalam labu alas bulat, kemudian direaksikan dengan dimetil karbonat (DMC) sebanyak 1 ml (12 mmol) yang sudah dilarutkan dalam 1 ml aseton. Campuran tersebut direaksikan menggunakan iradiasi gelombang mikro (*oven microwave*) (SHARP 1000 Watt) pada daya 200 W. Setiap 30 detik sampel diambil dan disimpan pada microtube, diuji dengan menggunakan plat KLT untuk mengetahui reaksi berlangsung atau tidak.

### Tahap Pemisahan

Setelah tahap sintesis selesai kemudian menyaring K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, dan filtrat ditambah dengan kloroform untuk menarik senyawa hasil metilasi, setelah itu mencuci fase kloroform sedikit demi sedikit dengan air untuk membersihkan sisa kalium karbonat. Magnesium sulfat anhidrat ditambahkan secukupnya ke dalam fase kloroform untuk menarik air yang tersisa. Setelah semua selesai magnesium sulfat disaring dan kloroform diuapkan.

### Tahap Kemurnian

Menyiapkan pelat silika gel GF<sub>254</sub> (pelat KLT) sebagai fase diam dan membuat garis batas atas dan batas bawah, setelah itu menyiapkan eluen sebagai fase gerak. Pada uji kemurnian ini, digunakan tiga macam eluen, yaitu heksana: etil asetat (7:1), *n*-heksana: etil asetat (3:1), dan kloroform: etil asetat (5:1). Sebelum dilakukan eluasi, terlebih dahulu bejana dijenuhkan dengan eluen. Senyawa awal (asam *p*-kumarat) ditotolkan sebagai senyawa pembanding. Pelat KLT dieluasi hingga eluen mencapai garis batas atas yang telah dibuat. Pelat KLT yang sudah dieluasi, dilihat dibawah sinar UV pada panjang gelombang 254 nm, setelah semua proses selesai kemudian dilakukan pengamatan secara visual dan menghitung harga R<sub>f</sub> masing-masing noda.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pemeriksaan Organoleptis

Pada proses reaksi metilasi terjadi perubahan senyawa dari asam *p*-kumarat menjadi metil 3-(4-metoksifenil) akrilat), sesuai dengan mekanisme reaksi pada [Gambar 1](#). Perubahan tersebut menyebabkan gugus asam karboksilat berubah menjadi gugus ester, dan gugus OH fenolik menjadi eter. Ciri khas dari gugus ester yaitu memiliki aroma khas yang harum seperti pada senyawa hasil sintesis ([Gambar 2](#)) ([Tabel 1](#)).



**Gambar 2.** Hasil Organoleptis Senyawa Hasil Metilasi

**Tabel 1.** Hasil Organoleptis Senyawa Hasil Metilasi

Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	
	Senyawa Awal ( <i>p</i> -kumarat)	Senyawa Hasil Metilasi (Metil 3-(4-metoksifenil)akrilat)
Bentuk	Serbuk	Serbuk
Warna	Coklat	Orange
Bau	Menyengat	Bau khas

**Proses Sintesis**

Reaksi metilasi asam *p*-kumarat menjadi metil 3-(4-metoksifenil) akrilat mengadaptasi dari penelitian dari Yulinda (2013), yaitu dengan agen metilasi dimetil karbonat (DMC). Metode sintesis yang digunakan yaitu *green chemistry microwave* pada daya 200 watt.

Adanya suasana basa merubah gugus asam karboksilat menjadi ion karboksilat yang bersifat nukleofil dan menyerang gugus metil dari dimetil karbonat. Demikian juga harapannya pada gugus OH fenolik. Dimetil karbonat dan kalium karbonat digunakan berlebih agar reaksi bergeser ke kanan, ke arah produk reaksi.

**Hasil Pemantauan Kesempurnaan Reaksi**

Hasil reaksi dicek tiap 30 detik dengan diambil sampel hasil reaksi dan ditotolkan pada KLT. Hasilnya ditampilkan pada [Tabel 2](#) dengan eluen etil asetat: metanol (7:1), setelah dieluasi noda diamati di bawah sinar UV 254 nm. Sedangkan hasil pemeriksaan KLT standart dan sampel hasil daya 200 watt pada eluen kloroform: aseton (1:2) dan kloroform : etil asetat (1: 3) dilihat pada [Tabel 3](#).

**Tabel 2.** Hasil Pemeriksaan KLT Standart dan Sampel Hasil Daya 200 Watt pada Eluen Etil Asetat : Methanol (7:1)

Nama	Perhitungan Rf	Nilai Rf
Standart asam <i>p</i> -kumarat (B)	$Rf = \frac{\text{Jarak Noda}}{\text{Jarak Eluen}} = \frac{2,9}{5,6}$	0,52
Menit ke 15 x 30 detik (15)	$Rf = \frac{\text{Jarak Noda}}{\text{Jarak Eluen}} = \frac{3,7}{5,6}$	0,66

**Tabel 3.** Hasil Pemeriksaan KLT Standart dan Sampel Hasil Daya 200 Watt pada Eluen Kloroform: Aseton (1:2) dan Kloroform : Etil Asetat (1: 3)

Eluen	Nama	Perhitungan Rf	Nilai Rf
Kloroform : Aseton (1:2)	Standart asam <i>p</i> -kumarat (B)	$Rf = \frac{\text{Jarak Noda}}{\text{Jarak Eluen}} = \frac{2,1}{3,1}$	0,67
	Menit ke 15 x 30 detik (15)	$Rf = \frac{\text{Jarak Noda}}{\text{Jarak Eluen}} = \frac{2,1}{3,1}$	0,67
Kloroform : Etil Asetat (1:3)	Standart asam <i>p</i> -kumarat (B)	$Rf = \frac{\text{Jarak Noda}}{\text{Jarak Eluen}} = \frac{2,1}{3,1}$	0,80
	Menit ke 15 x 30 detik (15)	$Rf = \frac{\text{Jarak Noda}}{\text{Jarak Eluen}} = \frac{2,1}{3,1}$	0,80

Dari data di atas, tampak bahwa ada salah satu eluen yang menghasil harga Rf yang berbeda antara senyawa awal dan produk. Rf senyawa produk lebih tinggi dari senyawa awal diduga karena terbentuknya ester atau eter atau keduanya pada produk. Kemudian dilakukan lagi uji KLT dengan eluen yang berbeda yaitu kloroform: aseton (1:2) dan kloroform : etil asetat (1: 3). Hasil menunjukkan nilai Rf yang tidak berbeda dengan standar ([Gambar 3](#)).



**Gambar 3.** Hasil KLT pada Sampling Reaksi ke- 14 x 30 Detik dan Sampling ke-15 x 30 Detik pada Eluen Loroform : Aseton (1:2) dan Kloroform : Etil Asetat (1:3)

**Hasil Reaksi FeCl<sub>3</sub>**

Untuk menguji masih adanya gugus fenol pada produk maka dilakukan uji dengan pereaksi FeCl<sub>3</sub>. Senyawa yang memiliki gugus fenol akan membentuk senyawa kompleks dengan ion ferri membentuk warna biru atau ungu kehitaman. Pada reaksi metilasi asam *p*-kumarat pada *microwave* dengan daya 200 watt menunjukkan perubahan warna dari kuning gelap menjadi warna kecoklatan kehitaman. Hal ini diduga adanya gugus fenol terkonfirmasi pada spektra IR pada bilangan gelombang 3402 cm<sup>-1</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa gugus fenol belum termetilasi memperkuat dengan hasil reaksi dengan FeCl<sub>3</sub> ([Gambar 4](#)).



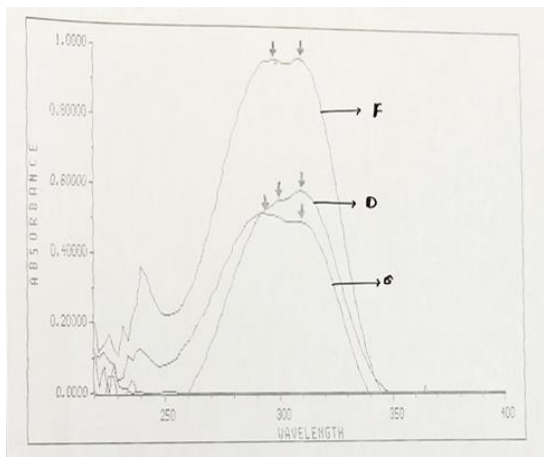
**Gambar 4.** Hasil Pemerian FeCl<sub>3</sub> Sampel Hasil pada Daya 200 watt

**Uji Spektrofotometri UV-Vis**

Hasil puncak serapan maksimum pada spektrofotometer UV-Vis menunjukkan 2 panjang gelombang di setiap sampel. Berdasarkan Silverstein (1981), senyawa hasil metilasi memiliki panjang gelombang maksimum yang memiliki perbedaan tidak bermakna dengan senyawa awal (pergeseran dibawah 5 nm) ([Gambar 5](#) & [Tabel 4](#)). Hal itu menunjukkan bahwa tidak ada perubahan gugus kromofor dari senyawa awal.

**Tabel 4.** Hasil Pemeriksaan Senyawa Awal Standar dan Hasil Reaksi

Sampel	Puncak Serapan Maksimum (λmaks)	
	λ <sub>1</sub> (nm)	λ <sub>2</sub> (nm)
Senyawa awal asam <i>p</i> -kumarat	300	310
Senyawa hasil reaksi	298	310



Gambar 5. Spektra UV Senyawa Awal dan Hasil Sintesis

### Persentase Hasil Reaksi

Setelah dilakukan proses reaksi, dilakukan pemisahan, penguapan, kemudian senyawa hasil metilasi ditimbang dan dihitung persentase hasilnya sesuai dengan tabel dibawah. Persentase hasil didapatkan dari persentase perbandingan berat hasil metilasi dengan berat hasil teoritis (549 mg) dan didapat prosentase hasil rata-rata 24% (Tabel 5).

Tabel 5. Persentasi Hasil Sintesis pada 200 Watt

Replikasi	Berat Hasil Metilasi (mg)	Persentase Hasil (%)	Rata-rata Persentase Hasil (%)
1	90	16	24
2	126	23	
3	174	32	

### Analisis Senyawa Menggunakan FTIR

Berdasarkan Tabel 6, interpretasi data bilangan gelombang menunjukkan adanya perbedaan antara senyawa awal dan senyawa hasil metilasi. Secara struktur, asam *p*-kumarat dan hasil metilasi senyawa memiliki perbedaan gugus fungsi. Asam *p*-kumarat memiliki gugus –OH karboksilat dan OH fenolik, sedangkan dalam senyawa hasil metilasi tidak terdapat gugus – OH karboksilat dan memiliki gugus OH fenolik yang ditunjukkan pada bilangan gelombang 3402  $\text{cm}^{-1}$  dengan spektrum serapan yang kuat dan lebar (Tabel 6).

Analisis senyawa hasil menunjukkan senyawa memiliki gugus ester (C=O dan C-O) yang tidak dimiliki oleh senyawa asam *p*-kumarat. Serapan gugus ester pada spektrum FT-IR ditunjukkan pada bilangan gelombang 1671  $\text{cm}^{-1}$  (gugus C=O) dan 1243  $\text{cm}^{-1}$  (gugus C-O) (Gambar 6).

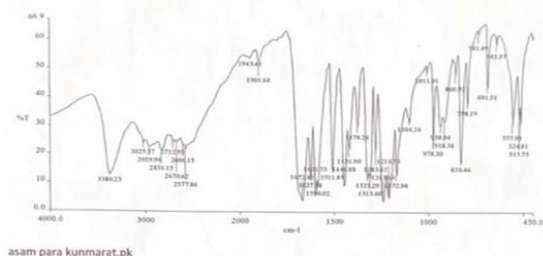
Adanya perbedaan hasil sidik jari pada spektrum FT-IR senyawa asam *p*-kumarat dan senyawa hasil metilasi menunjukkan bahwa sintesis yang telah dilakukan telah menghasilkan senyawa baru, yaitu metil  $\epsilon$  3-(4-hidroksifenil) akrilat (Gambar 7). Hal ini menunjukkan bahwa asam para kumarat termetilasi pada gugus karboksilatnya.

### Analisis Senyawa Menggunakan Spektrofotometri $^1\text{H-NMR}$

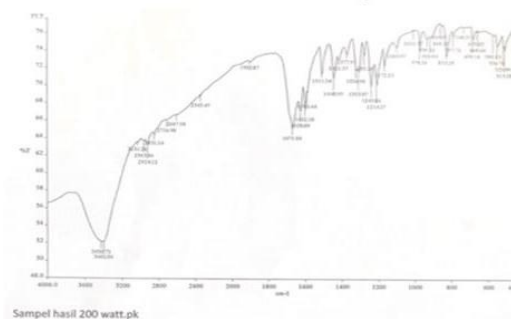
Pada Gambar 8 terkonfirmasi adanya tiga proton metil ester dari asam karboksilat berupa puncak singlet pada geseran kimia 2,050 ppm. Adanya proton pada OH fenolik pada geseran kimia 8,92 ppm, ikatan rangkap dua

Tabel 6. Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ ) Senyawa Awal dan Hasil Sintesis Dibandingkan dengan Pustaka

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ ) teoritis (Pavia et al., 2015)	Bilangan Gelombang Data ( $\text{cm}^{-1}$ )	
		Asam <i>p</i> -kumarat	Senyawa Hasil Sintesis
OH Fenolik	3400 – 3300 (broad, strong)	3380	3378
Asam Karboksilat			
C=O	1730 – 1700 (strong)	1627	-
O-H	3400 – 2400 (broad, strong)	3380	-
C-O	1320-1210	1313	-
Ester			
C=O	1740 – 1715 (strong)	-	1671
C-O	1300 – 1000 (strong)	-	1243
Eter			
C-O	1300 – 1000 (strong)	-	-
Alkena			
C=C	1680-1600 (variable)	1672	1628
Aromatis			
C=C	1600-1475 (medium)	159-1448	1602-1590
C-H	900 – 690 (strong)	978	833

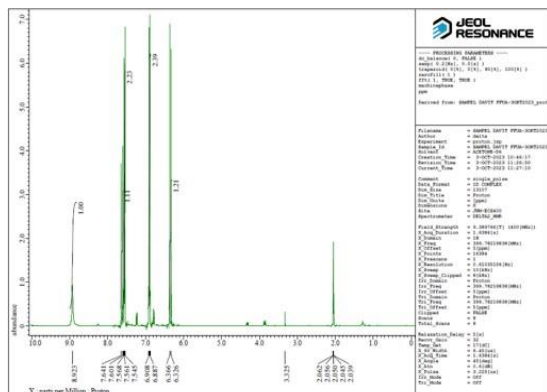


Gambar 6. Spektra FTIR Senyawa Asam *p*-kumarat



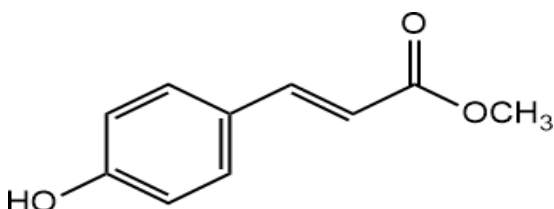
Gambar 7. Spektra FTIR Hasil Sintesis

bentuk trans tampak pada geseran kimia 6,35 ppm;  $J = 16$  Hz dan 7,62 ppm;  $J = 16$  Hz. Adanya empat proton inti aromatis terkonfirmasi pada geseran kimia 6,89-7,55 ppm.  $J = 8,5$  Hz dan 6,4 Hz dan menunjukkan gugus fungsi substitusi para. Dari data – data tersebut disimpulkan struktur hasil metilasi asam *p*-kumarat terjadi pada gugus asam karboksilat dan bukan pada gugus fenol seperti Gambar 6.



Gambar 8. Hasil Spektra <sup>1</sup>H-NMR Hasil Sintesis

Berdasarkan data-data di atas maka disimpulkan bahwa hasil sintesis adalah senyawa senyawa metil (E)-3-(4-hidroksifenil) akrilat seperti struktur pada Gambar 9. Hasil ini berbeda dengan yang pernah dilakukan oleh Ekowati *et al.*, (2019) yang melakukan metilasi asam *p*- kumarat dan dimetil sulfat menghasilkan metil (E)-3-(4- metoksifenil) akrilat. Reaksi antara asam *o*-kumarat dengan pereaksi dimetil sulfat dalam suasana basa KCO<sub>3</sub> dan pelarut aseton juga menghasilkan metilasi baik pada gugus asam karboksilat berubah menjadi ester dan gugus OH-fenolik menjadi eter (Yaqin *et al.*, 2021).



Gambar 9. Struktur Senyawa Metil ( E)- 3- (4- hidroksifenil) akrilat

## KESIMPULAN

Reaksi metilasi senyawa asam *p*-kumarat dengan preaksi dimetil karbonat dengan daya 200 watt selama 15 kali 30 detik tidak menghasilkan senyawa metil (E)-3-(4-metoksifenil)- akrilat, tetapi menghasilkan senyawa metil (E)-3-(4-hidroksifenil) akrilat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Belwal, S. (2013) 'Green revolution in chemistry by microwave assisted synthesis: A review', *Modern Chemistry*, 1(3), pp. 22-25.
- Caron, S. (2011) Practical synthetic organic chemistry. Available at: <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results> (Accessed: 4 July 2024).
- de Paiva, L. B., Goldbeck, R., dos Santos, W.D. and Squina, F. M. (2013) 'Ferulic acid and derivatives: Molecules with potential application in the pharmaceutical field', *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 49(3), pp. 395-411. <https://doi.org/10.1590/S1984-82502013000300002>.
- Ekowati, J., Diyah, N.W. and Syahrani, A. (2019) 'Synthesis and antiplatelet activities of some

derivatives of *p*-coumaric acid', *Chemistry & Chemical Technology*, 13(3), pp. 296-302.

- Gilbert, J. C. and Martin, S.F. (2011) 'Experimental Organic Chemistry: A Miniscale and Microscale Approach', *Journal of Chemical Education*, 107(2704), pp. 807-807. <https://doi.org/10.1038/107807d0>.
- Grewal, A.S., Kumar, K., Reshu, S. and Bhardwaj, S. (2013) 'Microwave assisted synthesis: a green chemistry approach', *International Research Journal of Pharmacy and Applied Sciences*, 3(5), pp. 278-285.
- Islam, M.F., Firdaus and Soekamto, N.H. (2016) 'Synthesis of Compound N-Phenetyl 4-O-Acetyl Ferulamide from Ferulic Acid Through Indirect Amidation Method', *Indonesian Journal of Chemistry*, 4(1), pp. 344-347.
- Kumar, N. and Pruthi, V. (2014) 'Potential applications of ferulic acid from natural sources', *Biotechnology Reports*, 4(1), pp. 86-93. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.09.002>.
- Mcmurry, J. (2011) 'Fundamentals of organic chemistry', *Journal of Chemical Education*, 7th edn, 60(10). <https://doi.org/10.1021/ed060pa283.2>.
- Pramono, S. (1986) Tinjauan umum senyawa-senyawa fenol nabati. Fakultas Pascasarjana: Universitas Gajah Mada.
- Shuai, S. and Yue, G. (2018) 'Ferulic Acid, A Potential Antithrombotic Drug', *Journal of Lung Health and Diseases*, 2(2), pp. 25-28. <https://doi.org/10.29245/2689-999x/2017/2.1127>.
- Solomons, T.W.G., Fryhle, C. B. and Snyder, S. A. (2016) Organic chemistry, 12th edn. John Wiley & Sons, Inc. Available at: <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results> (Accessed: 4 July 2024).
- Tundo, P. (2001) 'New developments in dimethyl carbonate chemistry', *Pure and Applied Chemistry*, 73(7), pp. 1117-1124. <https://doi.org/10.1351/pac200173071117>.
- Vermerris, W. and Nicholson, R. (2006) Phenolic Compound Biochemistry. Springer, Dordrecht.
- Yaqin, I.N., Ekowati, J. and Nofianti, K.A. (2021) 'Pemanfaatan Iradiasi Gelombang Mikro pada Sintesis Metil orto-metoksisinamat', *Jurnal Sains Farmasi & Klinis*, 8(2), pp. 157-163.
- Yulinda, L.R., Wahyuningsih, T.D. and Pranowo, H.D. (2013) 'Metilasi Asam Galat Menggunakan Agen Metilasi Dimetil Sulfat (DMS) atau Dimetil Karbonat (DMC)', *Bimipa*, 23, pp. 198-210.