

Perbandingan Metode Sonikasi dan Radiasi Gelombang Mikro dalam Sintesis Isoeugenol dengan Katalis Ruthenium(III) klorida

Comparison of Sonication and Microwave Radiation Methods in the Synthesis of Isoeugenol Using Ruthenium(III) Chloride Catalyst

Athina Mardatillah*, Dadan Suryasaputra, Rina Anugrah, Tyara Kartika, Estu Widiastia
Fakultas Farmasi, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia
*E-mail: athina.mardhatillah@lecture.unjani.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.26874/jkk.v6i2.212>

Received: 8 Sept 2023, Revised: 16 Nov 2023, Accepted: 18 Nov 2023, Online: 6 Des 2023

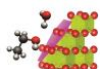
Abstrak

Transformasi eugenol menjadi isoeugenol diperoleh melalui reaksi isomerisasi, reaksi ini umumnya dipengaruhi oleh katalis dan suhu. Salah satu upaya untuk mempercepat laju reaksi dapat menggunakan bantuan energi agar dapat menghasilkan metode sintesis yang efisien. Metode yang umum digunakan dalam mempercepat laju reaksi diantaranya dengan energi ultrasonik dan energi dari gelombang mikro. Sebanyak 0,24% (b/b) katalis direaksikan dengan eugenol kemudian dilakukan sonikasi serta radiasi gelombang mikro. Analisis karakterisasi pada larutan produk sintesis dengan menggunakan kedua metode menunjukkan adanya perubahan struktur pada ikatan rangkap gugus alkenil eugenol menjadi isoeugenol, yang dibuktikan dengan nilai indeks bias, profil KLT, spektrum IR, dan ¹H-NMR. Nilai indeks bias pada larutan produk sintesis dengan menggunakan sonikasi dan radiasi gelombang mikro masing-masing adalah 1,579 dan 1,574. Hasil analisis spektroskopi inframerah terhadap produk-produk sintesis kedua metode terdapat gugus (C=C) alkena pada 1602,25 cm⁻¹ dan gugus metil (-CH₃) pada 2938,83 cm⁻¹. Begitu pula hasil analisis spektroskopi ¹H-NMR terhadap produk sintesis menghasilkan 12 proton, dan pada geseran kimia δ_H 1,85 ppm dan δ_H 1,87 ppm menunjukkan terbentuknya gugus -CH₃. Sehingga berdasarkan nilai persen rendemen produk sintesis yang dihasilkan dengan menggunakan metode sonikasi dan radiasi gelombang mikro yang masing-masing sebesar 97,87% dan 82,97%, menunjukkan metode sonikasi lebih efisien.

Kata kunci: isoeugenol, katalis ruthenium (III) klorida, radiasi gelombang mikro, sintesis, sonikasi.

Abstract

The transformation of eugenol into isoeugenol is achieved through isomerization, a reaction commonly influenced by catalysts and temperature. One of the efforts to accelerate the reaction rate involves the use of energy assistance to create an efficient synthesis method. Commonly used methods to expedite reaction rates include ultrasonic energy and microwave radiation. In this study, 0.24% (b/b) of the catalyst was reacted with eugenol. Characterization analysis of the synthesized solution indicates that both methods resulted in structural changes in the double bond of the eugenol alkenyl group, forming isoeugenol. This transformation was confirmed through refractive index values, TLC, IR spectroscopy, and ¹H-NMR analysis. The refractive index values for the synthesized solutions using sonication and microwave radiation were 1.579 and 1.574, respectively. Infrared spectroscopy analysis of the products synthesized by both methods revealed the presence of (C=C) alkene groups at 1602.25 cm⁻¹ and methyl (-CH₃) groups at 2938.83 cm⁻¹. Similarly, the ¹H-NMR spectroscopy analysis of the synthesized products showed the presence of 12 protons with a H value of 1.9 ppm, indicating the formation of -CH₃ groups. Therefore, based on the percentage yield values of synthesized products obtained using sonication and



microwave radiation methods, which were 97.87% and 82.97%, respectively, it can be concluded that the sonication method is more efficient.

Keywords: isoeugenol, catalyst ruthenium (III) chloride, microwave radiation, synthesis, sonication.

1 Pendahuluan

Isoeugenol adalah senyawa yang dihasilkan dari isolasi tumbuhan dan telah ditemukan memiliki berbagai aktivitas farmakologi, termasuk sebagai antioksidan dan potensial antikanker [1,2]. Namun, jumlah isoeugenol yang ada di alam terbatas, sehingga reaksi sintesis diperlukan untuk menghasilkannya dalam jumlah yang memadai untuk keperluan obat-obatan. Oleh karena itu, pengembangan metode sintesis isoeugenol menjadi suatu kebutuhan.

Reaksi sintesis dasar untuk pembentukan isoeugenol melibatkan isomerisasi senyawa eugenol dengan bantuan katalis [3,4]. Isomerisasi adalah proses perubahan molekul menjadi molekul baru dengan rumus empiris yang tetap. Proses isomerisasi eugenol menjadi isoeugenol memerlukan energi aktivasi tinggi, sehingga membutuhkan katalis untuk menurunkan energi aktivasi tersebut. Katalis digunakan untuk mempercepat reaksi menuju kesetimbangan. Katalis yang digunakan dapat berupa katalis basa kuat atau katalis logam transisi [4].

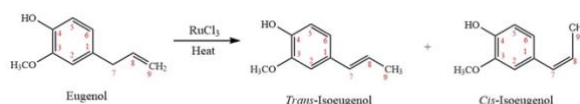
Penelitian awal tentang reaksi isomerisasi eugenol menjadi isoeugenol dilakukan pada tahun 1987 dengan menggunakan katalis RhCl_3 [5]. Namun, proses ini memakan waktu yang cukup lama, sehingga tidak efisien. Penelitian selanjutnya mengusulkan metode yang dapat mempercepat reaksi, seperti penggunaan radiasi gelombang mikro sebagai sumber panas. Penelitian pada tahun 2006 menunjukkan bahwa penggunaan radiasi gelombang mikro dengan katalis $\text{RhCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dapat meningkatkan rendemen produk [6].

Pada tahun 2015, metode sintesis isoeugenol secara konvensional menggunakan oven dengan suhu tinggi dan katalis kuat memerlukan waktu yang lama. Oleh karena itu, dikembangkan metode alternatif menggunakan sonikasi, yaitu memanfaatkan energi gelombang ultrasonik. Metode sonikasi ini telah menghasilkan persentase rendemen yang tinggi [7].

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa penggunaan katalis RuCl_3 dalam reaksi isomerisasi eugenol menjadi metil isoeugenol dapat memberikan rendemen yang tinggi [3,8]. Oleh karena itu, penelitian yang akan dilakukan bertujuan untuk memodifikasi metode sintesis isoeugenol dengan menggunakan katalis RuCl_3

yang selektif dan memiliki rendemen tinggi, serta memadukan metode sonikasi dan radiasi gelombang mikro untuk mempercepat reaksi [3]. Penelitian ini akan mengkaji kinerja RuCl_3 sebagai katalis dalam reaksi isomerisasi eugenol menjadi isoeugenol, serta mencari perbedaan dalam persentase rendemen antara penggunaan metode sonikasi dan radiasi gelombang mikro.

Pada penelitian dilakukan pembuktian untuk menjawab rumusan permasalahan dengan berdasarkan teori dari penelitian yang pernah dilakukan [3]. Reaksi isomerisasi terjadi akibat adanya perpindahan alkena pada posisi 8,9 menjadi 7,8 (Gambar 1) [8], reaksi ini terjadi karena adanya energi dan katalis yang terlibat. Katalis RuCl_3 merupakan katalis logam transisi yang mampu membentuk kompleks dengan alilik elektron (kompleks hidrida alpha alil)¹⁴, dimana kemudian agar terjadi kesetimbangan maka akan terjadi pengaturan ulang terhadap elektron sehingga berpindah ikatan rangkap yang semula berupa alken terminal menjadi posisi internal [4,8].

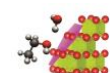


Gambar 1. Reaksi kimia isomerisasi senyawa eugenol menjadi kemungkinan Trans-Isoeugenol dan Cis-Isoeugenol dengan katalis RuCl_3 dan bantuan panas dari alat microwave dan sonikasi.

2 Metode Penelitian

2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Timbangan analitik (Shimadzu® AP324X), *magnetic stirrer*, Microwave Sharp J-Tech (R-650GX), Sonikator (Biostellar Ultrasonic Cell Disrupter), set alat destilasi, *ABBE-refractometer*, cabinet UV lamp model UV-CM, beaker glass 100 mL dan 250 mL (Pyrex), gelas ukur 25 mL (Pyrex), corong pisah 250 mL (Pyrex), corong gelas 50 mm (Pyrex), kaca arloji, batang pengaduk, pipet tetes, pipa kapiler, bejana KLT, termometer oven, kertas perkamen, aluminium foil, centrifuge tube Biologix®, Instrumen FT-IR (Bruker FT-IR Spectrometer Alpha II), dan Instrumen NMR (500 MHz (¹H) DD2 Agilent).



2.2 Bahan

Eugenol (Merck), ruthenium (III) chloride (Loba Chemie), etanol *pro analysis* (Merck), air (H₂O), TLC silika gel 60 F₂₅₄ (Merck), kloroform *pro analysis* (Merck) n-heksan *pro analysis* (Merck) dan etanol *pro analysis* (Merck).

2.3 Prosedur

Prosedur isomerisasi eugenol dimodifikasi dengan penambahan katalis RuCl₃ sebagai berikut. Ditimbang eugenol sebanyak 25 dan ditambahkan katalis RuCl₃ 0,24% dalam etanol. Vial yang berisi campuran dibuat 2, kemudian masing-masing dimasukkan ke dalam alat sonikasi dan microwave. Pada alat sonikasi waktunya diatur 30 menit dengan kekuatan 75 mhZ pada suhu 60°C [7]. Alat microwave diatur 2 menit pada kekuatan 250 watt pada suhu 70°C [5]. Filtrat kemudian di murnikan dengan cara distilasi kemudian di karakterisasi menggunakan instrumen FTIR, dan NMR.

3 Hasil dan Diskusi

Penelitian diawali dengan pemeriksaan fisika kimia bahan baku eugenol meliputi pemeriksaan organoleptik dan nilai indeks bias. Secara organoleptis eugenol berupa cairan berwarna kuning pucat, bau seperti cengkeh kuat dan menusuk. Nilai indeks bias sebesar 1,541. Setelah dilakukan identifikasi bahan baku, kemudian dilakukan reaksi isomerisasi. Dibuat dua set proses sintesis A dan B dengan menimbang sebanyak 60 mg ruthenium (III) klorida (RuCl₃) dan 25 g eugenol, kemudian di campur dengan etanol *pro analysis* hingga 100 mL, diaduk menggunakan *magnetic stirrer* agar homogen, larutan tersebut berubah warna menjadi biru tua kehitaman. Kemudian larutan pertama (A) dipanaskan dengan radiasi gelombang mikro pada tingkat daya 180 watt selama 1 menit [9]. Sedangkan larutan kedua (B) disonikasi selama 40 menit dengan *power rate* 70% dan suhu 70°C [3,7]. Selanjutnya kedua larutan (A dan B) masing-masing dilakukan ekstraksi cair-cair produk sintesis dalam kloroform dan akuades masing-masing sebanyak 23 mL dan dilakukan secara triplo, sehingga terbentuk warna menjadi hijau kehitaman. Penggunaan dua larutan yang tidak bercampur ini dikarenakan kedua senyawa yang akan dipisahkan yaitu katalis dan produk sintesis memiliki sifat kepolaran yang berbeda, sehingga metode ekstraksi cair-cair yang digunakan dalam penelitian ini [10]. Lalu dilanjutkan proses pemurnian dengan destilasi pada suhu 65-70°C selama 30 menit dan kedua

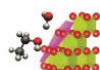
larutan berubah menjadi warna kuning kecoklatan. Metode destilasi melalui proses yang efektif ketika digunakan untuk campuran dalam bentuk cairan yang memiliki suhu didih berbeda dan tanpa mengalami dekomposisi, sehingga katalis yang titik didihnya lebih rendah daripada senyawa produk sintesis dapat menguap terlebih dahulu, menghasilkan senyawa produk sintesis yang murni [11].

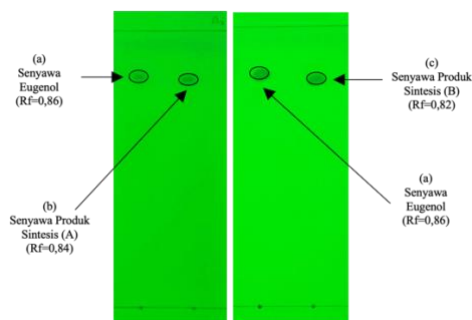


Gambar 2. Larutan produk Sintesis (A) Metode Microwave (B) Metode Sonikasi

Nilai rendemen produk sintesis pada larutan pertama dan kedua masing-masing adalah 82,97% dan 97,87%. Nilai indeks bias produk sintesis pada larutan pertama dan kedua masing-masing adalah 1,579 dan 1,574. Uji indeks bias dapat digunakan sebagai metode untuk menilai kemurnian suatu senyawa sintetik, namun sering kali digunakan bersamaan dengan metode analisis lain untuk memastikan kemurnian dan karakter suatu senyawa. Indeks bias adalah ukuran seberapa banyak cahaya berubah arah ketika melewati suatu zat dan merupakan sifat fisik unik tiap zat. Apabila senyawa murni diperiksa dengan pengukuran indeks bias, hasilnya dapat dibandingkan dengan indeks bias senyawa murni yang diketahui [12].

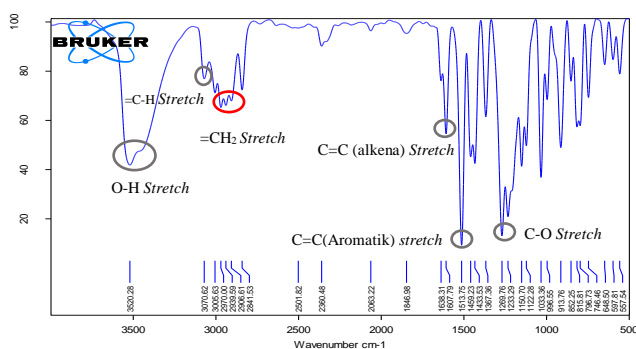
Selanjutnya untuk menguji kemurnian dari produk sintesis, dilakukan uji Kromatografi Lapis Tipis. Fase gerak yang digunakan dalam sistem KLT adalah perbandingan kloroform : n-heksan : metanol (3:2:1). Bercak yang dihasilkan oleh senyawa produk sintesis dibandingkan dengan senyawa eugenol. Sehingga didapat nilai R_f Eugenol 0,86; R_f larutan produk sintesis pertama 0,84; dan R_f larutan produk sintesis kedua 0,82. Jika senyawa yang disintesis murni, hanya akan ada satu bercak yang terelusi. Namun, jika terdapat senyawa lain atau campuran dalam sampel yang diuji, maka akan muncul bercak lainnya. Oleh karena itu, kromatografi lapis tipis dapat digunakan untuk memeriksa kemurnian senyawa produk sintesis dan mendeteksi keberadaan senyawa lain [13].





Gambar 3. Kromatogram Hasil KLT (a) Bercak Eugenol (Rf=0,86), (b) Bercak Senyawa Produk Sintesis A (Rf=0,84), (c) Bercak Senyawa Produk Sintesis B (Rf=0,82)

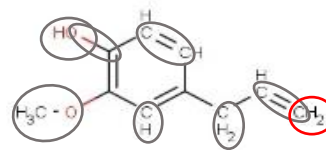
Spektroskopi inframerah dapat digunakan untuk mengkonfirmasi identitas suatu senyawa dengan membandingkan spektrum IR sampel dengan spektrum referensi senyawa yang diketahui [14]. Setiap senyawa memiliki pola getaran unik yang akan muncul pada spektrum IR, sehingga memungkinkan identifikasi terhadap senyawa produk sintesis. Spektrum inframerah adalah ilustrasi pita serapan khas gugus fungsi yang terdapat dalam molekul organik. Gugus yang terdapat pada senyawa akan bergetar karena diberikan sejumlah energi dari instrumen IR [15]. Respon alat berupa spektrum yang dihasilkan kemudian digunakan untuk analisis kualitatif guna menentukan ada tidaknya gugus fungsi tertentu. Pada hasil karakterisasi ini diharapkan akan muncul gugus fungsi yang menunjukkan perbedaan antara senyawa eugenol dengan produk produk sintesis. Gugus fungsi yang membedakannya adalah adanya gugus C=C yang terkonjugasi dengan gugus aromatik.



Gambar 4 Spektrum IR Eugenol

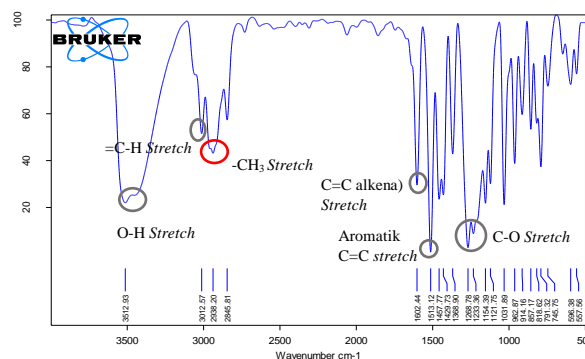
Pada spektrum IR eugenol yang ditampilkan pada Gambar 4 terdapat puncak lebar pada bilangan gelombang $3520,28 \text{ cm}^{-1}$ (pustaka $3400-3300 \text{ cm}^{-1}$) yang menunjukkan adanya vibrasi regang gugus O-H (fenol). Vibrasi regang gugus

C-O pada bilangan gelombang $1269,76 \text{ cm}^{-1}$ (pustaka $1260-1000 \text{ cm}^{-1}$).



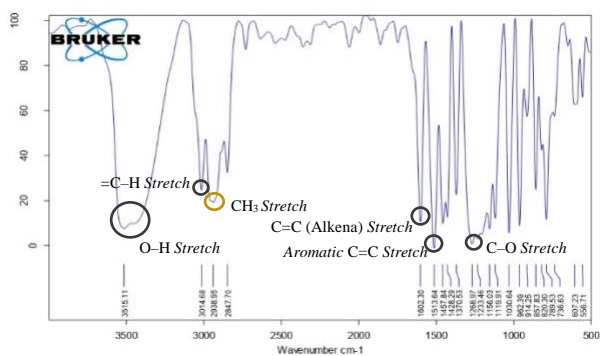
Gambar 5 Struktur Kimia Eugenol

Adanya gugus alkena (C=C) ditunjukkan pada bilangan gelombang $1638,31 \text{ cm}^{-1}$ (pustaka $1680-1600 \text{ cm}^{-1}$). Vibrasi regang gugus C=C pada cincin aromatik ditunjukkan pada bilangan gelombang $1513,75 \text{ cm}^{-1}$ (pustaka $1600-1450 \text{ cm}^{-1}$). Vibrasi regang gugus =C-H pada cincin aromatik muncul pada bilangan gelombang $3005,63 \text{ cm}^{-1}$ (pustaka $3050-3010 \text{ cm}^{-1}$). Terdapat puncak pada bilangan gelombang $2906,61-3005,63 \text{ cm}^{-1}$ (pustaka 2900 cm^{-1}) yang menunjukkan adanya gugus =CH₂ [16].

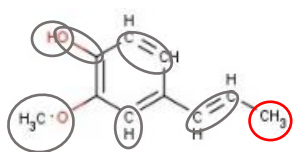


Gambar 6 Spektrum IR Senyawa Produk Sintesis A

Sedangkan spektrum IR pada senyawa produk sintesis A terlihat pada gambar 5 puncak pada bilangan gelombang $3512,79 \text{ cm}^{-1}$ (pustaka $3400-3200 \text{ cm}^{-1}$) menunjukkan adanya regang O-H gugus fenol. Regang C-O terdeteksi pada bilangan gelombang $1268,78 \text{ cm}^{-1}$ (pustaka $1300-1000 \text{ cm}^{-1}$). Gugus regang =C-H muncul pada bilangan gelombang $3014,59 \text{ cm}^{-1}$ (pustaka $> 3000 \text{ cm}^{-1}$) dan vibrasi tekuk gugus metil (-CH₃) ditunjukkan pada bilangan gelombang $2937,39 \text{ cm}^{-1}$ (pustaka $< 3000 \text{ cm}^{-1}$). Sedangkan pada gelombang $1601,96 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C=C alkena (pustaka $1680-1600 \text{ cm}^{-1}$) vibrasi C=C aromatik ditunjukkan pada gelombang $1512,91 \text{ cm}^{-1}$ (pustaka $1600-1450 \text{ cm}^{-1}$) [16].



Gambar 7. Spektrum IR Senyawa Produk Sintesis B



Gambar 8. Struktur Kimia Senyawa Produk Sintesis

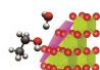
Pada spektrum IR pada senyawa produk sintesis B terlihat pada gambar 6 terdapat puncak lebar pada bilangan gelombang $3515,11 \text{ cm}^{-1}$ (pustaka $3400\text{-}3300 \text{ cm}^{-1}$) menunjukkan adanya vibrasi regang gugus O–H (fenol). Vibrasi regang gugus C–O pada bilangan gelombang $1268,97 \text{ cm}^{-1}$ (pustaka $1260\text{-}1000 \text{ cm}^{-1}$). Adanya gugus alkena (C=C) ditunjukkan pada bilangan gelombang $1602,30 \text{ cm}^{-1}$ (pustaka $1680\text{-}1600 \text{ cm}^{-1}$). Vibrasi regang gugus C=C pada cincin aromatik ditunjukkan pada bilangan gelombang $1513,64 \text{ cm}^{-1}$ (pustaka $1600\text{-}1450 \text{ cm}^{-1}$). Vibrasi regang gugus =C–H pada cincin aromatik muncul pada bilangan gelombang $3014,68 \text{ cm}^{-1}$ (pustaka $3050\text{-}3010 \text{ cm}^{-1}$) dan vibrasi gugus tekuk metil ($-\text{CH}_3$) muncul pada bilangan gelombang $2938,95 \text{ cm}^{-1}$ (pustaka $<3000 \text{ cm}^{-1}$) [16]. Perbedaan nilai bilangan gelombang dapat dilihat pada Tabel 1 tentang perbandingan nilai bilangan gelombang antara eugenol dan senyawa A juga senyawa B. Berdasarkan data tersebut, dapat dipastikan bahwa secara umum struktur eugenol dan isoeugenol memiliki struktur dasar hidroksil, metoksi dan aril. Gugus alil yang muncul pada senyawa eugenol ditunjukkan pada bilangan gelombang $2906,61\text{-}3005,63 \text{ cm}^{-1}$ (gugus $=\text{CH}_2$), sedangkan pada senyawa A dan B muncul gugus $-\text{CH}_3$ yang terlihat pada nilai bilangan gelombang secara berturut-turut sebesar $2937,39 \text{ cm}^{-1}$ dan $2938,95 \text{ cm}^{-1}$.

Tabel 1. Perbandingan nilai bilangan gelombang antara eugenol dengan larutan produk sintesis berdasarkan nilai yang tercantum di literatur.

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})			Literatur
	Eugenol	A	B	
O-H stretch	3520,28	3512,79	3515,11	3400-3300
C-O stretch	1269,76	1268,78	1268,97	1260-1000
C=C (alkene)	1638,31	1601,96	1602,30	1680-1600
C=C (aromatic) stretch	1513,75	1512,91	1513,64	1600-1450
=C-H	3005,63	3014,59	3014,68	>3000
=CH ₂	2906,61	-	-	2900
-CH ₃ (metil) bending	-	2937,39	2938,95	<3000

*Literatur yang digunakan adalah Pavia [16].

Identifikasi selanjutnya dengan menggunakan pengukuran $^1\text{H-NMR}$ 500 MHz. Berdasarkan data pada tabel keseluruhan data menunjukkan jumlah proton yang sama yaitu 12 proton, perbedaan nilai geseran kimia beberapa gugus yang sama pada senyawa eugenol dan isoeugenol dapat disebabkan adanya interaksi antara proton dengan suasana kimia dalam senyawa tersebut, misalkan, proton H nomor 3 pada eugenol akan muncul di bilangan gelombang yang berbeda dengan proton H nomor 2, sedangkan pada isoeugenol proton nomor 3 tidak akan muncul, karena proton ini muncul Bersama-sama dengan proton nomor 2 dengan puncak yang lebih tinggi. Hal ini dipengaruhi oleh adanya pengaruh dari proton geminal nomor 3 yang terikat pada karbon alkena. Fenomena ini yang disebut *long range coupling*, yaitu di mana dua inti atom dalam molekul yang terpisah cukup jauh satu sama lain masih berinteraksi melalui ikatan kovalen [17]. Nilai geseran kimia dapat menunjukkan jenis-jenis gugus fungsi yang muncul pada daerah tertentu, sehingga berdasarkan literatur kita dapat memperkirakan gugus fungsi [18]. Sedangkan untuk geseran kimia yang menunjukkan secara spesifik perbedaan atau perpindahan ikatan rangkap yang terdapat pada C nomor 1, terlihat pada nilai geseran kimia proton pada senyawa eugenol δ_{H} 3,33 (d; $J=6,6 \text{ Hz}$; 1H) yang menunjukkan adanya gugus ($=\text{CH}_2$) sedangkan geseran kimia proton pada masing-masing senyawa produk sintesis adalah (A) δ_{H} 1,85 (d; $J=1,75$; 3H), (B) δ_{H} 1,87 (d; $J=1,75$; 3H), menunjukkan adanya gugus ($-\text{CH}_3$).



Tabel 2. Perbandingan Nilai Geseran Kimia Proton Antara Eugenol Larutan Produk Sintesis

Nomor atom H	δH (ppm)		
	Eugenol	A	B
1	6.86 (s; J=8,6Hz; 1H)	6.89 (s; J=8,15 Hz; 1H)	6.86 (s; 1H)
2	6.84 (s; 1H)	6.83 (s; 2H)	6.85 (s; 2H)
3	6.69 (s; 1H)	6.34 (s; 1H)	6.34 (s; 1H)
4	5.97 (m; 1H)	6.30 (s; 1H)	6.30 (s; 1H)
5	5.52 (s; 1H)	6.07 (m; 1H)	6.09 (m; 1H)
6	5.07 (s; 1H)	3.89 (s; 3H)	3.89 (s; 3H)
7	5.06 (d; J=2,2 Hz; 1H)	1.85 (d; J=1,75; 3H)	1.87 (d; J=1,75; 3H)
8	3.88 (s; 3H)	-	-
9	3.33 (d; J=6,6 Hz; 2H)	-	-

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi, dapat dilihat perbedaan pada senyawa eugenol dan produk produk sintesis dengan melihat bilangan gelombang dan puncak pada spektrum eugenol dan isoeugenol. Pada eugenol terdapat gugus $=CH_2$ pada bilangan gelombang 2906; 61-3005; 63 cm^{-1} (pustaka 2900 cm^{-1}). Sedangkan pada produk produk sintesis larutan A dan B masing-masing terdapat gugus $-CH_3$ pada bilangan gelombang 2937,39 cm^{-1} dan 2938,95 cm^{-1} (pustaka < 3000 cm^{-1}). Sehingga, setelah diperkuat dengan data 1H-NMR yang terlihat pada nilai geseran kimia senyawa A dan B berturut-turut sebesar (A) δ_H 1,85 (d; J=1,75; 3H), (B) δ_H 1,87 (d; J=1,75; 3H), diduga produk produk sintesis merupakan senyawa isoeugenol karena terjadi pergeseran pada posisi ikatan rangkap $=CH_2$ pada eugenol menjadi $-CH_3$ pada isoeugenol.

Ucapan Terima Kasih

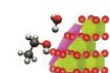
Ucapan terima kasih peneliti ucapkan kepada LPPM Universitas Jenderal Achmad Yani, terutama kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian Kepada Masyarakat (DRTPM) Republik Indonesia melalui Hibah Penelitian Dosen Pemula Nomor 180/E5/PG.02.00.PL/2023 serta Laboratorium Kimia Terpadu, FMIPA-ITB untuk pengukuran NMR.

Daftar Pustaka

[1] Topal, F. 2019. Anticholinergic and antidiabetic effects of isoeugenol from

clove (*Eugenia caryophyllata*) oil. *International Journal of Food Properties*, 22, (1), 583–92. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1597882>

- [2] Aini, N., Purwono, B. and Tahir, I. 2010. Structure – Antioxidant Activities Relationship Analysis Of Isoeugenol, Eugenol, Vanilin And Their Derivatives. *Indonesian Journal of Chemistry*, Universitas Gadjah Mada. 7, (1), 61–6. <https://doi.org/10.22146/ijc.21714>
- [3] Sanz-Navarro, S., Mon, M., Doménech-Carbó, A., Greco, R., Sánchez-Quesada, J., Espinós-Ferri, E. et al. 2022. Parts-per-million of ruthenium catalyze the selective chain-walking reaction of terminal alkenes. *Nature Communications*, England. 13, (1), 2831. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30320-9>
- [4] Hassam, M., Taher, A., Arnott, G.E., Green, I.R. and van Otterlo, W.A.L. 2015. Isomerization of Allylbenzenes. *Chemical Reviews*, American Chemical Society (ACS). 115, (11), 5462–569. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00052>
- [5] Rudyanto, M. and Hartanti, L. 2010. One-Step Conversion Of Eugenol To Methyl Isoeugenol Using Microwave Irradiation In Solvent-Free Conditions. *Indonesian Journal of Chemistry*, Universitas Gadjah Mada. 6, (3), 292–6. <https://doi.org/10.22146/ijc.21734>
- [6] Mulyono, E. and Hidayat, T. 2006. Isomerisasi Eugenol Menjadi Isoeugenol Menggunakan Radiasi Gelombang Mikro. *Indonesian Journal of Agricultural Postharvest Research*, 3, (2), 69–76. <https://doi.org/10.21082/jpasca.v3n2.2006.69-76>
- [7] Riyanto, A., Yunilawati, R., Rahmi, D., Aidha, N.N. and Ratnawati, E. 2015. Isomerisasi Eugenol Menjadi Isoeugenol Dengan Metode Sonikasi. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, Center For Chemical & Packaging (Balai Besar Kimia & Kemasan). 37, (1), 37. <https://doi.org/10.24817/jkk.v37i1.1810>



- [8] Sharma, S.K., Srivastava, V.K. and Jasra, R. V. 2006. Selective double bond isomerization of allyl phenyl ethers catalyzed by ruthenium metal complexes. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, Elsevier BV. 245, (1–2), 200–9. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2005.10.005>
- [9] Mulyono, E., Suryani, A., Mangunwidjaja, D. and Setyaningsih, D. 2010. Optimasi Kondisi Isomerisasi Eugenol dari Minyak Daun Cengkeh Menggunakan Metode Permukaan Respon. *Indonesian Journal of Agricultural Postharvest Research*. p. 86–93.
- [10] Crowell, K.E. 1997. Pharmaceutical applications of liquid–liquid extraction. *Handbook of Downstream Processing*, Springer Netherlands, Dordrecht. p. 48–69. https://doi.org/10.1007/978-94-009-1563-3_3
- [11] Armarego, W.L.F. and Chai, C.L.L. 2022. Purification of Laboratory Chemicals. *Purification of Laboratory Chemicals*, Elsevier. p. 1–52. <https://doi.org/10.1016/B978-075067571-0/50005-3>
- [12] Mahdieh, M.H. and Nazari, T. 2013. Measurement of impurity and temperature variations in water by interferometry technique. *Optik*, 124, (20), 4393–6. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2013.01.059>
- [13] Ferenczi-Fodor, K., Végh, Z. and Renger, B. 2006. Thin-layer chromatography in testing the purity of pharmaceuticals. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 25, (8), 778–89. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2006.06.003>
- [14] Farkas, S.Z., Imre, S., Muntean, D.L. and Tero-Vescan, A. 2013. Analysis of drug related impurities by infrared spectrometry in the class of statins. *Farmacia*, 61, (6), 1091–101.
- [15] Stuart, B.H. 2004. *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/0470011149>
- [16] Pavia, D.L., Lampman, G.M. and Kriz, G.S. 2001. *Introduction to Spectroscopy*. Thomson Brooks/Cole.
- [17] Mitchell, T. and Costisella, B. 2007. *NMR — From Spectra to Structures: An Experimental Approach*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-72196-3>
- [18] Berger, S. 2008. Terence N. Mitchell, Burkhard Costisella: *NMR – From spectra to structures. An experimental approach*, 2nd edition. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 390, (7), 1681–2. <https://doi.org/10.1007/s00216-008-1888-0>

