

AKTIVITAS ANTIMIKROBA MINYAK ESENSIAL JAHE MERAH (*Zingiber officinale* var. *Rubrum*) DAN LENGKUAS MERAH (*Alpinia purpurata* K. Schum) TERHADAP BAKTERI PATOGEN DAN PERUSAK PANGAN

Antimicrobial Activity of Red Ginger (*Zingiber Officinale* Var. *Rubrum*) and Red Galangal (*Alpinia purpurata* K. Schum) Essential Oils Against Pathogenic and Food Spoilage Bacteria

Tita Rialita^{1,2}, Winiati Pudji Rahayu^{3,4}, Lilis Nuraida^{3,4}, Budi Nurtama³

¹Program Studi Ilmu Pangan, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Jl. Raya Dramaga, Gedung Andi Hakim Nasoetion, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680

²Departemen Teknologi Industri Pangan, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung Sumedang Km. 21, Bandung 40600

³Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

⁴SEAFast Center, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
Email: wini_a@hotmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik, komposisi dan aktivitas antimikroba minyak esensial jahe merah dan lengkuas merah lokal Indonesia terhadap empat spesies bakteri patogen dan perusak pangan, yaitu *B.cereus* ATCC 10876, *E.coli* ATCC 25922, *S. typhimurium* ATCC 14028, dan *P. aeruginosa* ATCC 27853. Analisis karakteristik fisika-kimia dilakukan sesuai standar ISO 7355:1985. Komposisi kimia dianalisis menggunakan alat GC-MS. Pengujian aktivitas antimikroba dilakukan dengan metode difusi cakram untuk menentukan zona hambat, serta *broth microdilution* untuk menentukan nilai *Minimum Inhibitory Concentration* (MIC) dan *Minimum Bactericidal Concentration* (MBC). Karakteristik minyak esensial jahe merah yang dihasilkan yaitu kuning kecoklatan, berat jenis 0,883, indeks bias 1,480, putaran optik -8.45°, larut jernih (1:1) dalam alkohol 90%, bilangan asam 2,06, dan bilangan ester 42,45. Minyak esensial lengkuas merah memiliki karakteristik warna kuning terang, berat jenis 0,895, indeks bias 1,496, putaran optik -9.15, larut jernih (1:1) dalam alkohol 90%, bilangan asam 1,95 dan bilangan ester 140,15. Komponen mayor minyak esensial jahe merah terdiri dari *trimethyl-heptadien-ol*, *ar-curcumene*, *camphene*, *carbaldehyde*, *-sesquiphellandrene*, dan *nerol*; sedangkan komponen mayor minyak esensial lengkuas merah terdiri dari *1.8-cineole*, *chavicol*, *9-desoxo-9-xi-hydroxy-3,5,7,8,9,12-pentaacetat-ingol*, *-caryophyllenedan* *-selinene*. Minyak esensial jahe merah dan lengkuas merah memiliki aktivitas antibakteri yang bersifat moderat terhadap bakteri patogen dan perusak pangan, dengan kisaran zona hambat rata-rata 7,17-10,33 mm dan 7,25-11,17 mm. Minyak esensial jahe merah dapat menghambat pertumbuhan bakteri uji pada nilai MIC 2,65-3,97 mg/mL dan nilai MBC 3,10-5,29 mg/mL, sedangkan minyak esensial lengkuas merah dapat menghambat bakteri uji dengan nilai MIC 1,79-4,03 mg/mL dan nilai MBC 1,79-4,92 mg/mL. Berdasarkan nilai MIC dan MBC, sensitivitas bakteri uji terhadap minyak esensial jahe merah dan lengkuas merah menurun berturut-turut dari *B. cereus* > *E. coli* > *S. typhimurium* > *P. aeruginosa*. Sensitivitas bakteri Gram positif dan Gram negatif terhadap kedua minyak esensial ini menunjukkan potensi minyak esensial jahe merah dan lengkuas merah untuk digunakan sebagai pengawet alami di industri pangan.

Kata kunci: Antimikroba, jahe merah, lengkuas merah, minyak esensial

ABSTRACT

The aims of this study was to determine the characteristics, composition and antimicrobial activity of essential oils of local Indonesian red ginger and red galangal against four pathogenic and food spoilage bacteria, which were *B.cereus* ATCC 10876, *E. coli* ATCC 25922, *S. typhimurium* ATCC 14028, and *P. aeruginosa* ATCC 27853. Analysis of physico-chemical characteristics was carried out in accordance with ISO 7355:1985. The chemical composition was analyzed using a GC-MS. The antimicrobial activity was determined by disc diffusion method and broth microdilution method was

used for determine MIC and MBC values. Red ginger essential oil characteristic was brownish yellow, specific gravity 0.883, refractive index 1.480, optical rotation -8.45° , clear soluble (1:1) in 90 % alcohol, 2.06 acid number and 42.45 ester number. Redgalangal essential oil had a characteristic bright yellow color, specific gravity 0.895, refractive index 1.496, optical rotation -9.15° , clear soluble (1:1) in 90 % alcohol, 1.95 acid number and 140.15 ester number. The major component of red ginger essential oils were *trimethyl-heptadien-ol*, *ar-curcumene*, *camphene*, *carbaldehyde*, β -*sesquiphellandrene*, and *nerol*; while the major component of red galangal essential oil were *1.8-cineole*, *chavicol*, *9-desoxo-9-xi-hydroxy-3-pentaacetate-3,5,7,8,9,12-Ingol*, β -*caryophyllene* and α -*selinene*. The essential oil of red ginger and red galangal had moderate antibacterial activity against pathogenic and food spoilage bacteria with the average inhibition zone 7.17-10.33 and 7.25-11.17 mm. Red ginger essential oils could inhibit the growth of tested bacteria with MIC values of 2.65-3.97 mg/mL and MBC value of 3.10-5.29 mg/mL, while the red galangal essential oil could inhibit the growth of tested bacteria with MIC values of 1.79-4.03 mg/mL and MBC values of 1.79-4.92 mg/mL. Based on the MIC and MBC values, all tested bacteria sensitivity to essential oils of red ginger and galangal red decline in a row *B.cereus* > *E. coli* > *S. typhimurium* > *P. aeruginosa*. Sensitivity of Gram positive and Gram negative bacteria to both essential oils demonstrate the potential of the oils to be used as a natural preservative in the food industry.

Keywords: Antimicrobial, essential oil, red ginger, red galangal

PENDAHULUAN

Penggunaan bahan kimia berbahaya untuk pengawetan pangan hingga kini masih banyak terjadi Indonesia. Menurut laporan tahunan Badan POM RI tahun 2011, sebanyak 14,15% pangan yang beredar di masyarakat tidak memenuhi persyaratan keamanan dan mutu karena diantaranya mengandung formalin dan boraks; pengawet sintetik yang penggunaannya melebihi batas yang diizinkan; dan cemaran mikroba melebihi batas. Dengan meningkatnya kesadaran masyarakat akan pentingnya keamanan pangan dan kesehatan menyebabkan mulai dihindarinya penggunaan pengawet sintetik dan beralih ke pengawet alami. Kondisi ini memberikan peluang penggunaan bahan antimikroba alami sebagai pengawet pangan, salah satunya dalam bentuk minyak esensial (minyak atsiri) dari rempah-rempah.

Minyak esensial merupakan minyak volatil hasil metabolisme sekunder tumbuhan yang diperoleh dari bagian tumbuhan seperti bunga, daun, biji, kulit kayu, buah-buahan dan akar atau rimpang. Minyak esensial diketahui mengandung campuran berbagai senyawa yaitu terpen, alkohol, aseton, fenol, asam, aldehyd dan ester, yang umumnya digunakan sebagai pemberi *esens* (aroma) pada pangan, kosmetika, atau sebagai komponen fungsional pada produk farmasi (Tajkarimi dkk., 2010). Berbagai hasil penelitian dan review telah melaporkan aktivitas antimikroba minyak esensial rempah-rempah seperti *oregano*, *thyme*, *sage*, *rosemary*, *marjoram*, cengkeh, kayu manis, bawang putih, jahe, kunyit, lengkuas, jinten hitam, pala, sirih, kecombrang dan rempah lainnya (Burt 2004; Gutierrez dkk., 2008; Rahayu dkk., 2008; Lv dkk., 2011). Berbagai jenis minyak esensial dari rempah-rempah tersebut dilaporkan berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan pengawet pangan karena memiliki aktivitas antimikroba dengan spektrum luas, diantaranya terhadap bakteri patogen dan perusak pangan (Ousallah dkk., 2006;

de Souza dkk., 2006; Guttierrez dkk., 2008). Minyak esensial juga dilaporkan memiliki aktivitas anti-kapang (Lv dkk., 2011), dan anti-kamir (Tserennadmid dkk., 2011). Minyak esensial aman digunakan pada pangan karena berstatus GRAS (*Generally Recognized as Safe*) (Tajkarimi dkk., 2010).

Jahe dan lengkuas merupakan jenis rempah-rempah dari keluarga *Zingiberaceae* yang hidup secara indigenus di daratan Asia Tenggara yang beriklim tropis. Rimpang jahe dan lengkuas menghasilkan aroma yang cukup menyengat, sehingga banyak digunakan sebagai bahan pemberi aroma pada makanan, sebagai bumbu, diolah segar, maupun sebagai bahan herbal (jamu) dan obat-obatan. Berdasarkan data statistik, produksi jahe di Indonesia pada tahun 2012 mencapai 114.537,65 ton per tahun, sedangkan lengkuas 58.186,488 ton per tahun (BPS, 2012). Dengan ketersediannya yang tinggi di Indonesia, jahe dan lengkuas dapat menjadi sumber minyak esensial yang potensial sebagai bahan antimikroba untuk pengawetan pangan.

Beberapa peneliti terdahulu melaporkan minyak esensial jahe dan lengkuas lebih efektif menghambat mikroba dibandingkan oleoresinnya, dengan aktivitas antimikroba yang cukup tinggi/moderat (Natta dkk., 2008; Singh dkk., 2008; Prakatthagomol dkk., 2011). Komponen aktif pada minyak esensial jahe dan lengkuas umumnya didominasi senyawa-senyawa terpen (monoterpen, seskuiterpen), dan fenolik yang menghasilkan aroma yang khas (Singh dkk., 2008; Wanissorn dkk., 2009). Aktivitas antimikroba dari setiap jenis minyak esensial dipengaruhi oleh jenis dan jumlah komponen aktif yang dikandungnya, yang umumnya tergantung dari varietas atau kultivar, faktor iklim dan tanah tempat tumbuh/daerah asal, bentuk rimpang segar atau kering, serta metode ekstraksi dan jenis pelarut yang digunakan (Burt, 2004).

Tiga varietas jahe yang dikenal yaitu: (1) *Zingiber officinale* var *Roscoe* (jahe gajah/jahe badak/jahe putih besar), (2) *Zingiber officinale* var *Rubrum* (jahe merah/jahe sunti,

dan (3) *Zingiber officinale* var *Amarum* (jahe putih kecil/jahe emprit). Jahe merah mengandung minyak esensial yang lebih tinggi daripada jahe gajah dan jahe emprit. Selama ini jahe merah lebih dikenal khasiatnya sebagai bahan obat-obatan maupun jamu tradisional (Rahardjo, 2008).

Di Indonesia dikenal bermacam-macam lengkuas, yaitu lengkuas merah, lengkuas putih, dan lengkuas dengan warna antara merah dan putih. Lengkuas putih biasa digunakan untuk bumbu dalam masakan, sedangkan lengkuas merah dimanfaatkan sebagai obat. (Bermawie dkk., 2012). Secara farmakologis ekstrak lengkuas diketahui mempunyai aktivitas anti-kapang, anti-khamir, anti-kanker, anti-tumor, dan anti-oksidan (Khattak dkk., 2005). Aktivitas antimikroba lengkuas merah (*A. purpurata* K. Schum) dilaporkan lebih tinggi dari lengkuas putih (*A. galanga* L. Willd.), baik terhadap bakteri (*E. coli*, *S. typhimurium*, *V. choleare*, *P. aeruginosa*, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, dan *B. cereus*) maupun kapang (*A. flavus* dan *R. oligosporus*) (Rahayu dkk., 2008). Kegunaan minyak esensial lengkuas merah untuk pengawetan makanan belum banyak diinformasikan.

Mengingat besarnya potensi minyak esensial jahe merah dan lengkuas merah lokal Indonesia sebagai bahan antimikroba untuk dikembangkan sebagai pengawet pangan alami, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik, komposisi kimia dan aktivitas antimikroba minyak esensial jahe merah dan lengkuas merah lokal Indonesia terhadap bakteri patogen dan perusak pangan yang diwakili oleh bakteri Gram positif pembentuk spora (*Bacillus cereus* ATCC 10876), dan bakteri Gram negatif (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Salmonella typhimurium* ATCC 14028, dan *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853).

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan adalah rimpang jahe merah (*Zingiber officinale* var *Rubrum*) dan lengkuas merah (*Alpinia purpurata* K. Schum) umur 6-8 bulan yang diperoleh dari Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat (Balitro) Bogor. Media pertumbuhan mikroba menggunakan *Triptycase Soy Agar* (TSA-Oxoid), *Triptycase Soy Broth* (TSB-Difco), *Mueller Hinton Agar* (MHA-Oxoid), *Mueller Hinton Broth* (MHB-Oxoid). Bahan-bahan kimia dan lainnya terdiri dari pelarut DMSO (Merck), garam fisiologis (NaCl 0.85%), akuades, HCl 0.1%, etanol, BaCl₂·2H₂O, H₂SO₄, Tetracycline-HCl (Arya-Darya Laboratories), 2,3,5-tripheniltetrazolium chloride (TTC), dan *antimicrobial susceptibility test discs* (Oxoid). Kultur mikroba uji untuk bioassay yaitu *Bacillus cereus* ATCC 10876, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Salmonella typhimurium* ATCC 14028, dan *Pseudomonas*

aeruginosa ATCC 27853 diperoleh dari SEAFast Center IPB dan Fakultas Peternakan IPB. Peralatan yang digunakan terdiri dari: seperangkat alat distilasi uap, sentrifus (Hermle 2-383-k), mikropipet (Thermoscientific : 100-1000 µl; Eppendorf Research : 10-100 µl), *96-well microplates* (Costar 3596), alat pemanas (*hot plate*) dan pengaduk (*stirrer*) (Steroglass), jangka sorong, dan alat-alat gelas.

Ekstraksi Minyak Esensial Jahe Merah dan Lengkuas Merah

Rimpang jahe merah dan lengkuas merah segar dicuci bersih dan diiris tipis, lalu diekstrak secara terpisah melalui proses distilasi uap (suhu 100°C selama ± 6 jam). Distilat yang diperoleh dipisahkan dari fase air menggunakan Na₂SO₄ anhidrat, dan disimpan dalam botol gelap untuk kemudian disimpan pada suhu 4°C hingga saat akan digunakan.

Analisis Karakteristik Fisika-Kimia Minyak Esensial (ISO 7355:1985)

Minyak esensial jahe merah dan lengkuas merah dianalisis karakter fisika-kimianya meliputi warna, berat jenis, indeks bias, putaran optik, kelarutan dalam alkohol, bilangan asam, dan bilangan ester.

Analisis Komposisi Kimia Minyak Esensial Dengan Py-GC-MS (Valdes dkk., 2013)

Analisis komposisi kimia minyak esensial dilakukan menggunakan alat Shimadzu GC-MS model QP2010. Kondisi operasional alat yaitu: gas pembawa helium, detector FID dengan ukuran kolom kapiler tipe fase Rtx-5MS (60 m x 0,25 mmID). Suhu kolom 50°C, *inlet press* (kPa) 100, aliran kolom 0,85 ml/menit, *split ratio* 112,3, suhu SPL 280°C, MS interface 280°C, *ion source* 200°C dengan suhu pirolisis 400°C. Identifikasi senyawa penyusun dilakukan menggunakan *Library-Wiley 7.LIB*.

Persiapan Kultur Mikroba (Lv dkk., 2011)

Satu ose koloni bakteri dari agar miring TSA diinokulasikan pada media TSB lalu diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Kultur kerja disiapkan melalui penyegaran atau sub-kultur bakteri dari tabung pertama ke media TSB, kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama ±18 jam hingga tercapai fase logaritmik. Kultur bakteri selanjutnya disentrifus pada 3.500 rpm selama 20 menit, lalu suspensi diencerkan dengan larutan garam fisiologis dan turbiditas kultur diukur pada panjang gelombang 600 nm untuk memperoleh konsentrasi yang diinginkan menggunakan standar McFarland no. 0.5. Konsentrasi sel yang diperoleh setara dengan 1.5x10⁸CFU/mL. Pengaturan konsentrasi inokulum bakteri dilakukan dengan melakukan pengenceran dalam larutan NaCl 0.85 % atau MHB.

Penentuan Aktivitas Antimikroba Minyak Esensial (Natta dkk., 2008)

Pertama-tama disiapkan minyak esensial 1% v/v dalam pelarut DMSO. Pengujian dilakukan dengan cara menginokulasikan 0,1 mL suspensi mikroba uji yang mengandung kurang lebih 10^6 CFU/mL ke atas media MHA padat pada cawan petri melalui teknik usap/swab. Selanjutnya kertas cakram (diameter 6mm) diletakkan di atas MHA, lalu diinjeksi dengan minyak esensial masing-masing sebanyak 10 μ L. Cawan kemudian diinkubasikan pada suhu 37°C selama 24 jam. Pengamatan dilakukan terhadap zona hambat (mm) yang terbentuk di sekeliling cakram kertas, diukur menggunakan jangka sorong (dilaporkan termasuk diameter cakram kertas 6 mm). Sebagai kontrol negatif adalah kertas cakram yang dijenuhkan dengan DMSO, dan kontrol positif adalah kertas filter yang dijenuhkan dengan *tetracycline* 0,1%. Seluruh perlakuan diulang tiga kali dengan analisis duplo.

Penentuan Nilai MIC-MBC Minyak Esensial (Modifikasi Sivasoty dkk., 2011)

Modifikasi yang dilakukan pada metode Sivasoty dkk. (2011) adalah mengganti p-iodonitrotetrazolium violet (INT) dengan 2,3,5-triphenyltetrazolium chloride (TTC). Pertama-tama dibuat larutan stok minyak esensial dalam DMSO (rasio 1:1 v/v) hingga diperoleh larutan minyak esensial 50% v/v. Selanjutnya dilakukan serangkaian pengenceran dari masing-masing minyak esensial jahe dan lengkuas dalam MHB dari kisaran 2,0 hingga 0,1 % v/v. Selanjutnya dari masing-masing pengenceran dimasukkan ke dalam sumur *microplate 96-well* pada kolom pertama masing-masing sebanyak 100 μ L. Cara yang sama dilakukan terhadap kolom ke dua dan seterusnya sebanyak jumlah bakteri yang akan diuji. Ke dalam masing-masing sumur dimasukkan 50 μ L indikator 2,3,5-triphenyltetrazolium chloride, kemudian setiap sumur diinokulasi dengan 100 μ L bakteri yang mengandung sekitar 10^6 log CFU/mL (1 kolom untuk 1 bakteri). Sebagai kontrol positif adalah MHB yang diinokulasi bakteri tanpa ditambahkan minyak esensial, sedangkan kontrol negatif adalah MHB ditambah minyak esensial tanpa bakteri uji.

Kultur diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Konsentrasi penghambatan minimum (MIC) ditentukan berdasarkan konsentrasi terkecil dari setiap minyak esensial yang dapat menghambat pertumbuhan mikroba uji 90 % dari inokulum asal selama 24 jam. Penentuan penghambatan 90% dilakukan dengan mengamati perubahan warna indikator pada *microplate*. Konsentrasi terkecil yang menunjukkan tidak ada pertumbuhan bakteri (negatif) pada uji MIC selanjutnya digunakan untuk penentuan MBC. Ke dalam sumur *microplate* dimasukkan minyak esensial pada konsentrasi MIC ditambah indikator warna TTC dan diinokulasi bakteri, kemudian

diinkubasi pada suhu 37°C selama 5 hari. Nilai MBC ditentukan berdasarkan konsentrasi bakterisidal dimana tidak terdapat pertumbuhan bakteri uji setelah diinkubasi selama 5 hari. Semua perlakuan diulang 3 kali dengan analisis duplo.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar dan Karakteristik Minyak Esensial Jahe Merah dan Lengkuas Merah

Kadar minyak esensial jahe merah yang dihasilkan pada penelitian ini adalah 0,24 %. Minyak tersebut dihasilkan dari rimpang jahe merah segar pada umur panen sedang yaitu sekitar 6-8 bulan karena menurut Supriyanto dan Hartono (2012) kandungan minyak esensial jahe dari rimpang umur panen muda (3-4 bulan) dilaporkan lebih tinggi daripada umur panen tua (8-12 bulan), dan minyak esensial jahe yang dihasilkan dari rimpang segar menghasilkan kadar dan komponen aktif yang lebih tinggi daripada jahe yang sudah dikeringkan/simplisia. Kadar minyak esensial jahe merah pada penelitian ini lebih tinggi dari yang dilaporkan Sivasoty dkk. (2011), yaitu 0,02%. Peneliti lain melaporkan kadar minyak esensial pada jahe putih umur muda berkisar antara 2,12-3,02 % (Rahardjo, 2012). Kadar minyak esensial jahe putih dari Thailand yaitu 0,27% (Natta dkk., 2008), dan dari India bervariasi sekitar 1,0-3,0% (Singh dkk., 2008). Bervariasinya rendemen minyak esensial yang dihasilkan diduga disebabkan oleh genotip/varietas, umur panen, naungan, pemupukan, lingkungan tumbuh (Rahardjo, 2012), juga bentuk rimpang segar atau kering, serta metode ekstraksi dan jenis pelarut yang digunakan (Burt, 2004).

Kadar minyak esensial lengkuas merah yang diperoleh adalah 0,06 %. Rimpang lengkuas yang digunakan sebagai bahan baku adalah rimpang segar, umur panen sedang (6-8 bulan) karena komponen aktif pada umur rimpang muda dilaporkan memiliki aktivitas antimikroba yang lebih tinggi daripada rimpang umur tua (Rahayu dkk., 2008). Peneliti lain melaporkan kadar minyak lengkuas merah bervariasi antara 0,15-1,5 % (Jamal dkk., 1996), dan dari rimpang lengkuas putih umur 6-12 bulan asal Thailand diperoleh kadar minyak esensial 3 % (Prakatthagomol dkk., 2011). Seperti jahe, maka kadar minyak esensial dari lengkuas merah juga dipengaruhi umur panen bentuk rimpang segar atau kering, serta metode ekstraksi dan jenis pelarut yang digunakan (Burt, 2004).

Karakteristik minyak esensial jahe merah dan lengkuas merah pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1. Pada minyak atsiri jahe merah, dari semua parameter mutu yang ditentukan ternyata nilai indeks minyak belum sesuai standar, dan nilai bilangan ester di atas nilai standar SNI no.06-1312-1998 tentang minyak jahe.

Tabel 1. Karakteristik fisika-kimia minyak esensial jahe merah

No	Karakteristik	Jahe merah		Lengkuas merah
		Minyak esensial	SNI no.06-1312-1998	
1	Warna	Kuning kecoklatan	-	Kuning terang
2	Berat jenis (pada 25°C)	0,883	0,8720-0,8890	0,895
3	Indeks bias (pada 25°C)	1,480	1,4835-1,4920	1,496
4	Putaran optik (°)	-8,45°	-	-9,15
5	Kelarutan dalam alkohol 90% (v/v)	Larut jernih 1:1	-	Larut jernih 1:1
6	Bilangan asam	2,06	Maks. 2	1,95
7	Bilangan ester	42,45	Maks. 15	140,15

Menurut Ma'mun (2006), semakin kecil kandungan asam dalam suatu minyak maka semakin baik. Asam tidak dikehendaki dalam minyak esensial, karena asam sangat mudah berubah oleh reaksi oksidasi dari udara dan menyebabkan aroma minyak berubah. Sementara itu ester-ester merupakan salah satu komponen berharga dalam minyak esensial, karena senyawa ester memiliki aroma yang disukai. Ester selalu terdapat dalam hampir semua minyak esensial dalam konsentrasi yang berbeda.

Minyak esensial lengkuas merah mulai banyak digunakan dalam pengobatan, namun hingga saat ini belum ada standar mutu yang mengatur tentang spesifikasinya. Ma'mun (2006) menjelaskan, sifat-sifat fisika minyak esensial seperti berat jenis, indeks bias, putaran optik dan kelarutan sangat ditentukan oleh komposisi kimia dari minyak tersebut. Semakin besar berat molekul suatu senyawa maka akan menghasilkan berat jenis dan indeks bias yang lebih besar. Minyak jahe yang banyak diperdagangkan di pasar luar negeri berasal dari Cina dan India, dimana kedua negara tersebut memiliki kondisi lingkungan yang berbeda dengan Indonesia.

Komposisi Kimia Minyak Esensial Jahe Merah dan Lengkuas Merah

Komposisi kimia minyak esensial jahe merah disajikan pada Tabel 2. Hasil analisis GC-MS minyak esensial jahe merah menghasilkan 61 senyawa yang berhasil diidentifikasi, dengan komponen mayor yaitu: *trimethyl-heptadiene-ol* (7,34%), *ar-curcumene*(6,77%), *camphene* (6,18%), *carbaldehyde* (4,54%), β -*sesquiphellandrene* (3,80%), *nerol* (3,47%), dan β -*Bisabolene* (3.38%), serta komponen minor lainnya dengan konsentrasi masing-masing kurang dari 3%. Komponen minyak esensial jahe merah yang dihasilkan didominasi oleh kelompok monoterpen (hidrokarbon, teroksidasi), sesquiterpen (hidrokarbon, teroksidasi) alkohol, aldehida, asam dan lainnya. Komponen monoterpen dan sesquiterpen dilaporkan memiliki aktivitas antibakteri yang kuat (Sasidharan dan Menon, 2010; Sivasothy dkk., 2011).

Jenis komponen minyak esensial yang teridentifikasi pada penelitian ini lebih banyak dari minyak esensial jahe merah (*Z. officinale* var. *Rubrum* Theilade) asal Malaysia yang dilaporkan Sivasothy dkk. (2011), yang berhasil mengidentifikasi 54 senyawa terdiri dari 81.9% senyawa monoterpenoid dengan 6 komponen mayor yaitu: *camphene* (14,5%), *geranyl acetate* (13,7%), *geranial*(14,3%), *neral* (7,7%), *geraniol* (7,3%), dan *1.8-cineole* (5,0%). Peneliti terdahulu melaporkan minyak esensial jahe merah asal Malaysia mengandung 64,6% senyawa monoterpenoid dari 19 senyawa yang teridentifikasi, dengan komponen mayor *geranial* (28,4%), *neral* (14,2%), dan β -*sesquiphellandrene* (9,9%) (Malek dkk., 2005). Adanya perbedaan komponen antara ketiga jenis minyak esensial jahe merah dipengaruhi oleh varietas tanaman, tanah dan iklim pertumbuhan, cara budidaya serta umur rimpang (Sivasothy dkk., 2011). Komponen minyak esensial jahe merah dari penelitian ini berbeda dengan minyak esensial jahe pada umumnya yang didominasi oleh komponen sesquiterpen hidrokarbon yaitu: α -*zingiberene*, *ar-curcumene*, β -*bisabolene* and β -*sesquiphellandrene* (Singh dkk., 2008; Natta dkk., 2008).

Komposisi kimia minyak esensial lengkuas merah disajikan pada Tabel 3. Hasil analisis GC-MS minyak esensial lengkuas merah menghasilkan 54 komponen yang berhasil diidentifikasi, dengan lima komponen mayor yaitu *1.8-cineole* (20,79%), *chavicol* (14,51%), *9-desoxo-9-xi-hydroxy-3,5,7,8,9,12-pentaacetat-ingol* (4,25%), β -*caryophyllene*(3,33%), dan α -*selinene* (3,10%)serta komponen minor lainnya dengan konsentrasi masing-masing kurang dari 3%. Komponen utama yaitu *1.8-cineol* (20,79%), merupakan senyawa monoterpen teroksidasi dengan rumus molekul C₁₀H₁₈O, sedangkan *chavicol* (14,51%) termasuk kelompok *phenilpropane* dengan rumus molekul C₉H₁₀O. Chudiwal dkk. (2010) menjelaskan senyawa *1.8-cineole* dan isomernya selain merupakan komponen pemberi aroma dari rimpang lengkuas juga memiliki aktivitas antimikroba dengan spektrum luas, sedangkan senyawa *chavicol* dan isomernya diketahui memiliki berbagai aktivitas biologis seperti anti-kapang, anti-tumor, anti-inflamasi, anti-oksidan, dan inhibitor xanthinoksidase.

Tabel 2. Komposisi kimia minyak esensial jahe merah

No	Nama	RT	Konsentrasi (%)
1	Methylhydrazine hydrochloride	3,192	2,05
2	Fluoropropane	3,423	2,26
3	Ethyl alcohol	3,700	2,19
4	α -pinene	13,225	0,93
5	Camphene	13,683	6,18
6	2- β -pinene	14,413	0,18
7	β -myrcene	14,619	1,51
8	Bornylene	15,654	1,27
9	1,8-cineole	15,751	2,76
10	L-linalool	17,117	0,57
11	1.5-Heptadiene	17,995	0,11
12	Borneol	18,695	1,05
13	Terpineol	18,822	0,30
14	β -citronellol	19,499	0,29
15	Nerol	19,568	3,47
16	Z-Citral	19,820	1,23
17	E-Citral	20,305	2,32
18	Acetic Acid	20,642	1,07
19	Safrole	20,778	0,08
20	Neric Acid	21,229	0,15
21	Citronellyl acetate	21,420	0,70
22	Neryl acetat	21,609	0,14
23	Geranic acid	21,745	0,97
24	Trimethyl-heptadiene-ol	21,993	7,34
25	Diephi- α -cedren	22,113	0,17
26	α -Copaene	22,171	0,29
27	β -Elemene	22,346	0,44
28	Isocarryophyllene	22,933	0,14
29	β -Farnesene	23,013	0,24
30	β -funebrene	23,174	0,46
31	Ar-Curcumene	23,596	6,77
32	α -Bergamotene	23,724	1,14
33	β -Bisabolene	23,928	3,38
34	α -Amorphene	24,096	0,65
35	β -Sesquiphellandrene	24,187	3,80
36	Nerolidol	24,570	0,29
37	Elemol	24,659	0,29
38	Dibromo-phenyl-menthane	24,936	0,23
39	Cuparene	25,102	1,01
40	Zingiberenol	25,392	1,47
41	Epi- γ -eudesmol	25,615	0,46
42	Epiglobulol	26,145	0,46
43	β -eudesmol	26,207	0,66
44	Carbaldehyde	26,498	4,54
45	Curzerene	26,755	0,40
46	Trans-farnesal	26,894	0,30
47	Longipinan	27,097	0,75
48	Epiglobulol	27,230	0,75
49	Cedrenoxid	27,347	0,75
50	Carryophyllene oxide	27,464	0,92
51	β -Ionol	27,596	0,34
52	Acetic acid	27,866	1,60
53	E-myrtanol	27,963	0,08
54	Amorphane-B	28,045	0,09
55	Undecadien-2-ol	28,570	1,19
56	Napthalenone	28,829	0,99
57	Palmitic acid	29,037	0,82
58	Uvidin A	29,225	0,70
59	Trans-Farnesol	31,503	0,15
60	Geranyl Linalool isomer	37,006	2,62
61	β -Ionol	37,214	0,18

RT : Retention time

Total komponen 76, teridentifikasi 61, tidak teridentifikasi 20 %

Komponen minyak esensial lengkuas merah pada penelitian ini secara umum didominasi oleh kelompok senyawa monoterpene (teroksidasi, hidrokarbon, alkohol), asam, dan seskuiterpene hidrokarbon. Komponen monoterpen dan seskuiterpen dari ekstrak dan minyak esensial lengkuas memiliki aktivitas antibakteri yang kuat (Mayachiew dan Devahastin, 2008; Chudiwal dkk., 2010).

Tabel 3. Komposisi kimia minyak esensial lengkuas merah

No	Nama	RT	Konsentrasi (%)
1	Ethyl alcohol	3,196	1,83
2	Acetic acid	3,401	2,79
3	Methylhydrazine hydrochlorida	3,723	0,89
4	α -pinene	13,218	1,36
5	β -phellandrene	14,280	0,42
6	β -pinene	14,416	2,06
7	β -myrcene	14,609	0,99
8	α -terpinene	15,334	0,16
9	Limonene	15,628	0,59
10	1,8-cineole	15,775	20,79
11	γ -terpinene	16,314	1,21
12	α -terpinolene	16,956	0,27
13	Linalool	17,122	0,12
14	Borneol	18,697	0,12
15	Terpineol	18,831	0,91
16	Z-Citral	19,822	0,26
17	Trans-geraniol	19,984	0,60
18	Chavicol	20,280	14,51
19	Acetic Acid	20,646	0,44
20	Trans-carvil acetate	21,338	0,12
21	Eugenol	21,864	0,60
22	dimethyl-octadienyl	21,940	2,41
23	α -cubebene	22,187	0,16
24	β -Elemene	22,259	0,20
25	β -Farnesene	22,379	2,36
26	Chavicyl acetate	22,832	0,22
27	β -caryophyllene	22,964	3,33
28	9-desoxo-9-xi-hydroxy-3,5,7,8,9,12-pentaacetat-ingol	23,060	4,25
29	Valencene	23,458	0,74
30	Ar-Curcumene	23,589	1,80
31	Farnesene	23,764	1,47
32	α -selinene	23,942	3,10
33	β -Sesquiphellandrene	24,193	2,88
34	α -bisabolene	24,279	0,92
35	d-Nerolidol	24,350	0,50
36	Elemol	24,566	0,26
37	Epiglobulol	25,109	0,19
38	Caryophyllene oxide	25,337	0,62
39	Globulol	25,396	0,27
40	β -Tumerone	25,983	1,22
41	α -Cadinol	26,162	1,41
42	junipercamphor	26,271	1,05
43	α -Bisabolol	26,350	1,04
44	α -Ylangene	26,569	1,35
45	(Z,Z)-farnesal	26,899	0,40
46	γ -Elemene	27,087	0,20
47	α -Sinensial	27,348	0,48
48	Farnesyl acetate	27,882	1,92
49	α -sinensial	28,081	0,33
50	Palmitic acid	29,204	0,36
51	Ethyl palmitat	29,427	0,55
52	Ethyl oleate	31,393	0,45
53	Retinal	31,736	0,21
54	Benzopyran	49,431	0,48

RT : Retention

Total komponen 75, teridentifikasi 54, tidak teridentifikasi 28 %.

Komponen mayor minyak esensial lengkuas merah pada penelitian ini hampir sama dengan komponen minyak esensial lengkuas putih asal Thailand yang dilaporkan Natta dkk. (2008) yaitu *methyl-chavicol* (37,9%), *1.8-cineole* (33,6%), *α-farnesene* (5,9%), *camphor* (4,5%), dan *β-farnesene* (4,2%). Sedangkan Prakatthagomol dkk. (2011) melaporkan terdapat 27 komponen dari minyak esensial lengkuas asal Malaysia, dengan komponen utama terdiri dari dua terpen siklik, yaitu *piperitenone* (33,3%) dan *limonene* (29,6%).

Aktivitas Antimikroba Minyak Esensial Jahe Merah dan Lengkuas Merah

Hasil pengamatan zona hambat mikroba (Tabel 4) menunjukkan kedua jenis minyak esensial memiliki aktivitas antibakteri terhadap semua bakteri uji. Minyak esensial jahe merah dapat menghambat pertumbuhan semua bakteri uji dengan zona hambat rata-rata 7,17-10,33 mm, sedangkan minyak esensial lengkuas merah menghambat bakteri uji dengan zona hambat rata-rata 7,25-11,17 mm. Tetrasiklin 0,1 % v/v sebagai kontrol positif menunjukkan aktivitas antibakteri yang tinggi dengan rata-rata zona hambat 19,67-24,33 mm, sedangkan DMSO 100% v/v sebagai pelarut minyak esensial (kontrol negatif) tidak menunjukkan aktivitas antibakteri.

Minyak esensial jahe merah dan lengkuas merah pada penelitian ini memiliki aktivitas antimikroba yang bersifat sedang/moderat dengan kisaran nilai 7,17-11,17 mm. Seperti dijelaskan Elgayyar dkk.(2001), aktivitas antimikroba ekstrak tumbuh-tumbuhan dapat dikelompokkan berdasarkan diameter penghambatan pada media agar menjadi tiga kategori, yaitu : tinggi (> 11mm), sedang (> 6mm - < 11 mm) dan rendah (< 6 mm).

Bakteri *B. cereus* lebih sensitif terhadap minyak esensial jahe merah maupun lengkuas merah dibandingkan bakteri uji lainnya. Aktivitas antibakteri kedua minyak esensial dapat menghambat bakteri Gram negatif *E. coli* dan *S. typhimurium*, hal ini sejalan dengan hasil penelitian Sivasothy dkk. (2011) dan Prakatthagomol dkk. (2011), tapi berlainan dengan Natta dkk. (2008) yang melaporkan minyak esensial jahe (*Z. officinale*) dan lengkuas (*A. galanga*) sama sekali tidak dapat

menghambat *E.coli*. Singh dkk. (2008) melaporkan pada pengujian menggunakan metode sumur difusi maka bakteri *E.coli* bersifat resisten terhadap minyak esensial, ekstrak oleoresin (metOH, etOH, CCl₄) maupun antibiotik sintetik (streptomycin dan chloramphenicol), namun pada pengujian menggunakan metode difusi agar maka hanya minyak esensial jahe yang menunjukkan aktivitas antimikroba terhadap *E. coli* (10,4 ± 1,8 mm). Minyak esensial jahe merah dan lengkuas merah pada penelitian ini dapat menghambat *P. aeruginosa* walaupun aktivitasnya bersifat lemah. Aktivitas antimikroba minyak esensial dari jahe dapat menghambat *P. aeruginosa* dengan zona hambat 7,25 ± 0,43 mm, hasil yang hampir sama dilaporkan Sasidharan dan Menon (2010) dimana minyak esensial jahe putih menghambat *P.aeruginosa* dengan zona hambat 7,11 ± 0,06 mm.

Komponen utama dari minyak esensial jahe merah adalah *trimetyl-heptadien-ol*, sedangkan dari lengkuas merah yaitu *1.8-cineole*, keduanya merupakan senyawa monoterpen teroksidasi yang diduga bersifat antibakteri yang kuat. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Sasidharan dan Menon (2010) yang melaporkan komponen monoterpen lebih aktif menghambat bakteri *B. subtilis* dan *P. aeruginosa* dibandingkan dengan hidrokarbon sesquiterpene. Aktivitas antimikroba komponen-komponen hidrokarbon lebih rendah dibandingkan komponen-komponen teroksigenasi. Walaupun demikian, menurut Mayachiew dan Devahastin (2008) komponen-komponen minor dapat berperan sebagai faktor kritis atau penentu terhadap daya aktivitas antimikroba, karena dimungkinkan adanya efek sinergis diantara berbagai komponen pembentuk minyak esensial.

Burt (2004) menjelaskan bahwa turunan senyawa terpenoid seperti *geranial*, *neral*, *geraniol*, *1,8-cineole*, *-caryophyllene*, *-pinene*, dan *camphor* di duga terlibat pada berbagai mekanisme kerusakan membran sitoplasma bakteri, mengkoagulasi komponen sel dan mengganggu *Proton Motive Force* (PMF). Senyawa antibakteri minyak esensial seperti *thymol*, *eugenol* dan *carvacrol* dapat menyebabkan kerusakan membran seluler, melepaskan ATP intraseluler dan komponen lain dari mikroba.

Tabel 4. Daya hambat minyak esensial jahe merah dan lengkuas merah

Bahan yang diuji	Zona hambat (mm) ^{a,b}			
	<i>B. cereus</i>	<i>E.coli</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>S. typhimurium</i>
ME Jahe merah 1% v/v	10,33 ± 0,76	8,67 ± 0,76	7,17 ± 0,29	9,25 ± 0,43
ME Lengkuas merah 1% v/v	11,17 ± 0,76	9,50 ± 0,50	7,25 ± 0,43	10,08 ± 0,38
Tetracycline 0,1% v/v	24,33 ± 0,58	21,53 ± 1,53	19,67 ± 3,51	21,17 ± 1,04
DMSO 100% v/v	6,0 ± 0,0	6,0 ± 0,0	6,0 ± 0,0	6,0 ± 0,0

^a zona hambat termasuk diameter cakram kertas (6 mm)

^b data adalah rata-rata dari tiga kali ulangan ± standar deviasi

Akumulasi terpen pada membran juga menyebabkan hilangnya integritas membran dan PMF. Rusaknya PMF dan berkurangnya ATP akhirnya akan memicu kematian sel. Seperti pada kerja bahan pengawet umumnya, minyak esensial akan menyebabkan kebocoran ion, ATP, asam nukleat dan asam amino dari mikroba target. Minyak esensial dapat mencapai periplasma bakteri Gram-negatif melalui protein porin dari membran luar. Permeabilitas membran sel tergantung pada komposisinya dan hidrofobitas komponen yang melewatinya (Ousallah dkk., 2006).

Nilai MIC dan MBC Minyak Esensial Jahe Merah dan Lengkuas Merah

Hasil pengamatan pada Tabel 5 menunjukkan minyak esensial jahe merah dapat menghambat pertumbuhan seluruh bakteri uji pada nilai MIC 2,65-3,97 mg/mL dan nilai MBC 3,10-5,29 mg/mL, sedangkan minyak esensial lengkuas merah dapat menghambat seluruh bakteri uji dengan nilai MIC 1,79-4,03 mg/mL dan nilai MBC 1,79-4,92 mg/mL. Minyak esensial jahe merah dan lengkuas merah pada penelitian ini memiliki aktivitas antimikroba yang bersifat sedang/moderat dengan kisaran nilai MIC 1,79-4,03 mg/mL, sebagai akibat adanya komponen-komponen aktif yang bersifat antibakteri. Meskipun kandungan masing-masing komponen tersebut rendah, namun karena jenisnya banyak sehingga dimungkinkan terjadi interaksi antar komponen yang bersifat sinergis terhadap aktivitas antibakteri yang dihasilkan.

Secara umum minyak esensial jahe merah dan lengkuas merah menunjukkan aktivitas antibakteri lebih kuat terhadap bakteri Gram positif (*B. cereus*) dibandingkan terhadap bakteri Gram negatif (*E. coli*, *S. typhimurium*, *P. aeruginosa*). Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa bakteri Gram negatif lebih resisten terhadap minyak esensial dibandingkan bakteri Gram positif (Gutierrez dkk., 2008; Sivasothy dkk., 2011; Prakatthogomol dkk., 2008). Sensitivitas bakteri uji terhadap minyak esensial jahe merah dan lengkuas merah pada penelitian ini menurun berturut-turut dari *B. cereus* > *E. coli* > *S. typhimurium* > *P. aeruginosa*.

Minyak esensial umumnya lebih efektif terhadap bakteri Gram positif dibandingkan dengan bakteri Gram negatif. Membran luar bakteri Gram negatif berperan sebagai *barrier* masuknya senyawa-senyawa yang tidak dibutuhkan sel, diantaranya bakteriosin, enzim dan senyawa yang bersifat hidrofobik (Davidson dkk., 2005). Untuk mencapai sasaran, senyawa antimikroba dapat menembus Lipopolisakarida (LPS) dari dinding sel tersebut. Molekul-molekul yang bersifat hidrofilik lebih mudah melewati LPS dibandingkan dengan yang bersifat hidrofobik. Bakteri Gram positif tidak mempunyai LPS, sehingga fungsi penghalangnya tidak ada dan molekul senyawa antimikroba yang bersifat hidrofilik dan hidrofobik (seperti minyak esensial) dapat berdifusi ke dalam sel (Ousallah dkk., 2006).

Nilai MIC minyak esensial jahe merah terhadap seluruh bakteri uji pada penelitian ini berkisar antara 2,65-3,97 mg/ml, lebih rendah dibandingkan minyak esensial jahe putih yang dilaporkan Natta dkk. (2008), yaitu terhadap bakteri *B. cereus* (nilai MIC 6,25mg/mL). Demikian pula nilai MIC minyak lengkuas merah pada penelitian ini yang berkisar 1,79-4,92 mg/ml relatif lebih rendah daripada yang dilaporkan Prakatthogomol dkk. (2011), yaitu terhadap bakteri *E. coli* ATCC 25922 (nilai MIC 4 mg/mL), namun lebih tinggi terhadap bakteri *S. typhimurium* DMST 5784 (nilai MIC 2 mg/mL). Ini berarti aktivitas antibakteri dari minyak esensial jahe merah dan lengkuas merah terhadap bakteri patogen dan perusak pangan relatif lebih kuat dari yang dilaporkan peneliti terdahulu. Dengan aktivitas antimikroba yang bersifat moderat maka kedua jenis minyak esensial ini dapat dikembangkan menjadi pengawet pangan alami, baik secara tunggal maupun kombinasi karena dimungkinkan terjadi efek sinergis di antara komponen aktif yang dikandungnya.

KESIMPULAN

Karakteristik minyak esensial jahe merah dan lengkuas merah yang dihasilkan mengandung kadar ester yang relatif tinggi. Komponen mayor minyak esensial jahe merah terdiri dari *trimethyl-heptadien-ol*, *ar-curcumene*,

Tabel 5. Nilai MIC dan MBC minyak esensial jahe merah dan lengkuas merah

Bakteri	Jahe merah		Lengkuas merah		Tetracycline MIC (mg/mL)
	MIC (mg/mL)	MBC (mg/mL)	MIC (mg/mL)	MBC (mg/mL)	
<i>B. cereus</i> ATCC 10876	2,65	3,10	1,79	1,79	< 0,01
<i>E. coli</i> ATCC 25922	2,65	3,53	1,79	2,23	< 0,01
<i>S. typhimurium</i> ATCC 14028	3,10	3,53	2,69	3,58	< 0,01
<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853	3,97	5,29	4,03	4,92	< 0,01

*nilai rata-rata dari 3 kali ulangan

camphene, carbaldehyde, β-sesquiphellandrene, dan *nerol*; sedangkan komponen mayor minyak esensial lengkuas merah terdiri dari *1.8-cineole, chavicol, 9-desoxo-9-xi-hydroxy-3,5,7,8,9,12-pentaacetat-ingol, β-caryophyllene* dan *α-selinene*. Minyak esensial jahe merah dan lengkuas merah memiliki aktivitas antibakteri yang bersifat moderat terhadap bakteri patogen dan perusak pangan. Berdasarkan nilai MIC-MBC sensitivitas bakteri uji terhadap minyak esensial jahe merah dan lengkuas merah menurun berturut-turut dari *B. cereus* > *E. coli* > *S. typhimurium* > *P. aeruginosa*. Sensitivitas bakteri Gram positif dan Gram negatif terhadap kedua minyak esensial ini menunjukkan potensi minyak esensial jahe merah dan lengkuas merah untuk digunakan sebagai pengawet alami di industri pangan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan banyak terima kasih penulis sampaikan kepada UNPAD atas bantuan dana penelitian melalui program skim Hibah Kompetitif UNPAD tahun 2013.

DAFTAR PUSTAKA

- Bermawie, N., Purwiyanti, S., Melati dan Meilawati, N.L.W. (2012). Karakter morfologi, hasil dan mutu enam genotip lengkuas pada tiga agroekologi. *Bulletin Balitro* **23**:125-135.
- Badan Pengawasan Obat dan Makanan Republik Indonesia (2011). Laporan tahunan BPOM 2011. http://www.pom.go.id/ppid/rar/LAPTAH_2011.pdf. [10 Desember 2012].
- Badan Pusat Statistik (2012). Produksi tanaman obat-obatan Indonesia. <http://www.bps.go.id>. [3 Desember 2013].
- Bellik, Y. (2014). Total antioxidant activity and antimicrobial potency of the essential oil and oleoresin of *Zingiber officinale* Roscoe. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease* **4**: 40-44.
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods. Review. *International Journal of Food Microbiology* **94**: 223-253.
- Chudiwal, A., Jain, D.P. dan Somani, R.S. (2010). *Alpinia galanga* Willd - An overview on phyto-pharmacological properties. *Indian Journal of Natural Product and Resources* **1**: 143-149.
- Davidson, P.M., Sofos, J.N. dan Brannen, A.L. (2005). *Antimicrobial in Food*. 3rd edition. Taylor and Francis Group. Boca Raton, London, New York, Singapore.
- De Souza, E.L., Stamford, M.T.L. dan Lima, E.O. (2006). Sensitivity of spoiling and pathogen food related bacteria to *Origanum vulgare* L. (Lamiaceae) essential oil. *Brazilian Journal of Microbiology* **37**: 527-532.
- Elgayyar, M., Draughon, F.A., Golden, D.A. dan Mount, J.R. (2001). Antimicrobial Activity of Essential Oils from Plants against Selected Pathogenic and Saprophytic Microorganisms. *Journal of Food Protection* **7**: 1019-1024.
- Gutierrez, J., Ryan, C.B. dan Bourke, P. (2008). The antimicrobial efficacy of plant essential oil combination and interactions with food ingredients. *International Journal of Food Microbiology* **124**: 91-97.
- Jamal, Y., Trimuningsih dan Evita, P.N. (1996). Identifikasi minyak atsiri dan uji kuantitatif dari lengkuas merah (*Alpinia galanga*). *Prosiding Simposium Nasional I Tumbuhan Obat dan Aromatik*. Jakarta. 77-82.
- Khattak, S., Rehman, S., Shah, U.H., Ahmad, W.W. dan Ahmad, M. (2005). Biological effects of indigenous medicinal plants *Curcuma longa* and *Alpinia galanga*. *Fitoterapia* **76**: 254-257.
- Lv, F., Liang, H., Yuan, Q. dan Li, C. (2011). In vitro antimicrobial effect and mechanism of action of selected plant essential oil combination against four food-related microorganisms. *Food Research International* **44**: 3057-3064.
- Ma'mun (2006). Karakteristik beberapa minyak atsiri family Zingiberaceae dalam perdagangan. *Buletin Balitro* **17**:91-98.
- Mayachiew, P. dan Devahastin, S. (2008). Antimicrobial and antioxidant activities of Indian gooseberry and galangal extract. *LWT-Food Science and Technology* **41**: 1153-1159.
- Natta, L., Orapin, K., Krittika. N. dan Pantip, B. (2008). Essential oil from five Zingiberaceae for anti food-borne bacteria. *International Food Research Journal* **15**: 337-346.
- Oussalah, M., Cailletm, S., Saucier, L. dan Lacroix, M. (2006). Antimicrobial effects of selected plant essential oils on the growth of a *Pseudomonas putida* strain isolated from meat. *Meat Science* **73**: 236-244.
- Prakathagomol, W., Klayraung, S. dan Okonogi, S. (2011). Bactericidal action of *Alpinia galanga* essential oil on food-borne Bacteria. *Drug Discoveries and Therapeutics* **5**: 84-89.

- Rahardjo, M. (2012). Pengaruh pupuk K terhadap pertumbuhan, hasil dan mutu rimpang jahe muda (*Zingiber officinale* Rocs.). *Jurnal Littri* **18**: 10-16.
- Rahayu, W.P., Mawaddah, R., Nurjanah, S., Panggabean, R.I. dan Nikastri, E. (2008). Kajian hasil riset potensi antimikroba alami dan aplikasinya dalam produk pangan nabati. *Dalam: Proceeding Seminar PATPI 2008*. 406-414.
- Sasidharan, I. dan Menon, A.N. (2010). Comparative chemical composition and antimicrobial activity fresh and dry ginger oils (*Zingiber officinale* Roscoe). *International Journal Current Pharmacy Research* **2**: 40-43.
- Singh, G., Kapoor, I.P.S., Singh, P., de Heluani, C.D. dan de Lampasona, M.P. (2008). Chemistry, antioxidant and antimicrobial investigations on essential oil and oleoresins of *Zingiber officinale*. *Food Chemical Toxicology* **46**: 3295-3302.
- Sivasothy, Y., Chong, W.K., Hamid, A. Eldeen, I.M., Sulaiman, S.F. dan Awang, K. (2011). Essential oils of *Zingiber officinale* var. *rubrum* theilade and their antibacterial activities. *Food Chemistry* **124**: 514-517.
- Supriyanto dan Cahyono, B. (2012). Perbandingan kandungan minyak atsiri antara jahe segar dan jahe kering. *Chemical Progress* **2**: 81-85.
- Tajkarimi, M.M., Ibrahim, S.A. dan Cliver, D.O. (2010). Review: antimicrobial herb and spice compounds in food. *Food Contaminant* **21**: 1199-1218.
- Tserennadmid, R., Tako, M., Galgoczy, L., Papp, T., Pesti, M., Vagvolgyi, C., Almassy, K. dan Krisch, J. (2011). Anti yeast activities of some essential oils in growth medium, fruit juices and milk. *International Journal of Food Microbiology* **144**: 480-486.
- Wannissorn, B., Maneesin, P., Tubtimtes, S. dan Wangchanachai, G. (2009). Antimicrobial activity of essential oils extracted from Thai herbs and spices. *Asian Journal of Food and Agro-Industry* **2**: 677-689.
- Valdes, F., Catala, L., Hernandez, M.R., Garcia-Quesada, J.C. dan Marcilla, A. (2013). Thermogravimetry and Py-GC/MS techniques as fast qualitative methods for comparing the biochemical composition of *Nannochloropsis oculata* samples obtained under different culture condition. *Bioresource Technology* **131**: 86-93.