

STUDI EUGENOL SEBAGAI BAHAN TAHAN RADIASI

Erizal, Dewi S.P dan A. Sudrajat

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi - BATAN

ABSTRAK

STUDI EUGENOL SEBAGAI BAHAN TAHAN RADIASI. Telah dipelajari pengaruh iradiasi gamma terhadap ketahanan sifat fisiko-kimia Eugenol. Eugenol merupakan salah satu bahan komoditi yang potensial dari Indonesia diperoleh dari destilasi minyak cengkeh. Eugenol diiradiasi dengan dosis 0;10;20;30; dan 40 kGy (laju dosis 10 kGy/jam) pada suhu kamar. Selanjutnya dilakukan pengamatan pada spektrum infra merah, serapan UV-Vis, viskositas dan radikal bebas menggunakan Elektron Spin Resonansi (ESR). Hasil evaluasi menunjukkan bahwa Eugenol tahan terhadap pengaruh iradiasi hingga 40 kGy yang ditunjukkan dengan tidak terjadinya perubahan pada spektrum IR, UV, ESR dan viskositas. Untuk menguatkan data ini dilakukan pula iradiasi Eugenol pada dosis 0; 50;75; 100 ; dan 150 kGy. Hasil iradiasi hingga 150 kGy menunjukkan nilai viskositas yang relatif stabil. Hal ini menunjukkan bahwa Eugenol tahan terhadap iradiasi hingga 150 kGy (resistan terhadap iradiasi).

ABSTRACT

THE STUDY OF EUGENOL AS RADIATION RESISTANT MATERIAL. The effect of irradiation dose on Eugenol on resistancy was observed on its physico-chemical properties. Eugenol is a potential material of Indonesia, that has been distilled from clove oil. Eugenol was irradiated at the doses of 0;10;20;30; and 40 kGy (dose rate 10 kGy/hour) at room temperature. Then, its Infra Red, UV absorbance, free radical using electron Spin Resonance (ESR) spectrum and viscosity were measured. The results showed that Eugenol resistant against irradiation up to 40 kGy. No change in its physico-chemical properties as there were no change in IR, UV, ESR spectrum and also its viscosity. To prove the conclusion, Eugenol was also irradiated at; 0; 50;75;100; and 150 kGy. It was found that irradiation up to 150 kGy did not change the viscosity of Eugenol. It can be concluded that Eugenol was radiation resistance up to 150 kGy.

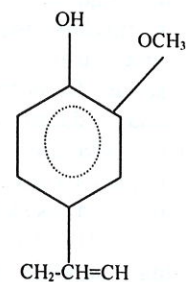
Kata kunci : Eugenol, Iradiasi, tahan iradiasi, resisten,

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris penghasil cengkeh dengan jumlah yang relatif besar. Eugenol merupakan salah satu bahan bioaktif yang dikandungnya dan menyebabkan cengkeh mempunyai nilai jual. Eugenol pada umumnya dapat diperoleh dari cengkeh melalui proses destilasi [1]. Pemakaian Eugenol pada umumnya terbatas digunakan dalam industri makanan sebagai pengawet dan pemberi aroma sabun, daging, dan kue, serta di bidang farmasi digunakan sebagai obat luar (pegal linu) dan obat sakit gigi. Eugenol juga digunakan sebagai bahan dasar untuk sintesis isoEugenol dan dimer isoEugenol yang berfungsi sebagai antioksidan [2,3,4,5,6]

Dalam teknologi reaktor masalah yang seringkali dihadapi adalah mendapatkan bahan yang dapat berfungsi sebagai pendingin. Oleh karena itu pengetahuan mengenai pengaruh iradiasi terhadap bermacam materi sangat diperlukan. Pengaruh iradiasi khususnya sangat penting sekali, karena pada pengaruh dosis iradiasi yang sangat rendah senyawa-senyawa kovalen mudah mengalami perubahan sifat fisiko-kimia dibandingkan sifat merusak logam atau senyawa-senyawa ionik. Kerusakan

senyawa organik terhadap pengaruh iradiasi dapat dipakai sebagai faktor limit dalam mendesain reaktor [7]. Pada umumnya reaktor dapat didinginkan dengan bermacam-macam zat misalnya; air, gas dan senyawa-senyawa organik. Senyawa organik mempunyai keunggulan yaitu tidak menyebabkan karat terhadap bahan bangunan reaktor. Keunggulan lainnya adalah tekanan uap yang relatif kecil dan rendahnya pengaruh induksi radioaktif. Kelemahan yang paling utama adalah ketidak stabilannya terhadap panas dan radiasi. Senyawa-senyawa aromatis relatif lebih tahan terhadap radiasi dibandingkan senyawa organik lainnya [8]. Oleh karena itu, Eugenol (Gambar 1) yang merupakan



Gambar 1 . Struktur molekul Eugenol

salah satu senyawa organik aromatis terdiri dari inti benzena disertai gugus-gugus fungsi hidroksi, metoksi dan propilen pada posisi orto dan para, diasumsikan bahwa Eugenol ini akan tahan terhadap radiasi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan penelitian mengenai ketahanan Eugenol terhadap iradiasi gamma dengan mempelajari karakter fisiko-kimianya.

BAHAN DAN METODE

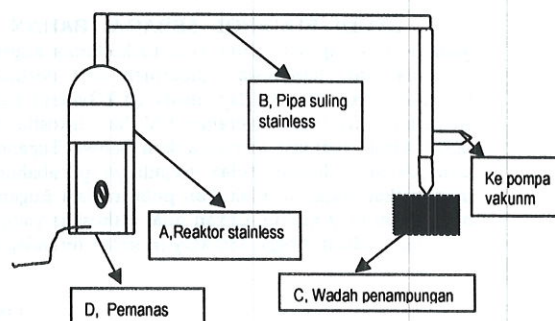
Bahan. Eugenol diperoleh dari hasil destilasi minyak cengkeh dengan kandungan $\pm 98,3\%$, pereaksi lainnya yang dipakai adalah kualitas p.a.

Alat. Alat yang dipakai dalam penelitian untuk analisis perubahan struktur kimia senyawa digunakan Spektrometer Infra Merah Shimadzu, buatan Jepang. Spektrophotometer UV-Vis, Genesys 2, buatan USA. Sebelum digunakan untuk analisis bahan hasil iradiasi, dilakukan kalibrasi spektrum IR menggunakan plastik polistirena. Untuk penguraian radikal bebas digunakan Electron Spin Resonan (ESR) JEOL buatan Jepang. Viscometer Coolmate-105 IR, buatan Jepang, untuk menguji viskositas larutan alat telah dikalibrasi menggunakan pelarut (air). Untuk iradiasi bahan digunakan sumber iradiasi gamma IRKA dan pengujian dosis iradiasi digunakan dosimeter Alanin.

Destilasi Minyak Cengkeh. Minyak cengkeh diperoleh dari hasil penyulingan daun cengkeh dari petani dengan kandungan rendemen berkisar 60 %. Selanjutnya minyak cengkeh diproses dengan metode reaksi asam-basa [1], lalu dilakukan destilasi dengan alat destilasi (disajikan pada Gambar 2) yaitu hasil rancangan kerjasama dengan salah satu pengusaha di Yogya. Kandungan Eugenol hasil destilasi dianalisis dengan Gas Chromatography (GC). Persentase Eugenol yang diperoleh dari hasil destilasi minyak cengkeh adalah 98,3 %.

Iradiasi Eugenol. 64 buah vial ukuran 6 ml (diameter 2 cm, tinggi 4 cm) yang setiap vial mengandung 5 ml Eugenol disiapkan untuk diiradiasi dengan 4 tingkat dosis (setiap dosis digunakan 16 vial untuk pengukuran 4 parameter). Lalu setiap 16 botol vial diiradiasi dengan sinar gamma dalam iradiator IRKA secara berturut-turut pada dosis ; 10;20;30; dan 40 kGy dengan laju dosis 10 kGy/jam. Kemudian Eugenol hasil iradiasi dilakukan pengukuran spektrum infra merah, UV-Vis, dan ESR serta pengujian viskositas. Setelah pengujian sifat fisiko-kimia produk hasil iradiasi, selanjutnya disiapkan pula 12 buah botol vial lainnya ukuran

6 ml yang setiap botol vial mengandung 5 ml Eugenol untuk diiradiasi pada dosis 50; 75; 100 dan 150 kGy dengan laju dosis 10 kGy/jam (3 buah vial diiradiasi pada setiap dosis radiasi). Eugenol hasil iradiasi diuji hanya perubahan viskositasnya.



Gambar 2. Skema Alat destilasi minyak cengkeh

Pengujian Viskositas.

5 ml Eugenol baik hasil iradiasi maupun kontrol dimasukkan dalam cawan stationer, dari viscometer Coolmate-105 IR, buatan Jepang. Selanjutnya viskositas Eugenol diukur pada kecepatan 100 rpm selama 5 menit pada suhu 25 °C. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali pada setiap sample yang sama tingkat dosis iradiasinya.

Pengukuran Spektrum Infra Merah

Pengukuran spektrum infra merah ini dimaksudkan untuk menganalisis kemungkinan terjadinya perubahan pada gugus-gugus fungsi Eugenol akibat pengaruh iradiasi. Eugenol dalam bentuk minyak dimasukkan dalam permanen sel baik hasil iradiasi maupun kontrol dilakukan analisis spektrum Infra Merah pada daerah bilangan gelombang 0-4000 cm^{-1} menggunakan FT-IR, buatan SHIMADZU, Jepang. Pengukuran dilakukan hanya sekali ulangan.

Pengukuran Spektrum UV-VIS

Pengukuran spektrum UV-VIS ini dimaksudkan untuk menganalisis kemungkinan terjadinya perubahan pada gugus-gugus fungsi Eugenol akibat pengaruh iradiasi. Eugenol baik kontrol maupun hasil iradiasi diencerkan dengan etanol hingga konsentrasi 1 ppm. Selanjutnya 5 ml larutan eugenol yang telah diencerkan dimasukkan dalam kuvet UV-VIS untuk selanjutnya dilakukan analisis spektrum UV-VIS dan absorbansinya pada daerah serapan 200-400 nm menggunakan spektrophotometer Genesys 2, buatan USA.

Pengukuran Spektrum Radikal Bebas

Pengukuran spektrum ESR ini dimaksudkan untuk menganalisis kemungkinan terjadinya radikal bebas Eugenol akibat pengaruh iradiasi. Eugenol dalam bentuk cairan baik hasil iradiasi maupun kontrol dengan berat masing-masing 0,1 gr dimasukkan dalam kuvet ESR berdiameter 3 mm dan dilakukan analisis spektrum ESR menggunakan spektrometer ESR, JEOL, buatan Jepang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

I. HASIL

Pengukuran Spektrum Infra Merah (IR)

Spektrum Infra merah dari Eugenol hasil iradiasi disajikan pada Gambar 3 dan hasil identifikasi gugus-gugus fungsi dari Eugenol baik kontrol maupun hasil iradiasi hingga 40 kGy disajikan pada Tabel 1. Terlihat bahwa dari hasil identifikasi Eugenol menggunakan Infra merah terdapat gugus OH, C-H aromatik, C-H alifatik, ikatan rangkap C=C dan C-O-C berturut-turut terletak pada bilangan gelombang 3511,3; 3069,5; 2969,4; 1514,5 dan 1270 cm^{-1} . Dari hasil identifikasi gugus fungsi yang disajikan pada Tabel 1, terlihat bahwa iradiasi hingga 40 kGy tidak menyebabkan timbulnya puncak baru dalam spektrum IR dibandingkan Eugenol yang tidak diiradiasi (kontrol). Hal ini menunjukkan bahwa iradiasi hingga 40 kGy tidak menyebabkan terjadinya perubahan pada struktur molekul Eugenol.

Pengukuran Spektrum UV-VIS

Untuk menunjang data spektrum infra merah yang berkaitan dengan pengaruh iradiasi terhadap Eugenol dilakukan juga pengukuran spektrum UV-Vis dari Eugenol baik kontrol (0 kGy) maupun yang diiradiasi hingga 40 kGy. Hasil pengukuran disajikan pada Gambar 4 a,b,c,d dan e. Terlihat bahwa Eugenol mempunyai 2 buah puncak serapan pada panjang gelombang 211 dan 283 nm. Puncak spektrum pada 211 nm kemungkinan adalah puncak spektrum dari pelarut etanol dan puncak 283 nm merupakan spektrum dari benzena yang tersubstitusi (Eugenol), dan juga terlihat bahwa iradiasi hingga 40 kGy tidak menyebabkan timbulnya puncak baru dalam spektrum. Selanjutnya untuk pengukuran serapan pengaruh iradiasi digunakan puncak serapan pada panjang gelombang 283 nm. Pada Tabel 2 disajikan nilai serapan Eugenol baik kontrol maupun hasil iradiasi hingga 40 kGy yang diukur pada konsentrasi yang sama (1 ppm). Terlihat bahwa dengan naiknya dosis iradiasi hingga 40 kGy, nilai serapan relatif tidak berubah. Hal ini

menunjukkan bahwa iradiasi tidak menyebabkan rusaknya struktur molekul eugenol.

Pengukuran Spektrum ESR

Pengukuran spektrum ESR ditujukan untuk menentukan kemungkinan terjadinya radikal bebas dari Eugenol yang diiradiasi hingga 40 kGy, spektrumnya disajikan pada Gambar 5. Terlihat bahwa baik Eugenol kontrol (0 kGy) maupun yang diiradiasi hingga 40 kGy tidak menunjukkan adanya puncak radikal bebas dalam spektrumnya. Hal ini menunjukkan bahwa Eugenol tidak membentuk radikal bebas jika diiradiasi hingga 40 kGy.

Pengaruh iradiasi terhadap viskositas Eugenol.

Pengaruh iradiasi pada kestabilan viskositas Eugenol disajikan pada Tabel 3. Besar-kecilnya viskositas suatu larutan monomer/polimer dalam pelarut tertentu dapat mewakili kondisi berat molekul (BM) rata-rata suatu polimer/monomer, hubungan matematisnya dinyatakan dalam bentuk persamaan Mark-Houwink-Sakurada sebagai berikut : [9]

$$[\eta] = K M_v^a \dots\dots\dots(a)$$

dimana, $[\eta]$ = viskositas, K = konstanta dari larutan polimer/monomer, M_v^a = Berat Molekul rata-rata polimer/monomer. Dengan perkataan lain viskositas larutan berbanding lurus dengan berat molekul rata-ratanya, sehingga perubahan dari viskositas larutan berbanding lurus dengan perubahan berat molekul rata-rata. Viskositas larutan Eugenol baik kontrol (0 kGy) maupun iradiasi hingga 40 kGy disajikan pada Tabel 3. Terlihat bahwa dengan naiknya dosis iradiasi hingga dosis 40 kGy, viskositas larutan Eugenol tidak mengalami perubahan yang signifikan.

Untuk menunjang data mengenai kebenaran bahwa Eugenol tahan terhadap iradiasi dilakukan pula iradiasi Eugenol pada dosis yang relatif besar yaitu ; 50; 75; 100, dan 150 kGy. Pada Tabel 3 terlihat bahwa viskositas Eugenol yang diiradiasi hingga 150 kGy, dengan naiknya dosis iradiasi hingga 150 kGy juga tidak menunjukkan perubahan yang berarti. Hal ini berarti Eugenol tahan terhadap iradiasi hingga dosis 150 kGy.

II. PEMBAHASAN

Senyawa-senyawa aromatik ditinjau dari struktur molekulnya mempunyai cincin benzena dengan elektron terkonyugasi yang dapat menyerap energi. Penting dikaji dan diteliti sifat fisiko-kimianya pada pengaruh iradiasi dalam rangka pengembangan bahan yang tahan terhadap iradiasi. Eugenol (struktur molekul

pada Gambar 1) merupakan salah satu senyawa organik aromatik turunan fenol yang terdiri atas inti benzena, gugus fungsi -OH, -OCH₃ pada posisi orto dan gugus -CH₂-CH=CH₂ pada posisi para dalam inti benzena, diperoleh dari hasil destilasi minyak cengkeh lalu diiradiasi hingga 150 kGy. Setelah dievaluasi didapatkan hasil iradiasi hingga 150 kGy tidak menyebabkan perubahan pada viskositasnya. Beberapa hasil penelitian yang telah dilaporkan berkaitan dengan pengaruh iradiasi terhadap benzena dan senyawa-senyawa derivatnya umumnya menghasilkan produk-produk utama hasil iradiasi yang sangat khas misalnya gas H₂, gas CH₄ dengan nilai $G = 0,005$ (jumlah molekul yang dihasilkan sebesar 0,005 /100 eV) dan senyawa polimer dengan jumlah $G = 0,75$ yang relatif kecil [10,11,12]. Resistensi benzena dalam fasa gas terhadap iradiasi 3 kali lebih besar dibandingkan senyawa hidrokarbon, dan 10 kali lebih besar dalam fasa cair. Tingginya resistensi inti benzena terhadap pengaruh iradiasi dilaporkan oleh MAGAT dkk [13] dan hasil penelitiannya memberikan hasil persentase jumlah *parent ion* dari inti benzena dalam spektrum massa relatif besar ($\pm 95\%$). Hal ini membuktikan bahwa molekul benzena yang tereksitasi tidak segera mengalami dekomposisi pada saat terbentuknya, tetapi malah energinya dilepaskan pada proses tumbukan sebelum dekomposisi terjadi, khususnya dalam fasa cair. Penyebab kestabilan molekul yang tereksitasi adalah karena energi eksitasi diasosiasikan dengan elektron yang bergerak dalam orbital π . *non-localized*

Polimer merupakan salah satu produk utama hasil pengaruh iradiasi terhadap benzena dilaporkan oleh MUND dkk. dan PATRICK dkk. [14,15]. Polimer yang dihasilkan berupa cairan berwarna kuning mengandung ikatan rangkap alifatik, dengan perbandingan atom H: C adalah 1: 1.06, berat molekul rata-rata naik dengan naiknya dosis iradiasi yang mendekati nilai 430 pada iradiasi hingga dosis ribuan Mrad.. Produk yang dihasilkan ini merupakan campuran senyawa yang sangat kompleks. Kira-kira 1/10 nya dari terdiri senyawa difenil, juga senyawa fenilsikloheksadiena dan fenilsikloheksena teridentifikasi. Namun demikian, tidak terbentuk senyawa siklis dan senyawa siklis yang tersubstitusi. Mekanisme reaksi yang terjadi pada proses ini hanya dapat diramalkan secara spekulatif. Semua jenis radikal dan molekul benzena yang tereksitasi mungkin dapat bereaksi secara bersamaan dalam beragam kombinasi menghasilkan bermacam-macam polimer. Juga beberapa radikal bebas dan benzena yang tereksitasi dapat bereaksi dengan molekul normal benzena membentuk polimer. Penelitian

mengenai pengaruh iradiasi pada senyawa aromatik lainnya yang mirip benzena juga menghasilkan polimer dalam jumlah yang relatif kecil sebagai produk utamanya. Jumlah toluena yang diubah kebentuk polimer adalah dengan nilai $G = 0,92-1,28$ dan hasil perubahan polifenil menjadi polimer adalah dengan $G = 0,05-0,5$. Asam benzoat jika diiradiasi akan mengalami dekarboksilasi menghasilkan karbon dioksida ($G = 0,29$) dan polimer dengan jumlah yang sama. Pengaruh iradiasi pada α -Hidroksi fenilasetat menghasilkan benzaldehida. Rendahnya hasil iradiasi ini menunjukkan lagi bahwa kestabilan senyawa aromatis terhadap pengaruh iradiasi. Berdasarkan hal-hal tersebut diatas, dapatlah diduga bahwa Eugenol yang tahan terhadap iradiasi hingga 150 kGy dalam penelitian ini disebabkan karena adanya inti benzena yang stabil. Selain itu, produk-produk lainnya yang mungkin terjadi sebagai akibat iradiasi Eugenol tidak dapat terukur karena jumlahnya relatif kecil. Berdasarkan laporan-laporan hasil penelitian terdahulu [10,11,12, 13,14], produk-produk dasar hasil reaksi radikal-radikal bebas Eugenol pada reaksi b, yang mungkin dapat diramalkan adalah terbentuknya 2 jenis dimer turunan Eugenol (persamaan reaksi c dan d) yang selanjutnya bereaksi membentuk molekul beragam jenis polimer, disamping dihasilkan produk-produk gas H₂ dan CH₄.

Dengan perkataan lain Eugenol dapat dianggap sebagai senyawa yang tahan terhadap iradiasi.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapatlah disimpulkan bahwa Eugenol tahan terhadap iradiasi gamma hingga dosis 40 kGy yang ditunjukkan dengan tidak adanya perubahan pada sifat fisko-kimianya yang meliputi spektrum infra merah, UV-Vis, viskositas dan Eugenol yang diiradiasi hingga 150 kGy tidak menyebabkan perubahan pada viskositasnya..

Saran

Karena penelitian ini merupakan studi pendahuluan mengenai pengaruh iradiasi terhadap Eugenol yang dilakukan hingga 150 kGy, dan tidak ada perubahan sifat fisko-kimia Eugenol, perlu dilakukan iradiasi dengan dosis > 150 kGy untuk mendapat informasi mengenai limit ketahanannya terhadap iradiasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan pada Bpk. Gede Suardika, Sleman Jogja yang telah memberikan Eugenol dan rekan-rekan di

fasilitas Iradiasi PATIR-BATAN yang telah banyak membantu iradiasi bahan sehingga penelitian ini selesai.

DAFTAR PUSTAKA

1. KETAREN, S., " Pengantar Teknologi Minyak Atsiri" Balai Pustaka, Jakarta (1985) 239-253
2. NANAN, N., " Pengolahan dan Diversifikasi Hasil Cengkeh", Monograf (1990)
3. ANDRIA, A., 'Minyak Atsiri Tumbuhan Tropika Indonesia ', ITB(1999), Jakarta
4. LATIFATUL, H., dan BAMBANG, P., Pembuatan antioksidan dari bahan dasar Eugenol, Prosiding International Seminar on Organic Chemistry Yogyakarta (2001) 190-197
5. AL-FARHAN, E., KEEHN, P.N., and STEVENSON, R., Dimerization of isoEugenol, isoEugenol methyl ether and isoEugenol acetate, J. Chem. Research (1992) 100-101
6. PANDEX B.N., and MISHRA, K.P. , Modification of thymocytes membrane radioactive damage and apoptocis by Eugenol, J. Environ. Pathol.Toxicol.Oncol. (2004) **23** (2) 117-221
7. SWALLOW, A.J., 'Radiation Chemistry of Organic Compound " ,Pergamon Press ,London (1960) , 271-273
8. BOLT, B.O., and CARROLL, J.G, Organics as reactor moderator coolant ; some aspect of their thermal and radiation stabilities, Geneva Conf.(1955) 7, 546-555
9. IIS SOFYAN, " Kimia Polimer ", Jakarta (2001) Pradnya paramita, hal 63-65
10. HENRI, V.P. MAXWELL, C.R., WHITE, W.C., PETERSON, D.C., The chemical effects of α - particle upon some C₈-hydrocarbon in the vapour state, J.Phys. Chem. (1952) 56, 153-155
11. GORDON, S., BURTON, M., Radiation chemistry of pure organic compound : benzena and benzena-d₆, Disc.Faraday Soc. (1952) 12 ,88-98
12. MANION, J.P., and BURTON, M, Radiolysis of hydrocarbon mixtures, J. Phys. Chem. (1952) 56, 560-569
13. MAGAT, M., and VIALARD, R., Molecular fission of hydrocarbons by electronic impact, J.Chem.Phys. (1951) 48, 385-398.
13. MUND, W., and BOGAERT, E., On the alteration of benzene vapour under the -influence of α -particle , Bull Soc. Chim.Belg. (1954) 34, 410-415
14. PATRICK, W.N., and BURTON, M., Polymer production in radiolysis of benzene, J.Am.Chem.Soc. (1954) 76, 2626-2629

Tabel 1 . Hasil identifikasi gugus-gugus fungsi Eugenol yang diiradiasi hingga 40 kGy

Dosis iradiasi (kGy)	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Karakteristik Gugus fungsi
0	3511,3 3069,5 2969,4 1514,5 1269,7	OH C-H aromatis C-H alifatis C=C C-O-C
10	3524,5 3074,5 2971,6 1515,3 1270,7	OH C-H aromatis C-H alifatis C=C C-O-C
20	3513,9 3071,4 2969,9 1514,7 1269,9	OH C-H aromatis C-H alifatis C=C C-O-C
30	3513,7 3070,0 2969,7 1514,5 1269,7	OH C-H aromatis C-H alifatis C=C C-O-C
40	3513,7 3070,0 2969,7 1514,5 1269,7	OH C-H aromatis C-H alifatis C=C C-O-C

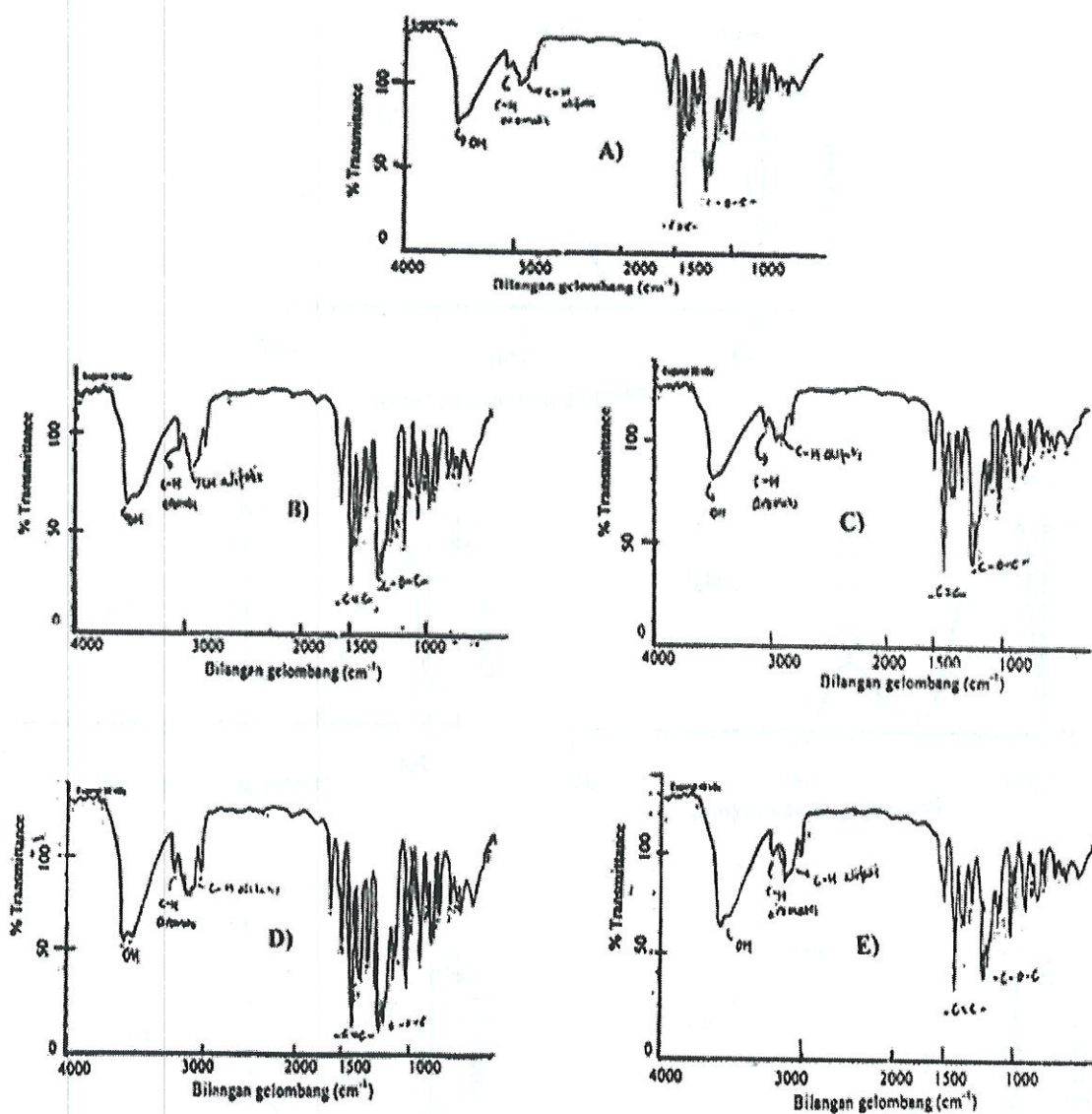
Tabel 2. Nilai resapan UV-VIS Eugenol hasil iradiasi hingga 40 kGy yang diukur dalam etanol pada $\lambda = 283$ nm

Dosis iradiasi (kGy)	Nilai serapan (A)*
0	0.139 ± 0,002
10	0.325 ± 0,003
20	0.304 ± 0,002
30	0.308 ± 0,004
40	0.311 ± 0,004

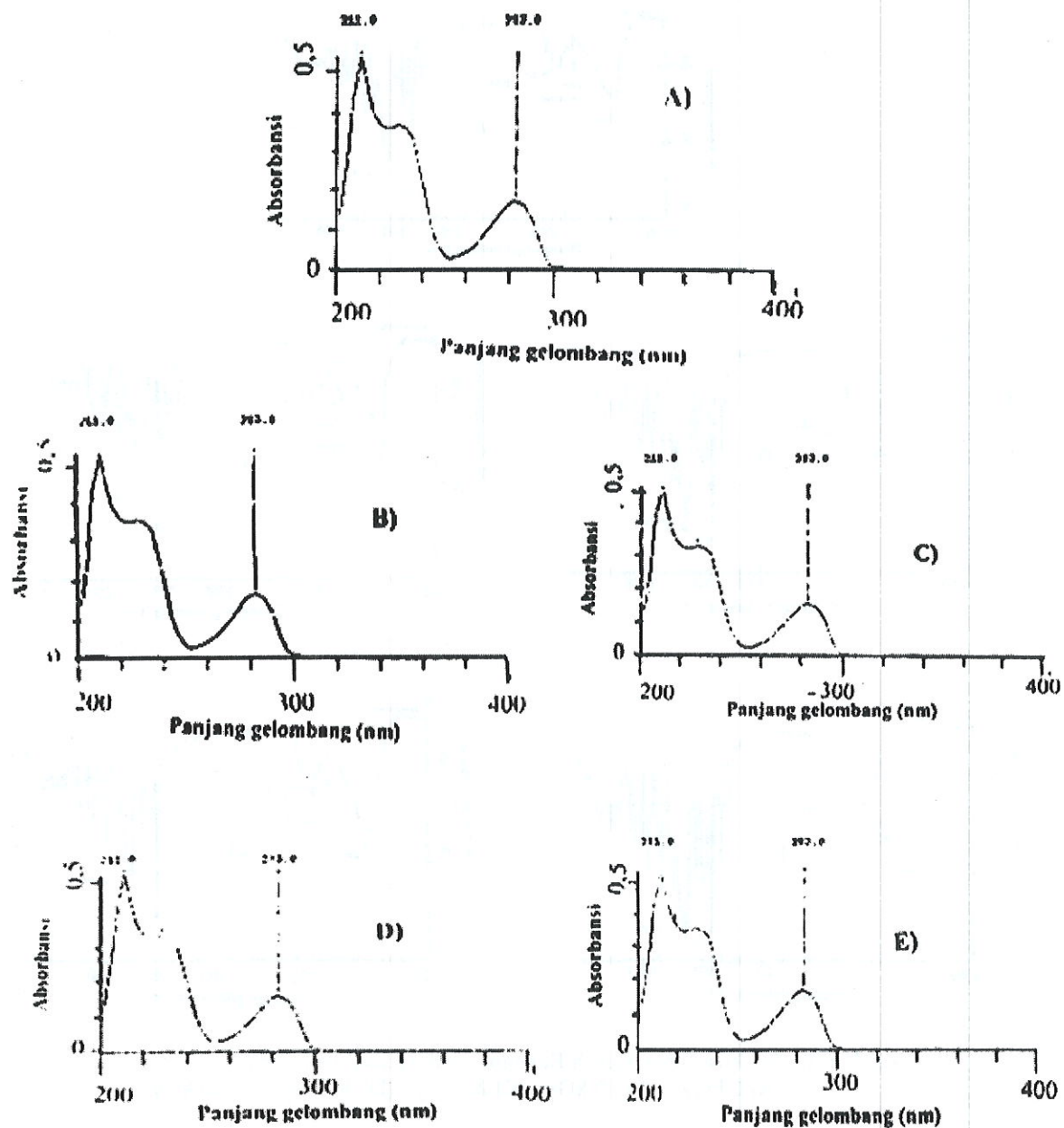
Tabel 3. Viskositas Eugenol hasil iradiasi hingga 150 kGy

Dosis iradiasi (kGy)	Viskositas rata-rata (cPs)#
0	13,033 ± 0,012
10	12,973 ± 0,015
20	12,896 ± 0,017
30	12,828 ± 0,017
40	12,780 ± 0,011
50	12,850 ± 0,016
75	12,750 ± 0,020
100	12,880 ± 0,010
150	12.810 ± 0,012

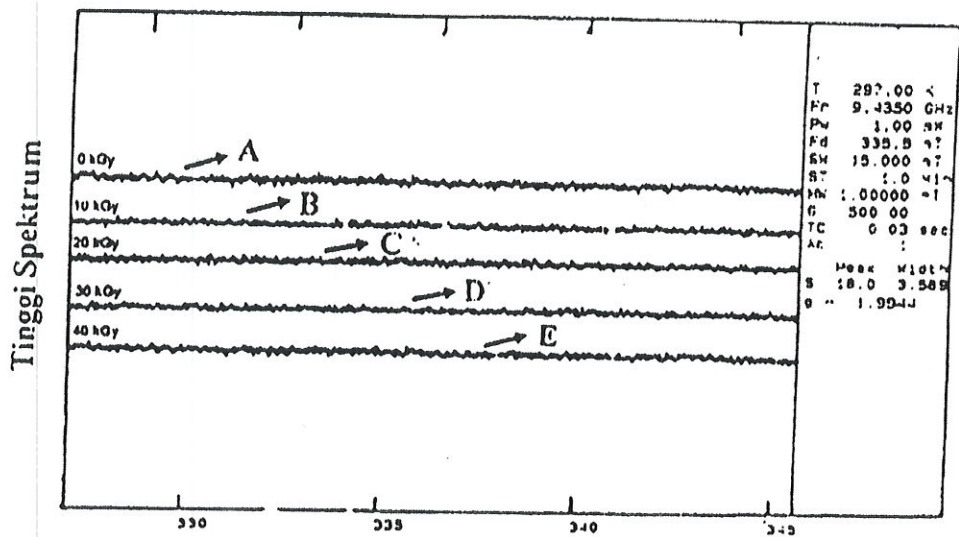
Nilai rata-rata 5 kali pengukuran



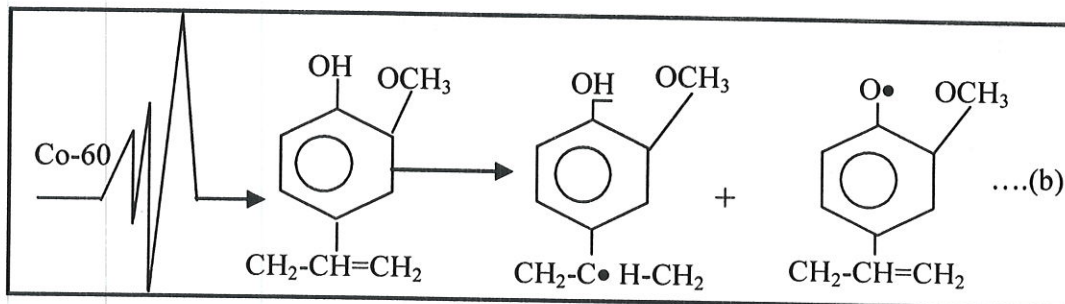
Gambar 3. Spektra Infra Merah Eugenol hasil iradiasi pada dosis
(A) 0 kGy (B) 10 kGy (C) 20 kGy (D) 30 kGy (E) 40 kGy



Gambar 4. Spektra UV-VIS Eugenol hasil iradiasi yang diukur dalam pelarut etanol, eugenol diiradiasi pada dosis
(A) 0 kGy (B) 10 kGy (C) 20 kGy (D) 30 kGy (E) 40 kGy

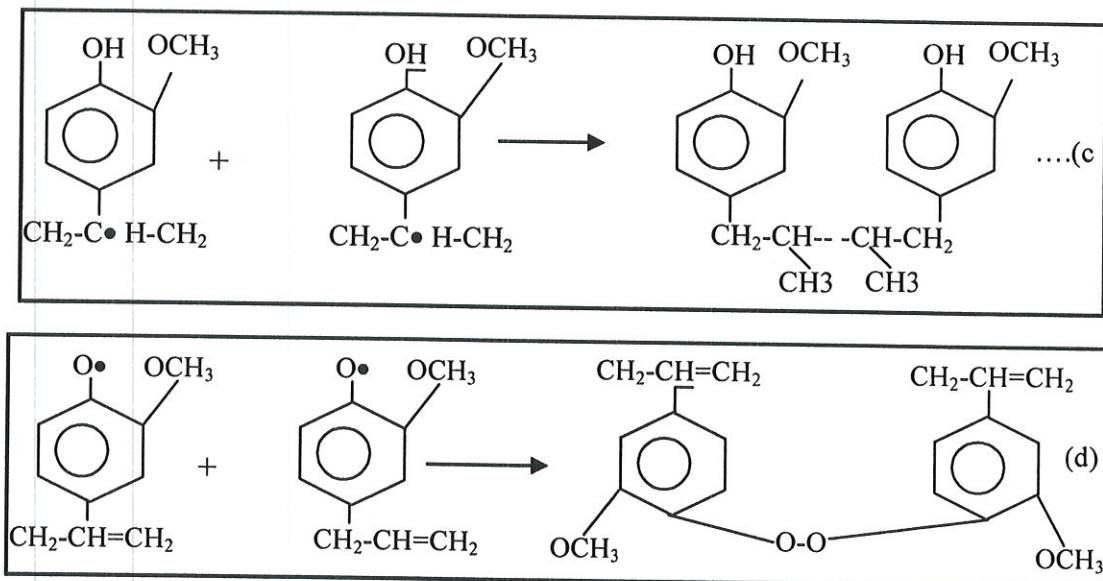


Gambar 5. Spektrum ESR Eugenol hasil iradiasi hingga dosis (A) 0 kGy (B) 10 kGy (C) 20 kGy (D) 30 kGy (E) 40 kGy



Catatan : • = posisi radikal

Gambar 6. Reaksi inisiasi Eugenol



Gambar 7. Kemungkinan struktur dimer Eugenol hasil iradiasi