



OKSIDASI KARIOFILENA DENGAN H₂O₂ MENJADI TURUNANNYA DAN UJI AKTIVITASNYA TERHADAP *Staphylococcus aureus*

Nor Farida Azzakiya^{*)}, Sudarmin dan Nuni Widiarti

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang

Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Agustus 2015
Disetujui September 2015
Dipublikasikan November 2015

Kata kunci:
oksidasi kariofilena
katalis Fe₂O₃/ZAA
klovena

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi H₂O₂ terhadap hasil senyawa turunan kariofilena menggunakan katalis Fe₂O₃/ZAA. Selain itu untuk mengetahui pengaruh senyawa turunan kariofilena hasil reaksi oksidasi kariofilena dengan H₂O₂ berkatalis Fe₂O₃/ZAA terhadap bakteri *Staphylococcus aureus*. Penelitian diawali dengan pembuatan katalis Fe₂O₃/ZAA menggunakan metode impregnasi. Hasil impregnasi katalis Fe₂O₃/ZAA dan zeolit alam kemudian di uji FT-IR dan XRD. Katalis Fe₂O₃/ZAA kemudian digunakan dalam reaksi oksidasi kariofilena dengan H₂O₂ dalam suasana asam. Konsentrasi H₂O₂ yang digunakan dalam penelitian ini adalah 15, 20, 25 dan 30%. Hasil oksidasi kemudian di uji FT-IR dan GC. Hasil terbaik menurut FT-IR dan GC kemudian di uji GC-MS dan daya hambat terhadap bakteri *Staphylococcus aureus*. Dari hasil penelitian didapat bahwa senyawa hasil reaksi oksidasi dengan H₂O₂ menggunakan katalis Fe₂O₃/ZAA pada temperatur 70°C dan selama 4 jam merupakan senyawa klovena dengan konsentrasi sebesar 46,06%. Konsentrasi optimum senyawa klovena terhadap *Staphylococcus aureus* yaitu 3 tetes dengan lebar zona bening (daya hambat) sebesar 56,25 mm.

Abstract

This research's objective is to know the influence of H₂O₂ concentrate to caryophyllene derivative using Fe₂O₃/ZAA catalyst; and to know influence of caryophyllene derivative, result of caryophyllene oxidation using Fe₂O₃/ZAA catalyst, to *Staphylococcus aureus*. The research begins with making by use of Fe₂O₃/ZAA catalyst using impregnation method. The result Fe₂O₃/ZAA catalyst and zeolite then tested using FTIR and XRD. The Fe₂O₃/ZAA catalyst then is used in a caryophyllene oxidation with H₂O₂ in acidic condition. Concentration of H₂O₂ is used in this research is 15, 20, 25 and 30%. The result of oxidation is tested using FTIR and GC. The best result then tested using GC-MS and its inhibition to *Staphylococcus aureus* bacteria. The research results that compound from oxidation reaction with H₂O₂ using Fe₂O₃/ZAA catalyst in 70°C for 4 hours is clovene compound with 46.06% concentration. Optimum concentration of clovene compound to *Staphylococcus aureus* is 3 drops with inhibition width 56.25 mm.

Pendahuluan

Indonesia merupakan penghasil minyak atsiri yang cukup terkenal di dunia. Salah satu minyak atsiri yang dihasilkan di Indonesia adalah minyak cengkeh. Namun demikian penggunaan minyak cengkeh di dalam negeri masih sangat terbatas sebagai obat sakit gigi, sehingga masih merupakan komoditas ekspor dalam bentuk bahan mentah dengan harga yang relatif rendah. Menurut Guenther (1990), minyak cengkeh terdiri atas dua komposisi utama yaitu eugenol (80-90%) dan kariofilena (10-20%).

Penelitian tentang pemanfaatan kariofilena dan turunannya telah banyak dilakukan. Berdasarkan penelitian-penelitian 10 tahun terakhir menunjukkan bahwa senyawa kariofilena dan turunannya memiliki beberapa kegunaan diantaranya sebagai bahan parfum (Muchalal, *et al.*; 2002), antioksidan (Deba, *et al.*; 2007), mencegah pertumbuhan kanker (Park, *et al.*; 2011), penghambat pertumbuhan mikroba (Kamal; 2012), serta anti jamur (Hidayat; 2012).

Senyawa turunan kariofilena pada umumnya diperoleh dari reaksi oksidasi. Beberapa reaksi oksidasi kariofilena yang telah dilakukan menggunakan oksidator KMnO_4 (Kamal; 2012) dan H_2O_2 (Yamazaki; 2010). Yamazaki (2010) menggunakan oksidator H_2O_2 35%. Bonon *et al.* (2009) reaksi oksidasi olefin dengan oksidator H_2O_2 30% (70% aqueous, 8,2 mmol). Sedangkan Karen (2014) dalam penelitiannya tidak menyebutkan konsentrasi H_2O_2 yang digunakan.

Pada reaksi oksidasi kariofilena katalis yang digunakan pada umumnya logam transisi. H_2SO_4 digunakan sebagai katalis untuk oksidator KMnO_4 (Kamal, *et al.*; 2012). Katalis Ti-MMM digunakan sebagai katalis dalam reaksi oksidasi kariofilena dengan oksidator H_2O_2 (Bonon, *et al.*; 2009). Namun demikian, katalis Ti-MMM harganya mahal dan sulit untuk mendapatkannya. Penelitian yang lain menggunakan methyltrioxorhenium sebagai katalis (Yamazaki; 2010). Methyltrioxorhenium juga sangat sulit didapatkan sehingga dalam penelitian ini tidak menggunakan kedua katalis tersebut. Katalis yang akan digunakan pada penelitian lain yaitu logam transisi Fe yang diembankan dalam salah satu bahan pengemban. Logam Fe dipilih karena dari logam transisi yang lainnya, logam Fe merupakan yang paling reaktif terhadap H_2O_2 (Yudi; 2008).

Salah satu bahan pengemban yang sudah

banyak digunakan adalah zeolit. Menurut Satterfield (1980), sebagaimana dikutip oleh Witanto, *et al.* (2010), zeolit mempunyai aktivitas dan stabilitas termal yang tinggi. Zeolit sering digunakan sebagai adsorben, sifat spesifik dari zeolit banyak dimanfaatkan sebagai penukar ion dan juga dikembangkan sebagai pengemban atau sebagai bahan dasar katalis. Menurut Hegedus (1987), sebagaimana dikutip oleh Witanto, *et al.* (2010), logam yang diembankan ke dalam zeolit akan menyebabkan luas permukaan logam relatif besar, yang pada akhirnya akan memperbesar luas kontak antara katalis dan reaktan, sehingga reaksi berjalan cepat. Salah satu kelebihan dari zeolit adalah memiliki luas permukaan dan keasaman yang mudah dimodifikasi (Yuanita; 2009).

Hasil penelitian sebelumnya dapat diambil kesimpulan sifat zeolit dan kelebihan yang dimiliki oleh ion Fe (III), maka dalam penelitian ini dilakukan reaksi oksidasi kariofilena dengan oksidator H_2O_2 menggunakan katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZAA}$ alam serta pengujian aktivitas senyawa hasil oksidasi tersebut sebagai anti mikroba pada *Staphylococcus aureus*. Pada penelitian ini menggunakan *Staphylococcus aureus* karena bakteri ini menghasilkan enterotoksin yang menyebabkan beberapa kasus diare. Dengan adanya penelitian ini diharapkan pengolahan senyawa kariofilena hasil samping eugenol dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pengobatan penyakit yang disebabkan oleh *Staphylococcus aureus*.

Metode Penelitian

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kariofilena yang diperoleh dari *PT. Indesso Aroma Purwokerto*, HCl , H_2SO_4 , H_2O_2 , CH_3COOH , NH_4NO_3 , $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, AgNO_3 dengan *grade pro analyst* buatan *Merck*; Na_2SO_4 anhidrat, *n*-heksana teknis, zeolit alam Bayah, *deionized water*, gas nitrogen (*PT. Samator Gas*). Alat yang dipakai: XRD *Shimadzu XRD-6000*, *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR) *Shimadzu 8201 PC*, *GC Agilent 6820*, *GC-MS Shimadzu QP-2010s*.

Zeolit alam Bayah direndam dalam air bebas ion sambil diaduk dengan pengaduk selama 24 jam pada temperatur kamar. Sampel zeolit alam yang telah dicuci direndam ke dalam larutan HCl 6N selama 30 menit pada temperatur 50°C sambil diaduk dengan pengaduk magnet, kemudian dikeringkan. Setelah itu, sampel direndam dengan NH_4NO_3 2N dalam *beaker glass* selama 24 jam, kemudian dikeringkan. Sampel dihaluskan dengan ukuran

lolos pengayak 100 mesh.

Impregnasi katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZAA}$ dilakukan dengan melarutkan $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dalam aquades. Selanjutnya larutan tersebut digunakan untuk merendam zeolit dan diaduk dengan pengaduk magnet selama 3 jam tanpa pemanasan. Campuran kemudian dicuci dengan aquades hingga tidak terdeteksi Cl⁻. Selanjutnya endapan dikeringkan. Katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZAA}$ yang diperoleh, dimasukkan dalam reaktor, kemudian dikalsinasi. Sampel katalis yang diperoleh kemudian dilakukan karakterisasi yang meliputi kristalinitas katalis dengan XRD dan FT-IR.

Reaksi oksidasi dilakukan di dalam labu leher tiga yang dilengkapi dengan pengaduk (*magnetic stirrer*), termometer, dan penangas air. Setelah itu memasukkan kariofilena, $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZAA}$, H_2SO_4 , 4 mL CH_3COOH 0,4M ke dalam labu leher tiga dan diaduk. Kemudian dipanaskan hingga suhu 70°C jika sudah mencapai suhu tersebut, maka 6 mL H_2O_2 dimasukkan secara perlahan-lahan. Setelah H_2O_2 habis tunggu hingga 4 jam. Campuran diekstrak dengan 10 mL *n*-heksan dan dipisahkan.

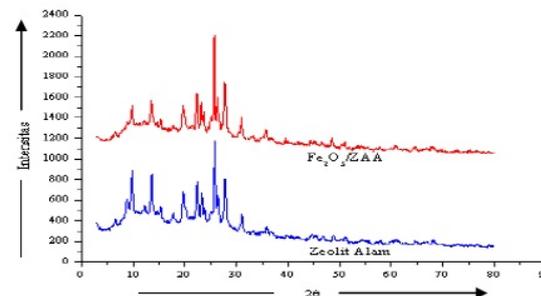
Sampel kemudian dicuci dengan air kemudian dikeringkan dengan Na_2SO_4 anhidrat. Produk oksidasi selanjutnya dinetralisasi dengan menggunakan natrium hidrogen karbonat. Kelebihan *n*-heksan dievaporasi dengan gas N_2 . Sampel oksidasi kariofilena yang diperoleh kemudian dilakukan karakterisasi yang meliputi uji gugus fungsi dengan FT-IR, kadar kemurnian dengan GC, dan hasil terbaik akan dilakukan perkiraan kandungan senyawa hasil dengan GC-MS serta uji antibakteri.

Dengan menggunakan pelubang sumuran, dibuat lubang-lubang pada media NA yang telah memadat dengan diameter 10 mm, sebagai tempat sampel dan kontrol. Pembuatan lubang hanya menembus *layer* atas, *layer* bawah digunakan sebagai alas supaya destilat tidak menyebar pada dasar cawan petri. Volume yang diinokulasi adalah 30 μl diinkubasi selama 24 jam dengan suhu 37°C , kemudian diamati diameter zona jernih yang dihasilkan. Daya antibakteri diamati berdasarkan diameter zona hambat yang terbentuk dibandingkan dengan kontrol.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis kristalinitas katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZAA}$ menggunakan difraksi sinar-X dapat dilihat dari pola difraksi padatan katalis. Perbandingan pola difraksi (difraktogram) padatan katalis zeolit alam dan $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZAA}$

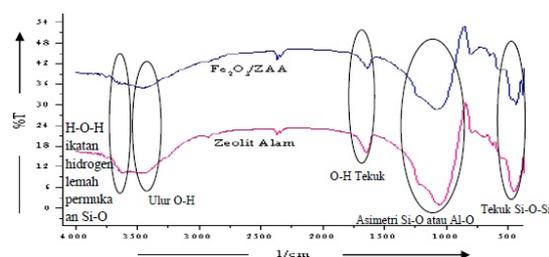
disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan difraktogram zeolit alam dengan katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZAA}$

Gambar 1. menunjukkan pola difraktogram dengan rentang 2θ 0° - 80° pada zeolit alam dan katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZAA}$ hampir sama setelah terembani logam Fe secara impregnasi. Puncak dari masing-masing katalis juga terlihat semakin runcing dan tajam. Dari Gambar 1. juga diperlihatkan *baseline* dari zeolit alam dan katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZAA}$ secara impregnasi hampir sama dan lurus sejajar dengan sumbu-x. Hasil analisis diatas, dapat dikatakan bahwa kristalinitas dari zeolit alam tidak mengalami kerusakan setelah terjadi proses pengembunan logam Fe secara impregnasi.

Gugus aktif katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZAA}$ dianalisis menggunakan FT-IR. Hasil spektra inframerah zeolit alam dan $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZAA}$ disajikan pada Gambar 2.

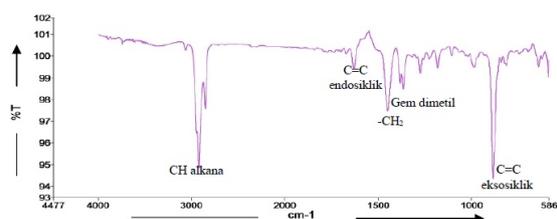


Gambar 2. Perbandingan spektra inframerah zeolit alam dan $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZAA}$

Gambar 2. menunjukkan bahwa zeolit alam mempunyai puncak serapan pada daerah bilangan gelombang $3626,17\text{ cm}^{-1}$; $3464,15\text{ cm}^{-1}$; $1643,35\text{ cm}^{-1}$; $1056,99\text{ cm}^{-1}$; $447,49\text{ cm}^{-1}$. Pada Gambar 2. puncak $3464,15\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan serapan gugus -OH pada zeolit terhidrasi. Puncak $1056,99\text{ cm}^{-1}$ adalah serapan yang menunjukkan adanya vibrasi ulur asimetris Si-O atau Al-O pada TO_4 .

Spektra serapan untuk $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZAA}$ menunjukkan bahwa tidak tampak lagi serapan pada bilangan gelombang $3626,17\text{ cm}^{-1}$. Hilangnya pita serapan pada bilangan gelombang $3626,17\text{ cm}^{-1}$ ini disebabkan oleh hilangnya air

karena proses kalsinasi. Serapan pada bilangan gelombang 3464,15 cm^{-1} pada zeolit alam mengalami pergeseran ke arah bilangan gelombang yang lebih kecil yaitu menjadi tampak pada bilangan gelombang 3448,72 cm^{-1} pada $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZAA}$ yang disertai dengan berkurangnya intensitas yang mengindikasikan berkurangnya air karena pengaruh kalsinasi. Pita serapan pada bilangan gelombang 1643,35 cm^{-1} yang merupakan serapan dari H_2O secara lengkung (-OH tekuk) menjadi terlihat pada bilangan gelombang 1635,64 cm^{-1} . Identifikasi gugus fungsi senyawa kariofilena dengan FT-IR disajikan pada Gambar 3.

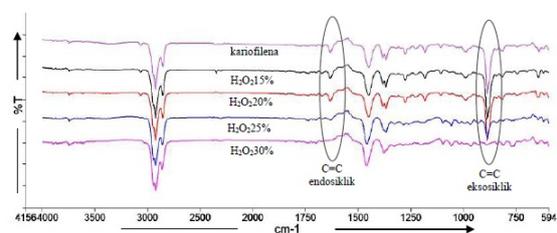


Gambar 3. Spektra IR kariofilena

Spektra kariofilena pada Gambar 3. menunjukkan adanya gugus C=C endosiklik dan gugus C=C eksosiklik yang ditunjukkan dengan munculnya *peak* pada bilangan gelombang 1629,2 cm^{-1} dan 885,79 cm^{-1} . Serapan pada 2927,7 cm^{-1} dan 2858,1 cm^{-1} yang diikuti serapan 1450,4 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus CH_2 sedangkan serapan kembar 1380,9 cm^{-1} dan 1367,4 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus alkil bercabang.

Selain dilakukan analisis struktur, dilakukan pula analisis kadar menggunakan instrumen GC. Data kromatogram pada GC, menunjukkan senyawa kariofilena yang digunakan memiliki kemurnian sebesar 99,13%.

Gugus aktif senyawa hasil oksidasi kariofilena dianalisis menggunakan FT-IR. Hasil spektra inframerah kariofilena dan hasil oksidasi kariofilena disajikan pada Gambar 4.

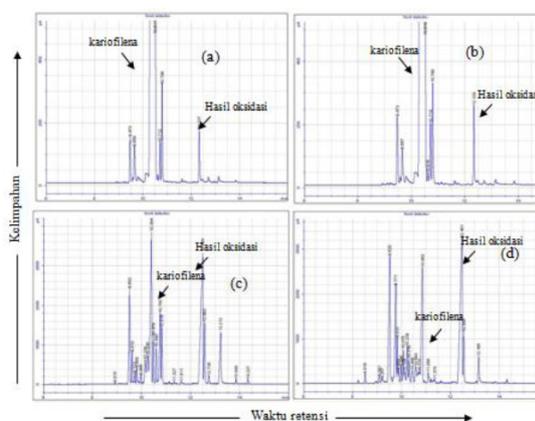


Gambar 4. Perbandingan spektra IR kariofilena dan hasil oksidasi kariofilena dengan H_2O_2

Dari data diatas dapat dilihat senyawa turunan kariofilena dari reaksi oksidasi dengan H_2O_2 30% memiliki perbedaan struktur yang paling signifikan. Struktur senyawa turunan

kariofilena dengan H_2O_2 30% menunjukkan hilangnya gugus fungsi C=C endosiklik dan C=C eksosiklik yang ditunjukkan dengan hilangnya bilangan gelombang 1629,2 cm^{-1} dan 885,79 cm^{-1} . Hasil senyawa turunan oksidasi kariofilena dengan H_2O_2 tidak menunjukkan adanya gugus O (aldehid, keton, alkohol, maupun epoksi).

Analisis kadar senyawa hasil oksidasi kariofilena dengan menggunakan instrumen GC. Hasil GC senyawa oksidasi kariofilena disajikan pada Gambar 5. Dari hasil GC dapat dilihat pada waktu retensi tersebut, kadar produk yang dihasilkan pada pengadukan 4 jam (70°C) dengan persentase 0,87%, 0,59%, 45,20%, dan 52,33% diduga sebagai puncak dari hasil oksidasi senyawa kariofilena.



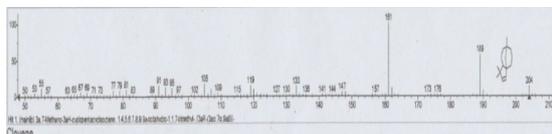
Gambar 5. Perbandingan kadar senyawa hasil oksidasi kariofilena dengan konsentrasi H_2O_2 (a) 15%; (b) 20%; (c) 25%; (d) 30%

Hasil oksidasi kariofilena dengan H_2O_2 30% berdasarkan FT-IR dan GC memiliki gugus fungsi yang berbeda dan kadar senyawa hasil yang tinggi dibandingkan yang lain. Oleh karena itu, senyawa hasil oksidasi kariofilena dengan H_2O_2 30% yang diuji GC-MS untuk memperkirakan senyawa yang terkandung didalamnya dan uji daya hambat terhadap *Staphylococcus aureus*.

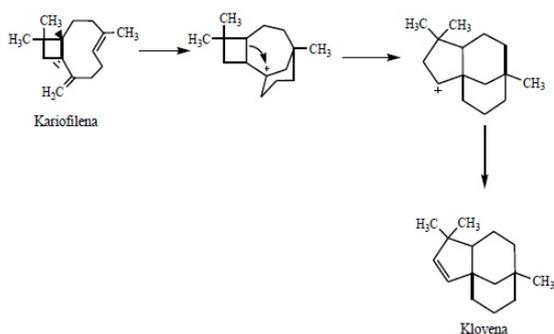
Analisis menggunakan GC-MS dimaksudkan untuk mengetahui kadar senyawa hasil oksidasi kariofilena yang terbentuk dan kemungkinan struktur dari senyawa tersebut. Setelah analisis GC dan FT-IR, dilakukan analisis GC-MS senyawa hasil reaksi oksidasi kariofilena dengan H_2O_2 serta menggunakan katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZAA}$ pada suhu 70°C selama 4 jam mengetahui senyawa yang dihasilkan. Hasil kromatogram disajikan pada Gambar 6.

Spektrum puncak nomor 1 dengan waktu retensi 12,272 menit dimungkinkan merupakan senyawa klovena. Analisis menggunakan

kromatografi GC-MS dilakukan produk reaksi oksidasi senyawa kariofilena dengan H_2O_2 dan katalis Fe_2O_3/ZAA . Perkiraan pembentukan senyawa klovena menurut Sell (2003) disajikan pada Gambar 7.



Gambar 6. Kromatogram GC-MS produk reaksi oksidasi senyawa kariofilena



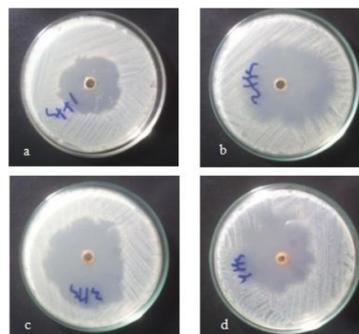
Gambar 7. Pembentukan klovena dari Kariofilena Sell (2003)

Tabel 1. Diameter zona penghambatan (mm) dari kontrol dan hasil oksidasi kariofilena terhadap bakteri *Staphylococcus aureus*

No.	Sampel uji	Diameter hambatan (mm) sampel uji antibakteri <i>Staphylococcus aureus</i>
1.	1 tetes	39,75
2.	2 tetes	54,00
3.	3 tetes	56,25
4.	4 tetes	41,75

Uji antimikroba dari senyawa turunan kariofilena yang berkonsentrasi 1, 2, 3 dan 4 tetes. Hal ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar daya antibakteri yang dimiliki senyawa turunan kariofilena untuk menghambat pertumbuhan bakteri. Bakteri yang digunakan untuk menguji antibakteri disini adalah bakteri *Staphylococcus aureus*. Hasil uji antibakteri disajikan dalam Tabel 1. Aktivitas daya hambat terbesar dari senyawa hasil oksidasi kariofilena terdapat pada konsentrasi klovena 3 tetes dengan diameter zona hambat sebesar 56,25 mm, sedangkan kontrol tidak memberikan daya hambat untuk konsentrasi yang sama. Hasil uji antibakteri dari senyawa turunan kariofilena disajikan dalam Gambar 8.

Aktivitas antibakteri senyawa klovena dengan konsentrasi 3 tetes > 2 tetes > 4 tetes > 1 tetes. Berdasarkan hasil aktivitas antibakteri senyawa klovena dapat dikatakan bahwa 3 tetes merupakan konsentrasi maksimum senyawa klovena dalam penghambatan bakteri.



Gambar 8. Daya hambat klovena terhadap bakteri *S. aureus* dengan konsentrasi a. 1 tetes, b. 2 tetes, c. 3 tetes dan d. 4 tetes

Simpulan

Hasil reaksi oksidasi kariofilena dengan variasi konsentrasi H_2O_2 menunjukkan bahwa konsentrasi H_2O_2 30% merupakan konsentrasi terbaik untuk membentuk senyawa turunan kariofilena dengan konsentrasi sebesar 46,04%. Pengaruh klovena terhadap sifat uji aktivitas antibakteri menggunakan *Staphylococcus aureus* yang paling baik adalah 3 tetes dengan diameter zona hambat sebesar 56,25 mm.

Daftar Pustaka

- Bonon, A.J., D. Mandelli, O.A. Kholdeeva, M.V. Barmatova, Y.N. Kozlov, & G.B. Shul'pin. 2009. Oxidation of Alkanes and Olefins with Hydrogen Peroxide in Acetonitrile Solution Catalyzed by a Mesoporous Titanium-Silicate Ti-MMM-2. *Applied Catalysis A: General*, 365: 96–104
- Deba, F., T.D. Xuan, M. Yasuda, & S. Tawata. 2007. Chemical Composition and Antioxidant, Antibacterial and Antifungal Activities of The Essential Oils from *Bidens pilosa* Linn. var. *Radiata*. *Food Control*, 19: 346-352
- Guenther, E. 1990. *The Essential Oils*. New York: Robert E Krieger Publishing Co., Inc
- Hidayat, U. 2012. *Uji Aktivitas Senyawa Hasil Oksidasi Kariofilena dengan $KMnO_4$ terhadap *Candida albicans**. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang
- Kamal, A. 2012. *Uji Aktivitas Antimikroba Senyawa Hasil Hidrasi Senyawa Kariofilena *Escherichia Coli* dan *Staphylococcus Aureus**. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang
- Lestari, D.Y. 2010. *Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara*. *Jurnal Kimia UNY*
- Muchalal, M. 2002. *Sintesis Kariofilena Alkohol sebagai Bahan Parfum dari Minyak Daun Cengkeh*. *PHB IX/2*
- Park, K.R., D. Nam, H.M. Yun, S.G. Lee, H.J. Jang, G. Sethi, S.K. Cho, & K.S. Ahn. 2011. β -Caryophyllene Oxide Inhibits Growth and Induces Apoptosis through The Suppression of PI3K/AKT/mTOR/S6K1 Pathways and ROS-mediated

- MAPKs Activation. *Cancer Letters*, 312: 178-188
- Sell, S.C. 2003. *A Fragrant Introduction to Terpenoid Chemistry*. UK: Royal Society of Chemistry. Thomas Graham House, Science Park, Milton Road, Cambridge
- Witanto, E., Trisunaryanti, W., Triyono. 2010. Preparasi dan Karakterisasi Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam Aktif. *Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta*. 18 November 2010, ISSN 1978-0176
- Yamazaki, S. 2010. An Effective Procedure for The Synthesis of Acid-Sensitive Epoxides: Use of 1-Methylimidazole as The Additive on Methyltrioxorhenium-Catalyzed Epoxidation of Alkenes with Hydrogen Peroxide. *Org. Biomol. Chem.*, 8: 2377-2385
- Yudi, M. 2008. Kinetika Katalitik Ion-Ion Logam Transisi Pada Reaksi Penguraian Hidrogen Peroksida. *Jurnal Chemica*, 9(2): 43-48