
Polimerisasi Eugenol Minyak Daun Cengkeh Hasil Redistilasi, Ekstraksi, dan Fraksinasi Menggunakan Katalis Asam Sulfat Pekat

*(Polymerization of Eugenol of Clove Leaf Oil, Purified by Redistillation,
Extraction, and Fractionation, Using Concentrated Sulfuric Acid as Catalyst)*

Sudarlin, Winarto Haryadi

¹Jurusan Kimia, UIN Sunan Kalidjaga Yogyakarta

²Jurusan Kimia Universitas Gadjah Mada

Email: sudarlin@uin-suka.ac.id

Received: Januari 2017; Revised: Maret 2017; Accepted: Maret 2017; Available Online: Mei 2017

Abstrak

Polimerisasi eugenol dari minyak daun cengkeh hasil pemurnian telah dilakukan menggunakan katalis asam sulfat pekat. Minyak daun cengkeh dimurnikan dengan cara redistilasi pengurangan tekanan, ekstraksi asam basa, dan fraksinasi pengurangan tekanan. Eugenol yang diperoleh dipolimerisasi dengan katalis asam sulfat pekat pada perbandingan 1:2. Polieugenol yang dihasilkan dari eugenol minyak daun cengkeh hasil redistilasi, ekstraksi, dan fraksinasi berbentuk padat (rendemen: 88.14%); dari hasil redistilasi dan ekstraksi berbentuk padat (rendemen: 86.15%); dan dari hasil redistilasi berbentuk gel (rendemen: 100.29%). Struktur polieugenol ditentukan dengan spektrofotometer inframerah dan dikarakterisasi dengan kromatografi lapis tipis (KLT). Berat molekul ditentukan dengan metode viskometri.

Kata kunci: Asam sulfat, ekstraksi, eugenol, fraksinasi, polieugenol.

Abstract

Polymerization of purified eugenol from clove leaf oil using concentrated sulfuric acid as catalyst has been done in this research. Clove leaf oil was purified by vacuum redistillation, acid-base extraction, and vacuum fractionation to yield eugenol. The eugenol was polymerized with concentrated sulfuric acid in ratio 1: 2. Polyeugenol from eugenol of clove leaf oil resulted from redistillation, extraction, and fractionation is in solid form (yield: 88.14%); from redistillation and extraction is also in solid form (yield: 86.15%); from redistillation clove leaf oil is in gel form (yield: 100.29%). Structure of polyeugenol was determined by infrared spectrophotometer and characterized by thin layer chromatography (TLC). Molecular weight of the product was calculated by viscometry method.

Keyword: Eugenol, extraction, fractionation, polieugenol, redistillation, sulfuric acid.

DOI: <http://dx.doi.org/10.15408/jkv.v0i0.4685>

1. PENDAHULUAN

Polieugenol merupakan produk polimerisasi eugenol yang sering digunakan sebagai katalis antar fasa, seperti pada reaksi siklisasi sitronelal (Handayani *et al.*, 2004). Selain itu, polieugenol sering digunakan sebagai penyaring logam berat seperti

pemisahan ion Cr(III), Cu(II), dan Cd(II) menggunakan metode membran cair (Kartikawati, 2008) atau logam Fe(III), Cr(III), Cu(II), Ni(II), Co(II), dan Pb(II) menggunakan metode ekstraksi (Djunaidi *et al.*, 2010). Pemanfaatan polieugenol sebagai penyaring logam telah dikembangkan melalui kombinasi antar molekul seperti molekul divinil benzena

(Handayani *et al.*, 2004) dan asam kloroasetat (Harimu *et al.*, 2010). Kombinasi tersebut bertujuan untuk menyambung-silangkan polimer sehingga terbentuk kopolimer. Hasilnya, kemampuan polieugenol sebagai penyaring logam berat semakin baik.

Manfaat-manfaat tersebut menjadikan kebutuhan polieugenol meningkat, baik untuk kebutuhan industri atau untuk kebutuhan penelitian. Namun, hal tersebut masih terkendala dengan proses produksinya yang belum efisien. Oleh karena itu, penelitian mengenai proses pembuatan polieugenol menggunakan metode yang lebih murah dan efisien sangat dibutuhkan.

Polieugenol umumnya disintesis dari eugenol minyak daun cengkeh yang diisolasi terlebih dahulu melalui beberapa tahap. Tahap tersebut meliputi tahapan yang panjang yakni tahap redistilasi, ekstraksi, dan fraksinasi (Ngadiwiyana, 2005). Proses panjang ini menyebabkan pembuatan polieugenol membutuhkan waktu yang lama dan tidak efisien.

Penelitian lebih lanjut diperlukan agar polimerisasi eugenol dapat dilakukan lebih efisien dengan rendemen yang lebih banyak. Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah polimerisasi eugenol dari masing-masing tahap pemurnian minyak daun cengkeh, baik dari tahap redistilasi, ekstraksi, dan fraksinasi. Hasil yang diperoleh tidak signifikan berbeda karena kandungan eugenol pada masing-masing tahap sudah mencapai 70-90%.

Teknik polimerisasi yang disertai dengan pengadukan serta pencucian polimer dengan petroleum eter (PE) yang belum dilakukan pada penelitian sebelumnya merupakan modifikasi yang juga telah dipelajari pada penelitian ini. Modifikasi ini mampu meningkatkan rendemen polieugenol yang dihasilkan.

Metode sintesis yang digunakan adalah metode polimerisasi kationik tanpa media dengan menggunakan asam sulfat sebagai katalis. Metode ini telah digunakan oleh Ngadiwiyana (2005) yang berhasil mensintesis polieugenol. Perbandingan katalis asam sulfat dan eugenol yang tepat agar polieugenol terbentuk sempurna dengan rendemen 19.66% adalah 1:2 (Ngadiwiyana, 2005). Metode lain yang tersedia adalah metode polimerisasi menggunakan katalis BF_3 -dietileter (Anggraeni, 2006).

Polimerisasi kationik merupakan salah satu jenis polimerisasi adisi yang meliputi 3 tahap, yaitu tahap inisiasi, propagasi, dan terminasi. Tahap inisiasi merupakan tahap pembentukan karbokation melalui adisi elektrofilik ikatan rangkap monomer. Inisiator yang dapat digunakan untuk reaksi ini adalah asam mineral seperti HCl , H_2SO_4 , H_3PO_4 atau katalis Friedel Crafts seperti AlCl_3 , BF_3 , TiCl_4 , dan SnCl_4 . Karbokation yang dihasilkan akan mengadisi monomer yang lain pada tahap propagasi. Proses polimerisasi dihentikan pada tahap terminasi melalui penggabungan ion karbonium dan anion pasangannya yang disebut ion lawan (Cowd, 1991).

Hasil polimerisasi yang terbentuk adalah molekul polimer dengan ukuran dan berat yang beraneka ragam. Hal ini menyebabkan berat molekul suatu polimer merupakan berat molekul rata-rata dari setiap molekul yang terbentuk. Berat molekul rata-rata tersebut dapat ditentukan dengan metode viskometri, yaitu metode penentuan berat molekul rata-rata polimer berdasarkan viskositas intrinsik $[\eta]$ larutan polimer. Pada dasarnya, metode ini hanya mengukur waktu yang dibutuhkan larutan polimer dan pelarut murni untuk melewati tanda x dan y pada viskometer. Hasil yang diperoleh merupakan persamaan garis lurus, dimana intersepsinya adalah viskositas intrinsik polimer (Cowd, 1991).

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan polieugenol dari eugenol hasil redistilasi, hasil redistilasi dan ekstraksi, serta hasil redistilasi, ekstraksi, dan fraksinasi minyak daun cengkeh. Jika polieugenol yang dihasilkan pada tahap pertama tidak signifikan berbeda dengan tahap yang lain, maka proses polimerisasi eugenol dapat dipersingkat.

2. METODE PENELITIAN

Redistilasi Minyak Daun Cengkeh

Sebelum diekstraksi, minyak daun cengkeh kotor diredistilasi terlebih dahulu menggunakan distilasi pengurangan tekanan (± 50 mmHg). Minyak yang diperoleh disebut minyak daun cengkeh hasil redistilasi. Kadar eugenol dalam minyak tersebut diperiksa menggunakan kromatografi gas.

Ekstraksi Minyak Daun Cengkeh Hasil Redistilasi

Sebanyak 300 g minyak daun cengkeh hasil redistilasi dimasukkan ke dalam gelas piala 1000 mL dan diaduk dengan penambahan larutan 60 gram NaOH dalam 500 mL akuades. Campuran dipindahkan ke dalam corong pisah, diaduk kuat, kemudian didiamkan satu malam hingga terbentuk dua lapisan. Lapisan bawah diasamkan dengan 500 mL HCl 3 M sambil diaduk dengan pengaduk magnet sampai pH = 2–3. Setelah didiamkan, terbentuk dua lapisan. Lapisan tersebut dipisahkan. Lapisan atas (organik) disimpan, sedangkan lapisan bawah diekstrak menggunakan petroleum eter sebanyak dua kali masing-masing sebanyak 100 mL. Lapisan organik digabung, dicuci dengan akuades hingga netral, dikeringkan dengan Na_2SO_4 anhidrat, kemudian pelarutnya diuapkan pada evaporator *Buchi*. Minyak yang diperoleh disebut minyak daun cengkeh hasil redistilasi dan ekstraksi. Kadar eugenolnya diperiksa kembali menggunakan kromatografi gas.

Fraksinasi Minyak Daun Cengkeh Hasil Redistilasi dan Ekstraksi

Sebanyak 200 g minyak daun cengkeh hasil redistilasi dan ekstraksi dimasukkan ke dalam labu leher tiga 250 mL yang dihubungkan dengan seperangkat alat distilasi fraksinasi yang dilengkapi dengan pompa vakum bertekanan 50 mmHg. Fraksi pertama (F1) ditampung pada suhu 44-128 °C, fraksi kedua (F2) ditampung pada suhu 128-137 °C, dan fraksi ketiga (F3) ditampung pada suhu 137-141 °C. Kadar eugenol tiap fraksi diperiksa menggunakan kromatografi gas. Fraksi dengan kemurnian paling tinggi adalah fraksi yang digunakan untuk penelitian selanjutnya dan disebut minyak daun cengkeh hasil redistilasi, ekstraksi, dan fraksinasi. Analisis struktur dilakukan menggunakan spektrofotometer IR.

Polimerisasi Eugenol

Masing-masing minyak yang mengandung 5.85 g eugenol (volume menyesuaikan kadar masing-masing) dimasukkan ke dalam gelas piala 50 mL, kemudian ditambahkan 1 mL H_2SO_4 95% (pekat) yang ditambahkan setiap 30 menit sekali masing-masing sebanyak 0.25 mL. Setelah reaksi berlangsung selama 2 jam, polimerisasi dihentikan dengan menambahkan 1 mL metanol. Padatan yang terbentuk dicuci

dengan petroleum eter, dinetralkan dengan akuades, dan dikeringkan dengan oven pada suhu 50 °C. Padatan ditimbang, titik lebur dan strukturnya ditentukan, serta dikarakterisasi menggunakan kromatografi lapis tipis dengan eluen etanol.

Penentuan Berat Molekul

Polimer dilarutkan dalam etanol hingga diperoleh konsentrasi 0.0036 g/mL, 0.0072 g/mL, 0.0108 g/mL, 0.0144 g/mL, dan 0.0180 g/mL. Waktu alir pelarut murni yaitu etanol dan masing-masing konsentrasi larutan polimer diukur menggunakan viskometer Routine, sehingga diperoleh t_0 , t_1 , t_2 , t_3 , t_4 , dan t_5 .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

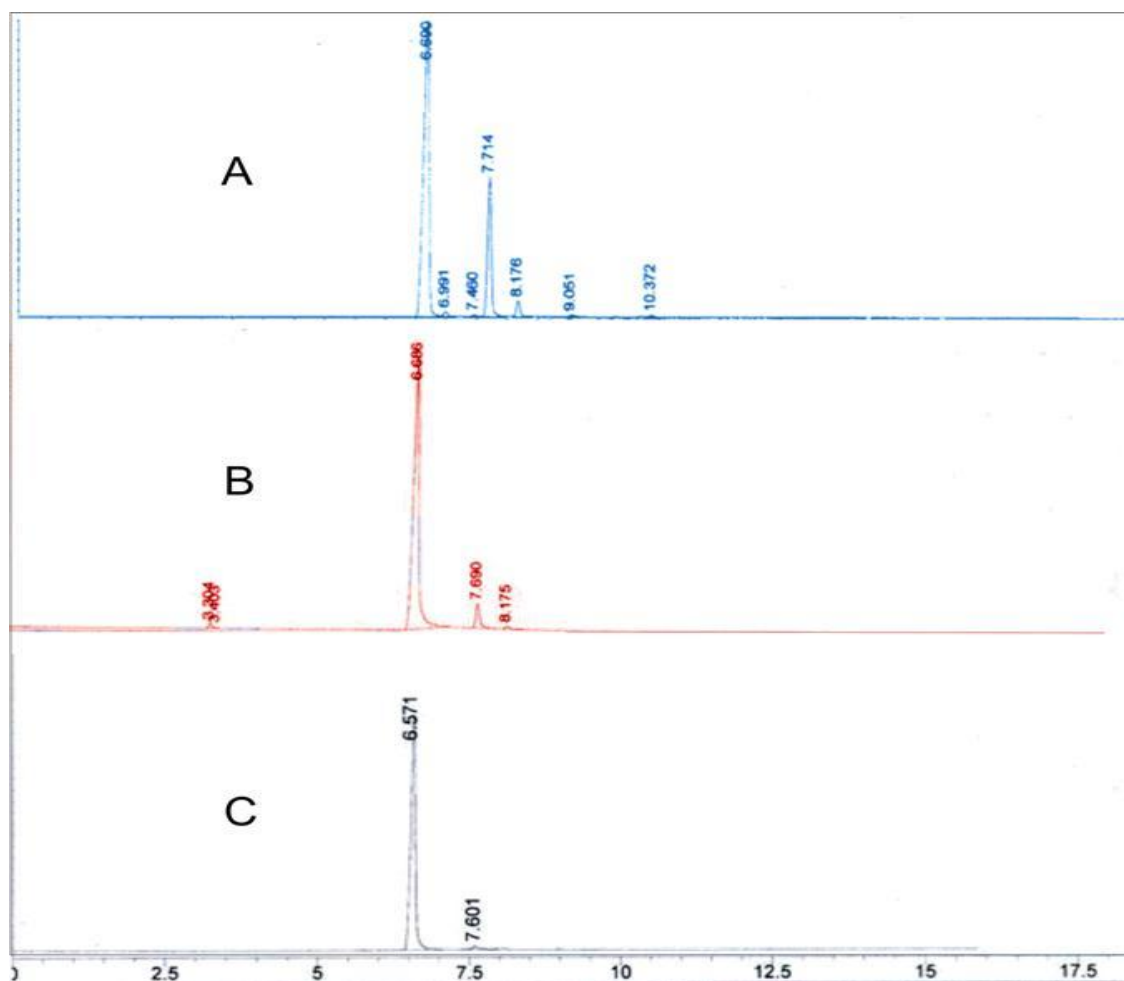
Redistilasi Minyak Daun Cengkeh

Hasil kromatografi gas minyak daun cengkeh hasil redistilasi pada Gambar 1 (A) menunjukkan kadar eugenol (R_t 6.690 menit) sebesar 72.06%. Tahap redistilasi menggunakan pengurangan tekanan dimaksudkan agar eugenol dalam minyak daun cengkeh yang dididihkan tidak mengalami kerusakan akibat penguraian panas yang dapat terjadi jika dilakukan pada tekanan normal.

Ekstraksi Minyak Daun Cengkeh Hasil Redistilasi

Larutan NaOH yang ditambahkan ke dalam minyak daun cengkeh bertujuan untuk mengikat eugenol menjadi garam eugenolat yang larut dalam air. Komponen-komponen lain dalam minyak daun cengkeh tidak akan bereaksi dan tetap sebagai fase organik yang tidak larut dalam air. Basa NaOH yang ditambahkan tersebut harus berlebih agar eugenolat terbentuk semaksimal mungkin.

Garam eugenolat yang larut dalam air diasamkan untuk memperoleh kembali eugenolnya. Pada tahap ini terbentuk 2 lapisan, yaitu lapisan bawah yang terdiri dari air dan garam NaCl dan lapisan atas adalah eugenol yang tidak larut dalam air. Asam yang ditambahkan harus berlebih sehingga diperoleh eugenol semaksimal mungkin. Eugenol yang mungkin masih terdapat pada lapisan bawah diekstrak menggunakan petroleum eter. Eugenol yang diperoleh dicuci dengan akuades sampai pH-nya netral, yaitu dengan mengikat asam yang mungkin masih tersisa. Untuk membebaskan air dalam eugenol, ekstrak ditambahkan Na_2SO_4 anhidrat.



Gambar 1. Kromatogram minyak daun cengkeh (A) hasil redistilasi, (B) hasil redistilasi yang diikuti ekstraksi, dan (C) fraksi 3 (F3) hasil redistilasi dan ekstraksi yang diikuti fraksinasi.

Hasil kromatografi gas minyak daun cengkeh hasil redistilasi dan ekstraksi pada Gambar 1 (B) menunjukkan kadar eugenol sebesar 91.90%. Pada gambar tersebut terdapat dua puncak yang baru ($R_t = 3.304$ dan $R_t = 3.403$ menit) sebelum puncak eugenol ($R_t = 6.686$ menit). Puncak tersebut diperkirakan puncak petroleum eter dan air yang mungkin masih tersisa.

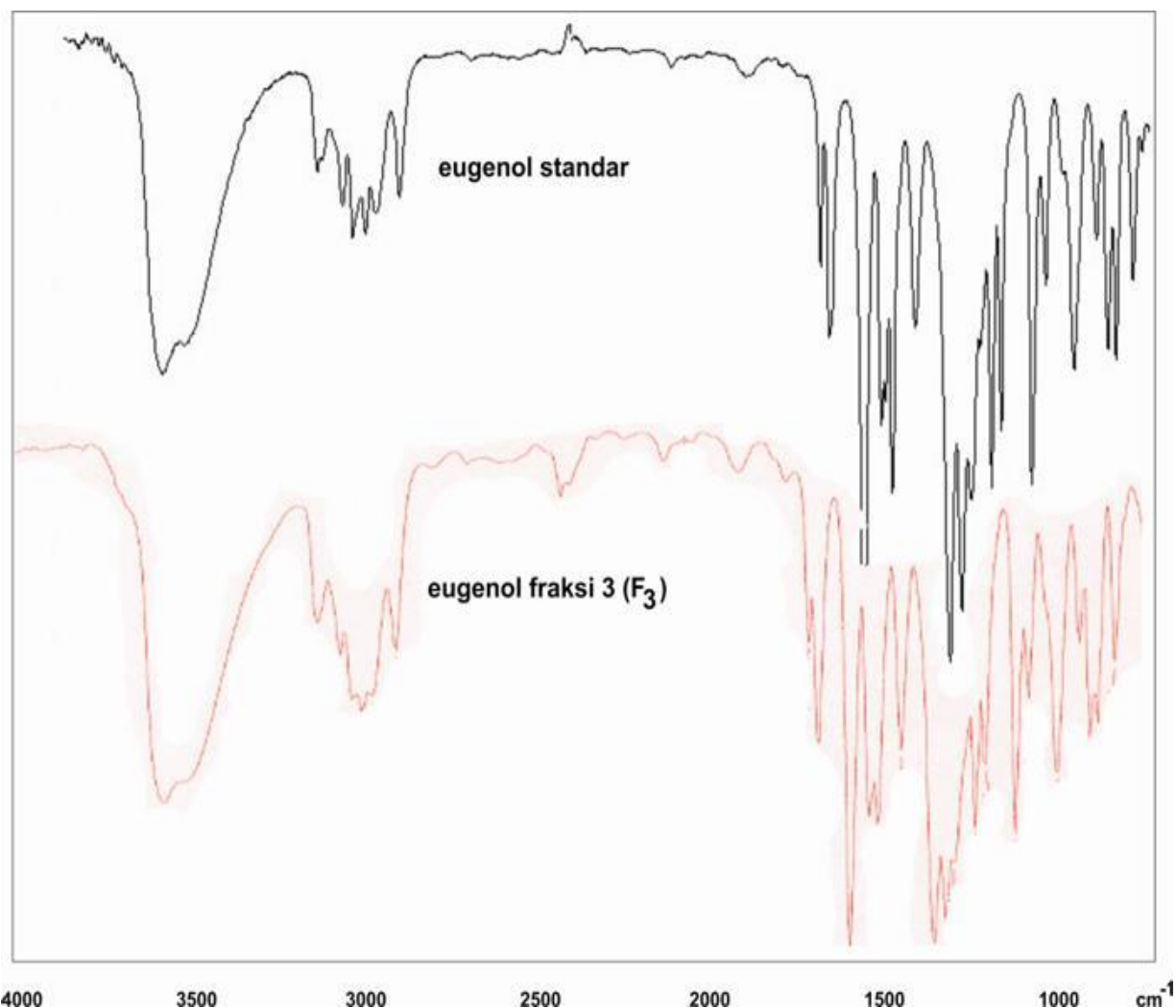
Fraksinasi Minyak Daun Cengkeh Hasil Redistilasi dan Ekstraksi

Fraksinasi menggunakan distilasi pengurangan tekanan. Pada tekanan 50 mmHg, minyak daun cengkeh dapat menetes di bawah titik didih normalnya, yaitu fraksi 1 (F1) pada suhu 44-128 °C, fraksi 2 (F2) pada suhu 128-137 °C, dan fraksi 3 (F3) pada suhu 137-141 °C.

Hasil analisis dengan kromatografi gas menunjukkan F3 merupakan fraksi yang paling murni dan terbanyak dengan kadar eugenol

sebesar 97.11% sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 (C). Hal ini disebabkan senyawa-senyawa seperti kariofilena, kububena, kapoena, dan senyawa-senyawa lain mempunyai titik didih yang lebih rendah sehingga akan menguap terlebih dahulu. Hal ini diperjelas dengan jumlah puncak yang semakin berkurang pada Gambar 1 (C). Fraksi ini digunakan untuk tahap penelitian selanjutnya.

Spektra IR F3 sebagai fraksi eugenol paling murni dibandingkan dengan spektra IR eugenol standar dapat dilihat pada Gambar 2. Spektra IR F3 pada gambar tersebut menunjukkan serapan gugus hidroksi pada bilangan gelombang 3518.16 cm^{-1} , dan serapan karakteristik O-C pada bilangan gelombang 1265.30 cm^{-1} . Serapan pada bilangan gelombang 1639.98 cm^{-1} merupakan serapan C=C alkena yang diperkuat dengan adanya serapan pada bilangan gelombang 3070.68 cm^{-1} yang merupakan serapan ikatan C-H alkena.



Gambar 2. Spektra IR eugenol standar (atas) dan eugenol fraksi 3 (F₃) hasil redistilasi, ekstraksi, dan fraksinasi (bawah).

Ikatan tersebut diperkuat pula oleh serapan pada bilangan gelombang 995.27 cm^{-1} dan 910.40 cm^{-1} yang merupakan serapan gugus $\text{C}=\text{CH}_2$. Serapan pada bilangan gelombang 1604.77 cm^{-1} dan 1512.19 cm^{-1} merupakan serapan karakteristik gugus aromatik. Gugus aromatik tersebut merupakan gugus aromatik trisubstitusi karena terdapat serapan pada 817.82 cm^{-1} .

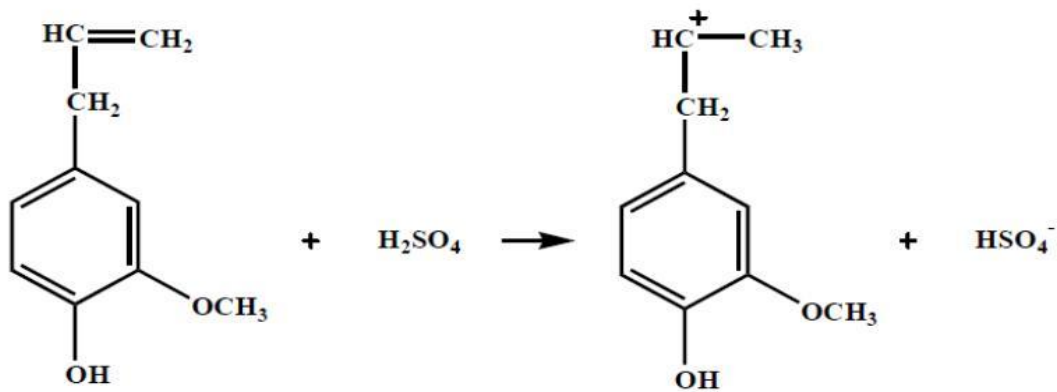
Polimerisasi Eugenol

Polimerisasi eugenol termasuk polimerisasi kationik karena terdapat spesies terpropagasi, yaitu ion karbonium serta mengalami 3 langkah reaksi, yaitu inisiasi, propagasi, dan terminasi. Reaksi pertama, inisiasi, terjadi ketika asam sulfat pekat ditambahkan ke dalam eugenol membentuk ion karbonium dengan cara adisi elektrofilik

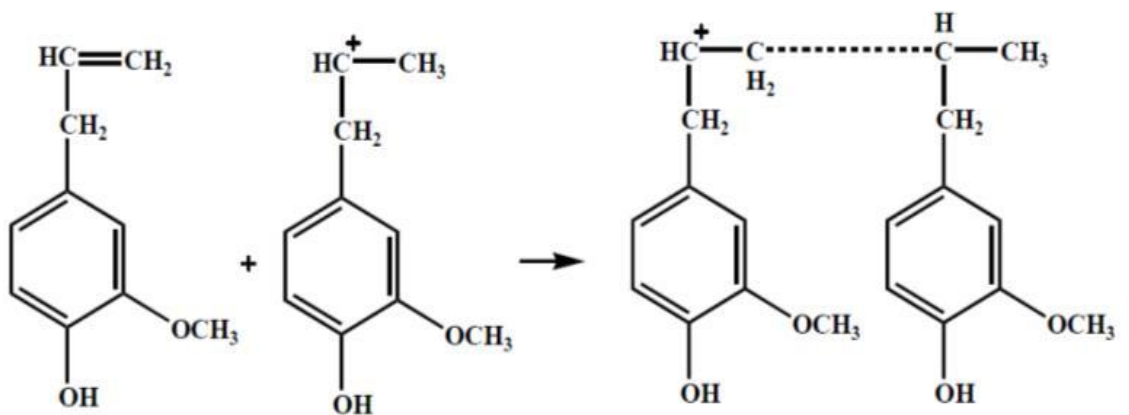
(gambar 3). Reaksi ini ditandai dengan perubahan larutan menjadi merah bata. Reaksi adisi pada tahap ini mengikuti Hukum Markovnikov, dimana stabilitas ion karbonium menentukan reaktivitas terjadinya penggabungan dengan monomer berikutnya. Stabilitas ion karbonium tersebut disebabkan oleh efek hiperkonjugasi.

Pada tahap kedua, propagasi, terjadi pembentukan ikatan kovalen antara rantai karbonium dengan monomer eugenol. Reaksinya dapat dilihat pada gambar 4. Kecepatan reaksi ini tergantung pada stabilitas ion yang terbentuk. Ion yang stabil mempercepat reaksi propagasi.

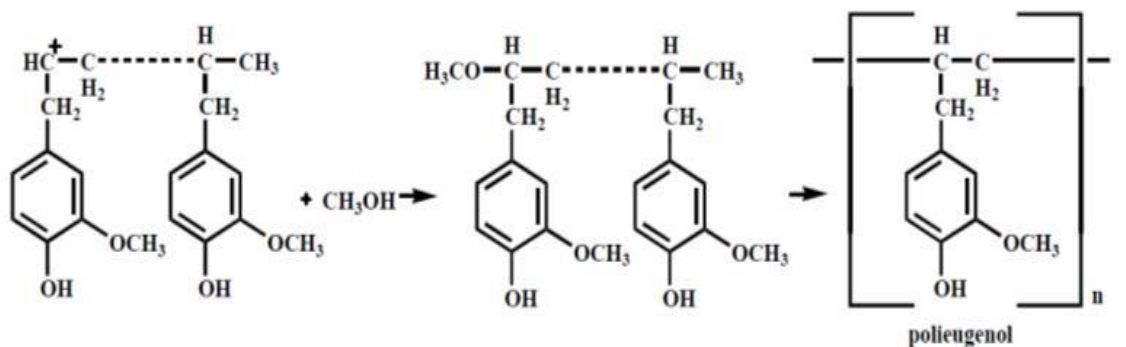
Tahap terakhir, yaitu tahap terminasi, terjadi melalui penghentian polimerisasi oleh metanol yang ditambahkan pada akhir reaksi. Reaksinya dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 3. Reaksi inisiasi eugenol menggunakan asam sulfat pekat



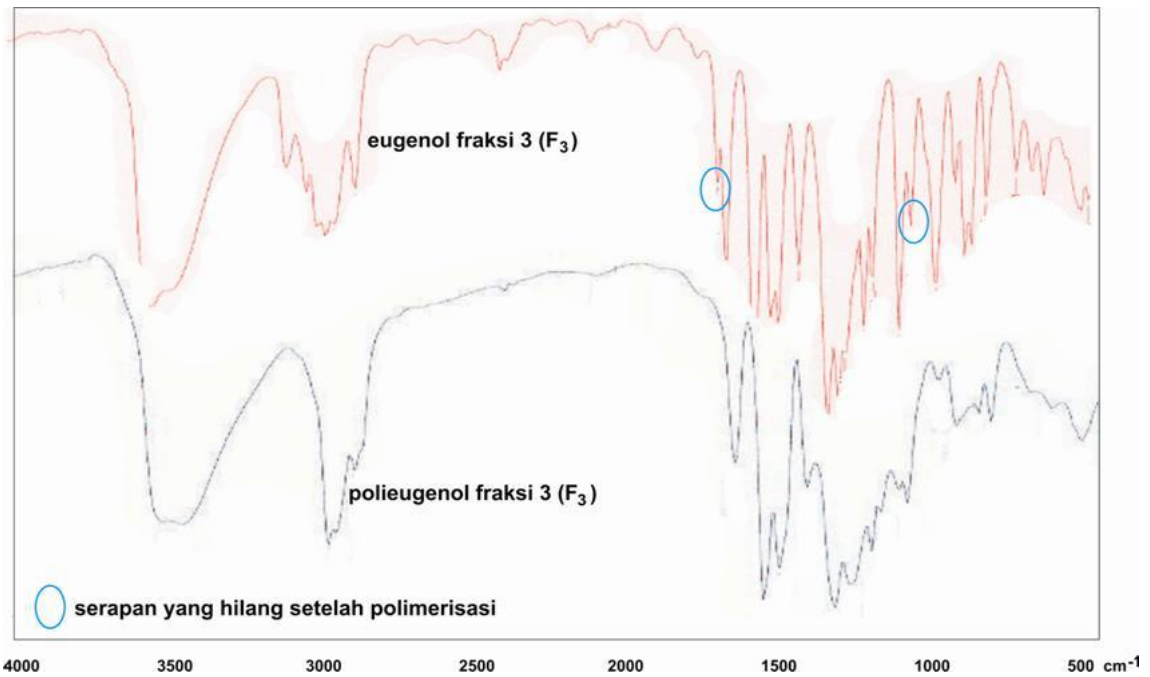
Gambar 4. Reaksi propagasi eugenol



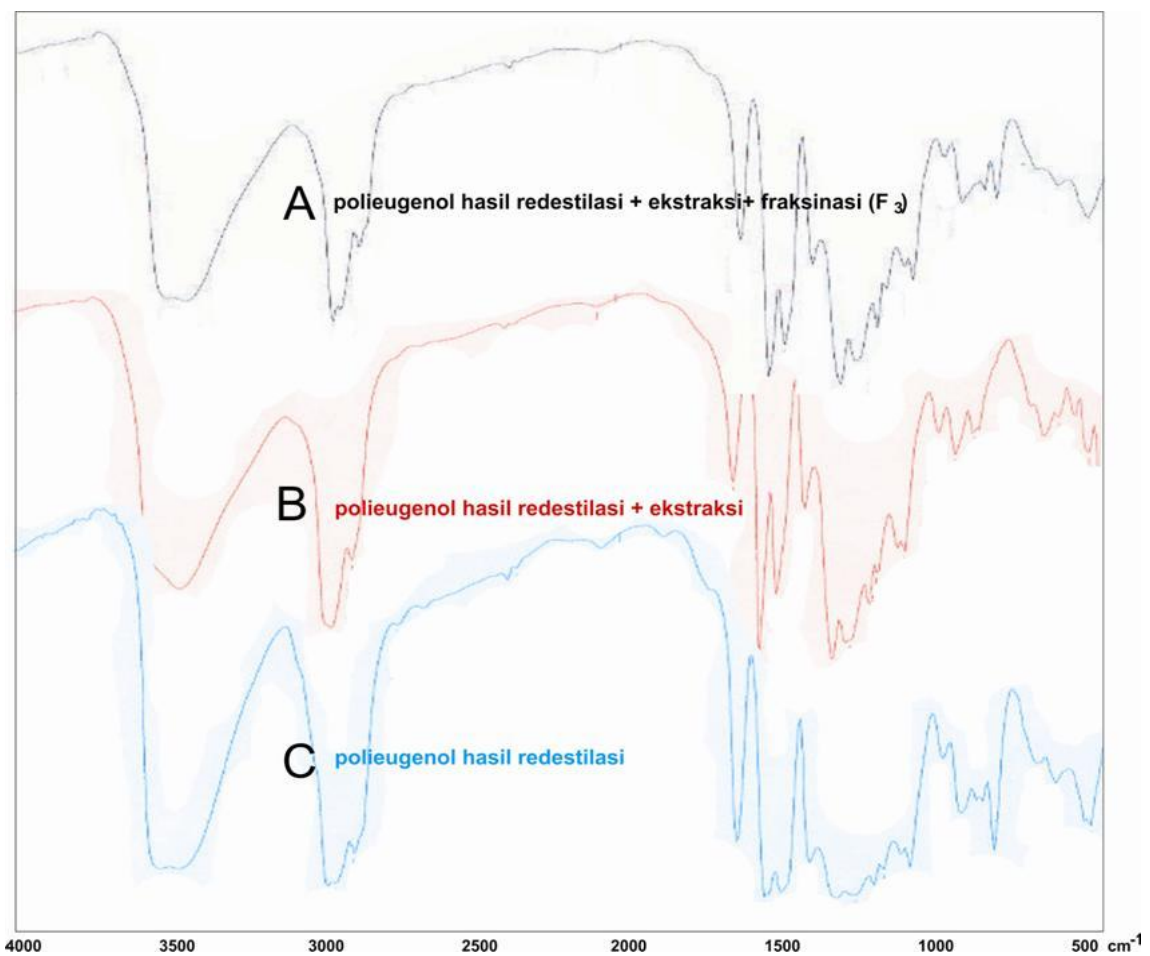
Gambar 5. Reaksi terminasi menggunakan metanol

Hasil analisis spektra IR polieugenol dari eugenol F3 diperlihatkan pada gambar 6 yang dibandingkan dengan spektra IR eugenol hasil fraksinasi F3. Spektra tersebut tidak lagi menunjukkan serapan C-H SP₂ di atas 3000

cm⁻¹, serapan gugus olefin (1639,98 cm⁻¹), dan serapan gugus vinil (995.27 cm⁻¹). Hal tersebut menunjukkan telah terjadi reaksi adisi terhadap ikatan rangkap gugus vinil dan membentuk suatu polimer.



Gambar 6. Spektra IR eugenol fraksi 3 (F₃) hasil redistilasi, ekstraksi, dan fraksinasi (atas) dan hasil polimerisasinya (bawah).



Gambar 7. Spektra IR polieugenol hasil redistilasi, ekstraksi, dan fraksinasi (F₃) (A), hasil redistilasi dan ekstraksi (B), serta hasil redistilasi (C).

Tabel 1. Hasil polimerisasi masing-masing eugenol minyak daun cengkeh

Yang diamati	Polieugenol hasil		
	Redistilasi, ekstraksi, dan fraksinasi (F3)	Redistilasi dan ekstraksi	Redistilasi
Jumlah minyak (g)	6.019	6.361	8.112
Jumlah eugenol (g)	5.84552	5.84552	5.84552
Jumlah katalis (mL)	1	1	1
Polimer terbentuk (g)	5.1523	5.0358	5.8623
Rendemen (%)	88.14	86.15	100.29
Wujud Polimer	Padat	Padat	Gel
Warna Polimer	Ungu	Ungu	Ungu muda
Titik lebur (°C)	89.3	71.8	47.6
Kelarutan	larut dalam kloroform, etanol, dan methanol tidak larut dalam air dan petroleum eter		

Tabel 2. Hasil analisis karakterisasi dengan KLT

Kode	Nama sampel	Faktor retardasi (Rf)
A	Eugenol fraksi 3 (F3)	0.87
B	Polieugenol hasil redistilasi, ekstraksi, dan fraksinasi (F3)	0.75
C	Polieugenol hasil redistilasi dan ekstraksi	0.82
D	Polieugenol hasil redistilasi	0.85

Pola yang sama terjadi pula pada spektra IR polieugenol dari minyak daun cengkeh hasil redistilasi dan ekstraksi sebagaimana diperlihatkan pada gambar 7 (B). Perbedaan yang sangat jelas terjadi pada spektra IR polieugenol dari minyak daun cengkeh hasil redistilasi pada gambar 7 (C). Seperti halnya spektra IR dua polimer sebelumnya, serapan gugus olefin dan gugus vinil tidak lagi terlihat. Hanya saja, muncul serapan-serapan lain yang tidak terdapat pada spektra eugenol.

Serapan-serapan tersebut diperkirakan muncul karena masih banyak senyawa-senyawa lain pada minyak daun cengkeh hasil redistilasi yang belum terpisahkan. Hal ini diperjelas dengan wujud polimer berupa gel dan rendemen yang melebihi 100% sebagaimana diperlihatkan dalam tabel 1.

Hasil karakterisasi dengan kromatografi lapis tipis sebagaimana disajikan pada tabel 2 menunjukkan perbedaan faktor retardasi eugenol F3 dan masing-masing polimer yang terbentuk. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa hasil polimerisasi bukan lagi eugenol.

Data pada tabel 2 menunjukkan dua kemungkinan. Kemungkinan pertama, polieugenol dengan faktor retardasi yang lebih kecil memiliki kepolaran yang juga lebih kecil.

Hal ini disebabkan eluen yang digunakan, yakni etanol bersifat polar. Molekul yang kepolarannya mendekati eluen akan terbawa lebih jauh, sebaliknya molekul yang kepolarannya kurang dari eluen akan tertahan pada material lapis tipis.

Kemungkinan kedua, polieugenol dengan faktor retardasi yang lebih kecil memiliki ukuran atau panjang molekul yang lebih besar. Ukuran atau panjang molekul yang lebih besar menyebabkan molekul polimer lebih mudah tertahan pada material lapis tipis. Kemungkinan kedua ini sesuai dengan hasil penentuan berat molekul sebagaimana akan dibahas pada poin 5 berikut.

Berat Molekul Polieugenol

Berat molekul (M) masing-masing polieugenol ditentukan menggunakan metode viskometri berdasarkan persamaan $[\eta] = KM^a$, dimana $[\eta]$ adalah viskositas intrinsik polimer sementara K dan a adalah tetapan yang spesifik untuk polimer. Oleh karena harga K dan a polieugenol tidak diketahui secara pasti, maka digunakan harga K dan a dari senyawa yang mirip. *Brandrup* dan *Immergut* menyebutkan bahwa harga K dan a polieugenol mirip dengan polisterina, yaitu $K = 0.011$ dan $a = 0.725$ (Ngadiwiyana, 2005). Sementara itu, nilai $[\eta]$ ditentukan sebagai intersep dari persamaan

$\eta_{sp}/C = [\eta] + KH[\eta]^2C$, dimana C adalah konsentrasi polimer, dan $[\eta]_{sp}$ adalah viskositas spesifik yang diperoleh sebagai parameter waktu.

Berdasarkan hasil perhitungan, berat molekul rata-rata polieugenol dari minyak daun cengkeh hasil redistilasi, ekstraksi, dan fraksinasi (F3) sebesar 14174.22 dengan derajat pengulangan (n) sebanyak 86 kali. Sementara, berat molekul rata-rata polieugenol dari minyak daun cengkeh hasil redistilasi dan ekstraksi dengan cara yang sama sebesar 13011.52 (n = 79 kali) dan dari minyak daun cengkeh hasil redistilasi sebesar 5140.48 (n = 31 kali).

4. SIMPULAN

Eugenol dari minyak daun cengkeh hasil redistilasi, ekstraksi, dan fraksinasi (F3) dapat dipolimerisasi menggunakan katalis asam sulfat pekat dengan rendemen sebesar 88.14%. Eugenol dari minyak daun cengkeh hasil redistilasi dan ekstraksi dapat dipolimerisasi menggunakan katalis asam sulfat pekat dengan rendemen sebesar 86,15%. Eugenol dari minyak daun cengkeh hasil redistilasi juga dapat dipolimerisasi menggunakan katalis asam sulfat pekat. Namun, rendemen polieugenol yang dihasilkan melebihi 100% karena senyawa-senyawa lain dalam minyak daun cengkeh tersebut belum dapat dihilangkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraeni B. 2006. Sintesis dan karakterisasi polieugenol dengan katalis BF₃-dietileter. *Jurnal Ilmu Dasar*. 2(7): 177–187.
- Djunaidi MC, Lusiana RA, Wibawa PJ, Siswanta D, Jumina J. 2010. Sintesis turunan polieugenol sebagai carrier bagi recovery logam berat dengan teknik membran cai. *Reaktor*. 13(1): 16–23.
- Handayani DS, Anwar C, Respati. 2004. Reaksi siklisasi sitronelal dengan katalis polieugenol tanpa media dan dengan media benzena. *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*. 3(1).
- Handayani DS, Kusumaningsih T, Yuli M. 2004. Sintesis kopoli (eugenol-DVB) sulfonat dari eugenol komponen utama minyak cengkeh (*Syzygium aromaticum*). *Biofarmasi*. 2(2): 53–57.
- Harimu L, Matsjeh S, Siswanta D, Santosa SJ. 2010. Synthesis of polyeugenyl oxyacetic acid as a carrier to separate heavy metal ion Fe (III), Cr (III), Cu (II), Ni (II), Co (II), and Pb (II) that using solvent extraction method. *Indonesian Journal of Chemistry*. 9(2): 261–266.
- Kartikawati NG. 2008. Pemisahan Cr (III), Cu (II), Dan Cd (II) dengan Teknik BLM (Bulk Liquid Membrane) Menggunakan Carrier Polieugenol Hasil Sintesis. [Skripsi]. Semarang (ID): Jurusan Kimia Universitas Diponegoro, Semarang.
- Ngadiwiyana N. 2005. Polimerisasi eugenol dengan katalis asam sulfat pekat. *Kimia Sains dan Aplikasi*. 8(2).