

BAB 4

Minyak Atsiri Sebagai Bahan Antimikroba dalam Pengawetan Pangan

Retno Yunilawati^{1*}, Dwinna Rahmi¹, Windri Handayani², dan Cuk Imawan³

¹Balai Besar Kimia dan Kemasan, Kementerian Perindustrian

²Departemen Biologi, FMIPA Universitas Indonesia

³Departemen Fisika, FMIPA Universitas Indonesia

*email: retnoyunilawati@gmail.com

Abstrak

Bioaktivitas sebagai antimikroba berhubungan erat dengan senyawa kimia dari minyak atsiri, seperti jenis senyawa fenol, aldehida, keton, alkohol, ester, dan hidrokarbon terpena. Kemampuan minyak atsiri sebagai antimikroba dapat dimanfaatkan dalam pengawetan pangan, baik secara langsung dengan menambahkan minyak atsiri langsung pada bahan pangan maupun secara tidak langsung melalui kemasan aktif antimikroba. Kemasan antimikroba dapat berinteraksi dengan makanan atau lingkungan dalam kemasan untuk membunuh atau untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Namun tidak semua jenis minyak atsiri dapat diaplikasikan dalam kemasan antimikroba mengingat aromanya yang unik dapat bermigrasi pada bahan pangan yang dikemas sehingga merusak organoleptik. Minyak atsiri dengan bau yang dapat diterima berpotensi sebagai kemasan misalnya minyak atsiri dari rempah-rempah. Pengaplikasian ini memerlukan matriks berupa polimer, baik dari alam maupun sintetis. Kemasan antimikroba dengan bahan aktif minyak atsiri dapat dijumpai dalam bentuk *sachet*, label, *pad*, ataupun lembaran film. Kemasan antimikroba ini banyak diaplikasikan untuk daging, udang; produk dairy, roti, buah-buahan dan sayur-sayuran.

Kata kunci: fenol; terpena; matriks; kemasan antimikroba

<https://doi.org/10.15294/.v0i0.24>

4.1. Pendahuluan

Minyak atsiri merupakan campuran kompleks aromatik yang bersifat volatil. Minyak atsiri telah banyak dimanfaatkan sebagai wewangian, perisa pada industri makanan dan minuman, pengobatan, serta kosmetika. Selain itu minyak atsiri juga memiliki bioaktivitas sebagai bahan antimikroba. Bahan antimikroba dalam pengawetan pangan sangat diperlukan untuk meningkatkan kualitas produk pangan terutama bila dilakukan pengangkutan/transpor. Secara umum pengawet pangan dilakukan secara mekanik seperti pengeringan, pendinginan, pembekuan, penggunaan suhu tinggi atau dengan penambahan bahan kimia seperti natrium benzoat, kalium sulfit, dan nitrit. Namun bila cara dan penambahan bahan tersebut tidak dilakukan secara benar akan berdampak pada kualitas pangan itu sendiri. Dengan meningkatnya kesadaran masyarakat akan kesehatan maka cenderung penggunaan bahan alam sebagai pengawet pangan menjadi potensial untuk dikembangkan.

Minyak atsiri dengan kandungan komponen kimia yang kompleks serta gugus fungsi yang spesifik diketahui mempunyai aktivitas antimikroba yang baik. Dalam penerapannya sebagai pengawet pangan, komponen kimia dan mekanisme kerja antimikroba minyak atsiri merupakan faktor yang perlu diperhatikan.

Penggunaan antimikroba minyak atsiri yang berfungsi sebagai kemasan aktif sangat potensial untuk dikembangkan. Secara umum kemasan aktif bekerja sebagai penyerap oksigen dan kelembaban dan kemasan antimikroba. Semua fungsi ini bertujuan sama yaitu mengurangi pertumbuhan mikroba, jamur, bakteri sehingga umur simpan pangan lebih lama. Tulisan ini mengupas tentang komponen kimia minyak atsiri yang mempunyai aktivitas serta potensi penerapannya sebagai kemasan aktif antimikroba pada pangan.

4.2. Minyak Atsiri sebagai Antimikroba

Minyak atsiri yang mempunyai kemampuan sebagai antimikroba diperlukan informasi mengenai komponen dan senyawa kimia yang berperan aktif.

4.2.1. Komponen Kimia Minyak Atsiri

Minyak atsiri diperoleh dari bahan tanaman, termasuk bunga, akar, kulit kayu, daun, biji, kulit, buah-buahan, kayu, dan seluruh tanaman

(Moghaddam and Mehdizadeh, 2017). Tumbuhan mampu mensintesis dua jenis minyak: minyak tetap dan minyak atsiri. Minyak tetap terdiri dari ester gliserol dan asam lemak (trigliserida atau triasilgliserol), sedangkan minyak atsiri adalah campuran kompleks yang mudah menguap dan senyawa organik semivolatil yang berasal dari sumber tanaman tunggal yang menentukan aroma tanaman tertentu dan *flavor* dan *fragrance* dari tanaman. Minyak atsiri terdapat pada hampir semua bagian tanaman, umumnya terdapat pada bagian daun, bunga dan batang (chamomile, peppermint, lavender), buah-buahan (adas manis), kulit (kayu manis), biji (pala), rimpang (jahe) dan akar (temulawak) (Naeem *et al.*, 2018).

Secara fisik, minyak atsiri berbentuk cairan, namun ada beberapa yang berbentuk resin atau semi padat. Sebagian minyak atsiri tidak berwarna, atau berwarna kuning pucat, dan ada juga yang berwarna kecoklatan. Kerapatan relatif minyak atsiri umumnya lebih rendah dari air. Minyak atsiri bersifat hidrofobik, larut dalam lemak, alkohol, dan sebagian besar pelarut organik (Naeem *et al.*, 2018).

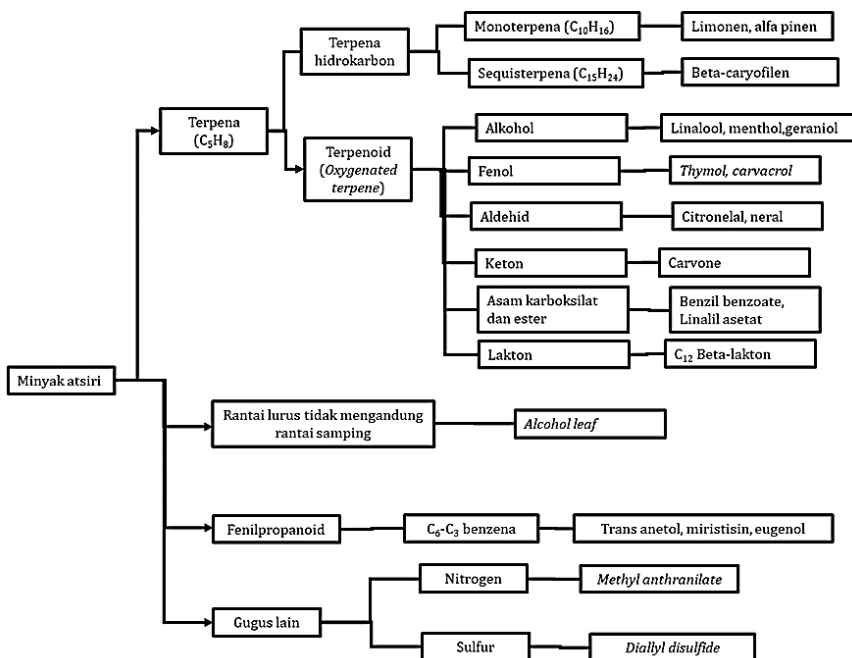
Minyak atsiri diperoleh dari tanaman dengan beberapa cara ekstraksi, diantaranya melalui distilasi uap, distilasi uap dan air, *cold processing*, dan ekstraksi pelarut (Wińska *et al.*, 2019) Cara ekstraksi tersebut adalah cara yang paling konvensional dan sering digunakan untuk mengisolasi senyawa aromatik ini. Cara lain untuk mendapatkan minyak atsiri adalah dengan enfluerasi, maserasi, atau ekstraksi super kritis. Teknik maserasi digunakan bila hasil dari penyulingan rendah dan enfluerasi digunakan untuk ekstraksi bahan yang sensitif, mahal dan tidak stabil secara termal (Naeem *et al.*, 2018). Metode ekstraksi secara signifikan mempengaruhi konstituen kimia dan komposisi dari minyak atsiri (Reyes-Jurad *et al.*, 2015).

Komponen minyak atsiri mayoritas terdiri dari terpena, terpenoid, dan konstituen aromatik dan alifatik lainnya, dan ditandai dengan berat molekul rendah (Akhtar, 2014). Minyak atsiri terdiri dari campuran kompleks senyawa volatil hingga semi-volatil, senyawa polar dan non polar (Morsy, 2017). Komponen kimia yang terdapat dalam minyak atsiri dapat diklasifikasikan ke dalam empat kelompok utama dan secara terperinci dirangkum pada **Gambar 4.1**. Empat kelompok utama tersebut adalah terpena, senyawa rantai lurus tidak mengandung rantai samping, fenilpropanoid (turunan benzena), dan

gugus lain dengan struktur bervariasi yang tidak termasuk dalam tiga kelompok pertama (senyawa yang mengandung sulfur atau nitrogen).

Terpena adalah golongan senyawa kimia yang paling umum ditemukan dalam minyak atsiri. Terpena disintesis dalam sitoplasma sel tanaman, melalui jalur asam mevalonat (Fathy & Morsy, 2017). Terpena merupakan suatu struktur yang tersusun dari isoprena (2-methyl-1,3-butadiene), yaitu suatu unit karbon C₅ dengan dua ikatan rangkap (Moghaddam & Mehdizadeh, 2017). Unit isoprena bergabung dalam satu arah, ujung rantai yang bercabang disebut sebagai kepala molekul dan ujung lainnya sebagai ekornya. Terpena diklasifikasikan berdasarkan jumlah unit isoprena dalam strukturnya, misalnya hemiterpena (satu unit), monoterpena (dua unit), sesquiterpen (tiga unit), diterpena (empat unit), dan sebagainya.

Fenilpropanoid merupakan senyawa yang mengandung satu atau lebih unit C₆-C₃, dengan C₆ yang merupakan cincin benzena. Senyawa ini memiliki gugus fungsi metil eter yang melekat pada cincin, dan ekor propenil (rantai tiga karbon dengan satu C=C terikat pada cincin pada satu ujung) (Moghaddam and Mehdizadeh, 2017).



Gambar 4.1. Pengelompokan komponen kimia dalam minyak atsiri (Fathy & Morsy, 2017)

Contoh dari kelompok ini termasuk trans-anetol, metil chavicol, eugenol, isoeugenol, vanilin, safrol, miristisin dan sinamaldehida.

Kelompok terakhir dalam komponen minyak atsiri adalah gugus lain dengan struktur bervariasi yang tidak termasuk dalam tiga kelompok pertama, yaitu senyawa dengan gugus lain. Senyawa yang termasuk kelompok ini adalah senyawa yang tidak termasuk dalam tiga kelompok yang disebutkan di atas. Mereka adalah produk degradasi berbeda yang berasal dari asam lemak tak jenuh, lakton, terpena, glikosida dan senyawa yang mengandung sulfur dan nitrogen, contohnya metil antranilat dan dialil sulfida.

Komponen senyawa kimia pada minyak atsiri sangat bervariasi dan berbeda-beda diantara setiap jenis minyak atsiri. Minyak atsiri memiliki variabilitas komposisi kimia yang sangat tinggi, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Berbagai faktor yang mempengaruhi atas variabilitas ini dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori (Dhifi et al., 2016), yaitu faktor intrinsik dan ekstrinsik. Faktor intrinsik yang berhubungan dengan tanaman, dan interaksi dengan lingkungan (jenis tanah dan iklim) dan kematangan tanaman yang bersangkutan, bahkan waktu pemanenan juga berpengaruh (Dhifi et al., 2016) (Akhtar, 2014). Faktor ekstrinsik yang terkait dengan metode ekstraksi (Dhifi et al., 2016) (Franco-vega & Ramı, 2015)

4.2.2. Senyawa Kimia dalam Minyak Atsiri yang Berfungsi sebagai Antimikroba

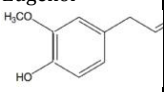
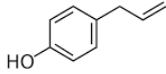
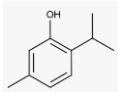
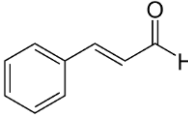
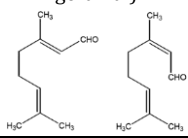
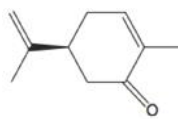
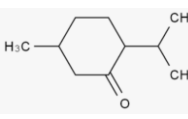
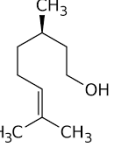
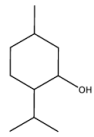
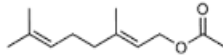
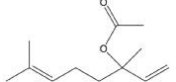
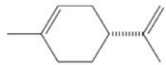
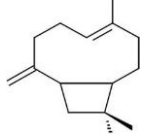
Kemampuan minyak atsiri sebagai antimikroba berhubungan dengan senyawa kimia yang terdapat dalam minyak atsiri tersebut. Senyawa kimia dalam minyak atsiri seperti alkohol, aldehida, fenol, dan ester diketahui memiliki kemampuan sebagai antimikroba. Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa minyak atsiri yang mengandung senyawa dengan gugus aldehida atau fenol, seperti sinamaldehida, sitral, carvacrol, eugenol atau timol sebagai komponen utama menunjukkan aktivitas antibakteri tertinggi, diikuti oleh minyak atsiri yang mengandung senyawa kimia dengan gugus alkohol terpena. Minyak atsiri lain yang mengandung senyawa kimia dengan gugus keton atau ester, seperti β -myrcene, α -thujone atau geranil asetat memiliki aktivitas yang jauh lebih lemah. Di sisi lain minyak atsiri yang mengandung hidrokarbon terpena biasanya tidak aktif (Bassole &

Juliani, 2012). Aktivitas antimikroba dapat diurutkan peringkatnya berdasarkan gugus pada senyawa kimianya, yaitu fenol> aldehida> keton> alkohol> ester> hidrokarbon (Kalemba & Kunicka, 2003). Di sisi lain, karakter lipofilik dari kerangka hidrokarbon minyak atsiri dan karakter hidrofilik dari kelompok fungsionalnya juga penting dalam aktivitas antimikroba. **Tabel 4.1** menampilkan beberapa senyawa kimia dalam minyak atsiri yang berfungsi sebagai antimikroba berdasarkan urutan kekuatan antimikrobanya.

Aktivitas antimikroba secara kuantitatif dapat dinyatakan sebagai *Minimum Inhibitory Concentration* (MIC), yaitu konsentrasi minimum dari bahan antimikroba yang dapat menghambat pertumbuhan mikroba pada masa inkubasi 18-24 jam. Nilai MIC tergantung dari jenis minyak atsiri dan mikroba target. Nilai MIC ini ditentukan dari percobaan uji antimikroba. Pada **Tabel 4.2** ditunjukkan nilai MIC dari beberapa minyak atsiri yang dirangkum dari beberapa penelitian.

Nilai MIC ataupun aktivitas antimikroba dari minyak atsiri dapat dinaikkan dengan cara mengkombinasikan minyak atsiri dengan minyak atsiri lain ataupun dengan bahan antimikroba lain. Namun tidak semua hasil kombinasi minyak atsiri dapat menaikkan aktivitas antimikrobanya. Kombinasi dua atau beberapa jenis minyak atsiri dapat menghasilkan empat jenis efek terhadap aktivitas antimikroba, yaitu efek *indifferent*, aditif, antagonis, atau sinergis (Reyes-Jurad, *et al.*, 2015; Bassolé & Juliani, 2012). Efek aditif adalah ketika efek gabungan sama dengan jumlah efek individu. Antagonisme ketika efek dari satu atau kedua senyawa kurang ketika mereka diterapkan bersama daripada ketika diterapkan secara individual. Sinergisme apabila efek dari zat gabungan lebih besar dari jumlah efek individu sementara tidak adanya interaksi didefinisikan sebagai *indifferent* (Bassolé & Juliani, 2012).

Tabel 4.1 Gugus fungsi senyawa dalam minyak atsiri yang berperan sebagai antimikroba berdasarkan urutan prioritas

Fenol	- Eugenol 	Chvicol 	Thymol 
-	- Bunga cengkeh	Daun sirih	Daun thyme
Aldehida	-	Sinamaldehida 	Sitral (neral dan geranial) 
-	-	kulit kayu manis	Daun sereh dapur
Keton	-	Charvone 	Menthon 
-	-	daun caraway	Daun peppermint
Alkohol	-	Sitronelol 	Menthol 
-	-	sereh wangi	Daun peppermint
ester	-	Geranil asetat 	Linalyl acetate 
-	-	Daun sereh dapur, dan wangi	Bunga lavender
Hidro-karbon		Limonena 	β-kariofilena 
		Kulit jeruk manis	Daun atau bunga,cengkeh

MINYAK ATSIRI: PRODUKSI DAN APLIKASINYA UNTUK KESEHATAN

Tabel 4.2. Nilai MIC beberapa minyak atsiri

No.	Minyak atsiri	Mikroba target	MIC	Acuan
1.	Minyak cengkeh	<i>Escherichia coli</i>	4.500 mg/L	(Siddiqua <i>et al</i> , 2015)
		<i>Staphylococcus aureus</i>	4.500 mg/L	
		<i>Bacillus cereus</i>	2.750 mg/L	
		<i>Yersinia enterocolitica</i>	4.500 mg/L	
2.	Sinamaldehyda	<i>Escherichia coli</i>	5.000 mg/L	
		<i>Staphylococcus aureus</i>	1.875 mg/L	
		<i>Bacillus cereus</i>	2.000 mg/L	
		<i>Yersinia enterocolitica</i>	5.000 mg/L	
3.	<i>Citrus aurantifolia</i> (Lime)	<i>Bacillus subtilis</i>	1.000 µg	(Adukwu, 2016)
		<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2.000-3.000 µg/L	
		<i>Escherichia coli</i>	3.000 – 5.000 µg/L	
4.	<i>Citrus limon</i> (L) Burm	<i>Bacillus subtilis</i>	1.000 – 2.000 µg/L	
		<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1.000 – 3.000 µg/L	
		<i>Escherichia coli</i>	1.000 – 3.000 µg/L	
5.	Minyak sereh dapur	<i>Acinetobacter baumannii</i>	0,65% (v/v)	(Vazirian <i>et al.</i> , 2012)
		<i>Staphylococcus aureus</i>	0,06%(v/v)	
		<i>Salmonella thypimurium</i>	0,5 µL/mL	
		<i>Escherichia coli</i>	0,5 µL/mL	
		<i>Candida albicans</i>	0,5 µL/mL	
		<i>Bacillus cereus</i>	0,5 µL/mL	
		<i>Pseudomonas orientalis</i>	18,1 ± 1,9 µL/mL	(Leja <i>et al.</i> , 2019)
		<i>Enterococcus faecalis</i>	16 µg/mL	(Singh <i>et al.</i> , 2011)
		<i>Bacillus coagulans</i>	1 µg/mL	

MINYAK ATSIRI: PRODUKSI DAN APLIKASINYA UNTUK KESEHATAN

No.	Minyak atsiri	Mikroba target	MIC	Acuan
6.	Sital	<i>Acinetobacter baumannii</i>	0,14% (v/v)	(Adukwu <i>et al.</i> , 2016)
		<i>Staphylococcus aureus</i>	0,028 % (v/v)	
7.	Minyak pepermin	<i>Staphylococcus aureus</i>	0,5 ± 0,03 (%v/v)	(Singh <i>et al.</i> , 2015)
		<i>Streptococcus pyogenes</i>	0,5 ± 0,01 (%v/v)	
		<i>Escherichia coli</i>	0,7 ± 0,04 (%v/v)	
		<i>Klebsiella pneumonia</i>	0,4 ± 0,02 (%v/v)	
8.	Minyak sereh wangi	<i>Escherichia coli</i>	0,244 µg/mL	(Wei and Wee, 2013)
		<i>Salmonella sp</i>	0,244 µg/mL	
		<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0,244 µg/mL	
9.	Minyak nilam	<i>Escherichia coli</i>	4,0 mg/mL	(Yang <i>et al.</i> , 2013)
		<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	5,5 mg/mL	
		<i>Staphylococcus aureus</i>	4,5 mg/mL	
10.	Minyak akar wangi	<i>Staphylococcus aureus</i>	39 µg/mL	(David <i>et al.</i> , 2019)
		<i>Bacillus subtilis</i>	312,5 µg/mL	
		<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	312,5 µg/mL	
		<i>Escherichia coli</i>	312,5 µg/mL	
11.	Minyak pala	<i>Escherichia coli</i>	1 mg/mL	(Piaru <i>et al.</i> , 2012)
		<i>Staphylococcus aureus</i>	1 mg/mL	
		<i>Salmonella thypii</i>	> 1 mg/mL	
		<i>Bacillus subtilis</i>	>1 mg/mL	
12.	Minyak ekaliptus	<i>Staphylococcus aureus</i>	4 %v/v	(Aldoghaim <i>et al.</i> , 2018)
		<i>Escherichia coli</i>	8 %v/v	
		<i>Candida.albicans</i>	>8 %v/v	

Efek sinergisme dari minyak atsiri dijumpai pada minyak nilam dan minyak ketumbar dalam aktivitas antimikrobanya. Kekuatan anitimikroba dari penggabungan minyak nilam dengan minyak ketumbar meningkat dibanding minyak nilam dan minyak ketumbar dalam kondisi tunggal (tanpa digabungkan)(Handayani *et al.*, 2020). Minyak nilam memiliki aktivitas antimikroba yang lebih besar pada bakteri gram positif dibanding minyak ketumbar. Sementara minyak ketumbar mempunyai aktivitas antimikroba yang lebih besar terhadap bakteri gram negatif. Kombinasi keduanya menghasilkan aktivitas yang sama besar terhadap bakteri gram positif dan bakteri gram negatif (efek aditif). Kombinasi minyak nilam dan minyak ketumbar menghasilkan efek antimikroba yang aditif dan sinergis.

4.2.3 Mekanisme Antimikroba dari Minyak Atsiri

Sebuah karakteristik penting dari minyak atsiri dan konstituennya adalah sifat hidrofobiknya, yang memungkinkan mereka untuk berinteraksi dengan membran sel lipid mitokondria bakteri, membuat strukturnya kurang teratur dan karenanya lebih permeabel. Permeabilitas yang meningkat ini memungkinkan arus keluar dari ion dan konten sel lainnya. Meskipun dalam jumlah tertentu aliran keluar dari sel mikroba dapat ditoleransi tanpa kehilangan viabilitas, kehilangan substansial isi sel atau hilangnya ion dan molekul vital, namun dalam jumlah banyak dan kurun waktu yang cukup lama akan menyebabkan kematian sel (Ju *et al.*, 2019).

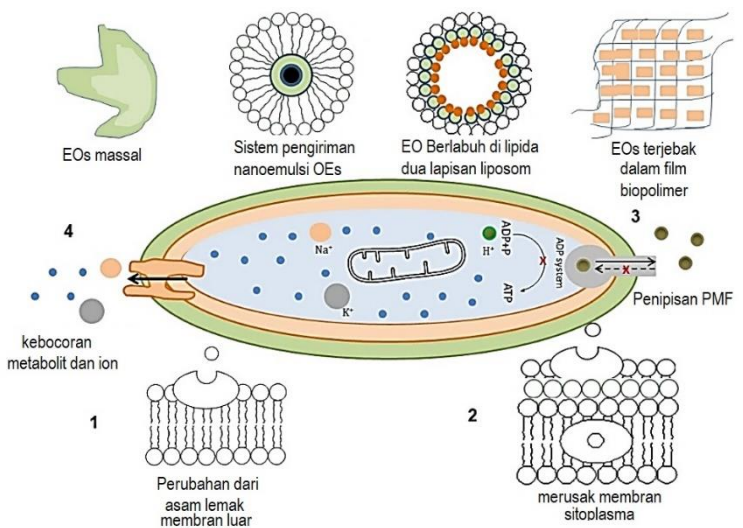
Efek aktivitas antimikroba dari minyak atsiri dapat menghambat pertumbuhan bakteri (bakteriostatik) atau menghancurkan sel bakteri (bakterisida), Namun demikian, sulit untuk membedakan dua aktivitas tersebut (Swamy *et al.*, 2016). Aktivitas antimikroba minyak atsiri bervariasi tergantung dengan jenis mikroba dan jenis minyak atsiri. Secara umum, bakteri gram positif lebih rentan terhadap minyak atsiri daripada bakteri gram negatif, atau dengan kata lain bakteri gram negatif lebih resisten terhadap minyak atsiri (Shojaee-Aliabadi *et al.*, 2017; Reyes-Jurad *et al.*, 2015).

Mekanisme kerja minyak atsiri sebagai antimikroba terhadap mikroorganisme cukup kompleks dan belum sepenuhnya dijelaskan. Mekanisme antimikroba minyak atsiri terutama tergantung pada jenis dan konsentrasi senyawa kimia yang dikandungnya. Senyawa kimia

yang berbeda dapat bertindak melalui mekanisme yang berbeda (Ju *et al.*, 2019). Misalnya, fungsi dari senyawa fenolik untuk mengganggu struktur dan permeabilitas membran sel dan gugus hidroksil yang dibawa dalam senyawa fenolik dapat mengganggu aktivitas enzim dalam mikroorganisme. Peran terpenoid terkait kemampuannya untuk mempengaruhi komposisi asam lemak membran sel, menyebabkan perubahan permeabilitas membran sel dan kebocoran zat intraseluler. Komposisi senyawa kimia yang sama juga mungkin berbeda efek ketika diterapkan pada berbagai jenis mikroba, karena komposisi dan ketebalan membran sel mikroba yang berbeda. Aksi mekanisme antimikroba minyak atsiri biasanya tidak tunggal, tetapi dapat dua atau lebih rute pada saat bersamaan (Ju *et al.*, 2019).

Mekanisme kerja antimikroba dari minyak atsiri meliputi degradasi dinding sel, merusak membran sitoplasma, koagulasi sitoplasma, merusak protein membran, meningkatkan permeabilitas yang mengarah pada kebocoran isi sel, mengurangi kekuatan motif proton, mengurangi ATP intraseluler melalui penurunan sintesis dan hidrolisis dan mengurangi potensi membran melalui peningkatan permeabilitas membran (Saranraj and Devi, 2018). Studi lain juga mengungkapkan mekanisme aksi antimikroba yang mungkin dari minyak atsiri yang ditinjau dari 4 hal yaitu perubahan asam lemak pada membran sel, kerusakan membran sitoplasma, pengurangan *proton motive force* (PMF), dan kebocoran ion-ion dan metabolit sel mikroorganisme (Rao *et al.*, 2019) (**Gambar 4.2**) Mekanisme aksi antimikroba dari minyak atsiri dengan kemampuannya menembus membran sel bakteri dan membran sitoplasma sampai ke bagian dalam sel sehingga menghancurkan struktur sel (Rao *et al.*, 2019).

Mekanisme aksi antimikroba dari minyak atsiri terutama tergantung pada konsentrasi dan jenis senyawa kimia yang ada dalam minyak atsiri. Sel-sel mikroba dapat bertahan hidup ketika mereka hanya terpapar dengan konsentrasi minyak atsiri yang rendah. Dalam kondisi seperti itu, membran sel masih mampu mempertahankan fluiditasnya melalui sistem pertahanan diri yang melibatkan perubahan derajat kejenuhan asam lemak, panjang rantai karbon, posisi percabangan, isomerisasi cis/trans, dan konversi asam lemak tak jenuh menjadi siklopropana di membran sel (Siroli *et al.*, 2015).



Gambar 4.2 Mekanisme aksi antimikroba yang mungkin dari minyak atsiri dan targetnya pada sel bakteri (Rao *et al.*, 2019)

Mekanisme aksi antimikroba dari minyak atsiri tergantung pada konsentrasi dan jenis senyawa kimianya. Sel-sel mikroba dapat bertahan hidup ketika mereka hanya terpapar dengan konsentrasi minyak atsiri yang rendah. Dalam kondisi ini, membran sel masih mampu mempertahankan fluiditasnya melalui sistem pertahanan diri yang melibatkan perubahan derajat kejenuhan asam lemak, panjang rantai karbon, posisi percabangan, isomerisasi cis/trans, dan konversi asam lemak tak jenuh menjadi siklopropana (Siroli *et al.*, 2015).

Senyawa kimia yang berbeda dapat bertindak dengan mekanisme yang berbeda dan menargetkan berbagai jenis mikroba, seperti bakteri gram positif, bakteri gram negatif, fungi, atau kapang, karena berbeda dalam komposisi membran selnya. Aktivitas antimikroba dapat terdiri lebih dari satu mekanisme aksi karena senyawa yang berbeda dalam minyak atsiri mungkin memiliki target seluler yang berbeda atau beberapa mekanisme (Hyltdgaard, *et al.*, 2012). Minyak cengkeh mengandung eugenol memberi efek pada bakteri *Listeria monocytogenes* pada sintesis asam nukleat dan ekspresi gen, menghambat sintesis protein, serta menghambat aktivitas enzim *ATPase* dan β -galaktosidase sehingga menyebabkan kematian bakteri *Listeria monocytogenes* (Cui *et al.*, 2018). Mekanisme lain dari aktivitas antimikroba minyak atsiri dirangkum dalam **Tabel 4.3**.

4.3 Potensi Minyak Atsiri untuk Pengawetan Pangan

Meskipun industri pangan terutama menggunakan minyak atsiri sebagai perisa alami, saat ini minyak atsiri sudah mulai dimanfaatkan juga sebagai antimikroba untuk makanan (Ali, 2016) karena minyak atsiri merupakan bahan antimikroba alami yang menarik dan potensial (Hyldgaard, *et al.*, 2012). Antimikroba digunakan dalam makanan karena dua alasan utama, yaitu untuk mengontrol proses pembusukan alami (pengawetan makanan) dan mencegah/mengendalikan pertumbuhan mikroorganisme, termasuk mikroorganisme patogen (keamanan pangan) (Shaaban, 2020). Namun penggunaan langsung minyak atsiri ke dalam makanan sebagai bahan antimikroba masih relatif jarang karena dikaitkan dengan beberapa faktor (Rao *et al.*, 2019). Antimikroba dapat berfungsi dengan baik jika ditambahkan minyak atsiri konsentrasi cukup tinggi pada makanan dibandingkan dengan uji *in vitro* nya. Konsentrasi minyak atsiri yang tinggi dapat menyebabkan efek organoleptik negatif bagi makanan karena aroma minyak atsiri dapat bermigrasi ke dalam makanan mengingat volatilitasnya yang tinggi.

Nutrisi yang melimpah dalam makanan seperti protein, lipida, karbohidrat, dan garam dapat mengurangi aktivitas antimikroba minyak atsiri karena memungkinkan bakteri untuk memperbaiki sel yang rusak lebih cepat daripada dalam media tumbuh. Kondisi lingkungan, seperti pH, kekuatan ionik, suhu, dan aktivitas air, dalam produk makanan di mana minyak atsiri tersebut diaplikasikan, sangat bervariasi, sehingga mempengaruhi aktivitas antimikrobanya. Misalnya, aktivitas antimikroba minyak atsiri sering berkurang dalam makanan dengan aktivitas air rendah dan viskositas tinggi karena lingkungan ini mengurangi laju difusi minyak atsiri ke mikroba target. Selain itu, beberapa konstituen dalam minyak atsiri dapat terdegradasi secara kimiawi selama penyimpanan atau pemrosesan makanan, yang dapat memengaruhi aktivitas antimikrobanya (Rao *et al.*, 2019). Keterbatasan penggunaan minyak atsiri secara langsung dalam pengawetan makanan mendorong dikembangkan aplikasi minyak atsiri untuk pengawetan secara tidak langsung, yaitu melalui sistem kemasan aktif.

MINYAK ATSIRI: PRODUKSI DAN APLIKASINYA UNTUK KESEHATAN

Tabel 4.3. Mekanisme antimikroba dari beberapa minyak atsiri

No.	minyak atsiri	Komponen utama	Mekanisme	Mikroba uji	Acuan
1.	Minyak cengkeh	Eugenol	Mempengaruhi sintesis asam nukleat dan ekspresi gen terkait, sehingga menghambat sintesis protein dan enzim tertentu, yang mengarah pada pengurangan ekspresi protein dalam sel Menghambat aktivitas enzim ATPase Merusak membran sel sehingga terjadi kebocoran DNA Manghambat enzim β -galaktosidase	<i>Listeria monocytogenes</i>	(Cui <i>et al.</i> , 2018)
2.	Minyak kayu manis	Sinamaldehyda, Fenol, aldehida, keton	Perubahan sel bakteri karena membran lisis oleh minyak kulit kayu manis Kebocoran elektrolit akibat gangguan permeabilitas sel Depolarisasi membran sel yang menyebabkan aktivitas metabolisme sel tidak teratur dan kematian bakteri.	<i>S. aureus</i> dan <i>E. coli</i>	(Zhang <i>et al.</i> , 2016)
		Sinamaldehyda	Kelainan morfologi, termasuk agregat hifa yang mengkerut, dinding miselium yang membengkak, dan struktur hifa yang roboh dan rata	<i>Phytophthora parasitica</i>	(Lu <i>et al.</i> , 2013)
3.	Minyak nilam	<i>Parchouli alcohol</i>	Mengganggu selubung sel bakteri, menyebabkan gangguan metabolisme sel dan pergantian tekanan osmotik sehingga sel menjadi lisis.	<i>Helicobacter pylori</i>	(Yang <i>et al.</i> , 2013)
4.	Minyak pala	Miristisin	Sel menjadi keriput, membran sel keluar, jumlah asam nukleat yang turun akibat bocornya sel, pengurangan ATP intraseluler	<i>S. aureus</i> dan <i>E. coli</i>	(Cui <i>et al.</i> , 2015)

MINYAK ATSIRI: PRODUKSI DAN APLIKASINYA UNTUK KESEHATAN

No.	minyak atsiri	Komponen utama	Mekanisme	Bakteri uji	Acuan
5.	Minyak sereh dapur	Neral, geranial, geraniol	Merusak membran sel sehingga sitoplasma bocor yang ditandai dengan tingginya protein ekstraseluler yang terukur	<i>P. orientalis</i> P49 dan P110	(Leja <i>et al.</i> , 2019)
			Menghambat aktivitas enzim glukosiltransferase pada produksi glukan (polimer eksopolisakarida)	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	(Ortega-Ramirez <i>et al.</i> , 2020)
			Menghambat pertumbuhan spora (<i>Bakteri uji lainnya Cladosporium herbarum, Rhizopus stolonifer dan Aspergillus niger</i> jamur postharvest) Pengamatan dengan AFM menunjukkan bahwa sel kehilangan bentuk asli, menyusut dan cacat. Sel-selnya hancur total saat terkena 32,7 mg / L Minyak sereh dapur	<i>Colletotrichum coccodes</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>C. albicans</i>	(Tzortzakis & Economakis, 2007) (Tyagi and Malik, 2010)
6.	Minyak lada hitam		Menerobos permeabilitas membran sel, dan kemudian menyebabkan kebocoran elektrolit, ATP, protein, dan bahan DNA. Perubahan ini mengakibatkan gangguan, dekomposisi, dan kematian	<i>E. coli</i>	(Zhang <i>et al.</i> , 2017b)
7.	Senyawa terpena	α -pinena, β -pinena, p-cymena, β -myrcena, β -caryophyllena, limonena, and γ -terpinena	Uji in vitro menunjukkan bahwa terpena tidak efisien sebagai antimikroba apabila sebagai senyawa tunggal	-	(Hyldgaard, <i>et al.</i> , 2012)

4.3.1 Kemasan Aktif

Pengemasan memiliki peran penting dalam proses rantai makanan. Fungsi utama pengemasan adalah sebagai wadah bagi makanan, mencegah kerusakan fisik, memungkinkan transportasi yang efisien dalam seluruh rantai makanan, dan menjaga kualitas dan keamanan makanan dari produksi hingga konsumsi akhir dengan mencegah perubahan kimia dan biologis yang tidak diinginkan (Yildirim *et al.*, 2018). Fungsi pengemasan ini telah dimodifikasi bertahun-tahun sebagai tanggapan atas perubahan besar dalam pemasaran, gaya hidup konsumen, dan perkembangan teknologi (Contreras *et al.*, 2017). Dalam beberapa tahun ini telah berkembang beberapa teknologi kemasan baru, yang dikenal dengan istilah kemasan aktif, kemasan pintar, dan kemasan intelegen (Wyrwa and Barska, 2017) (Majid *et al.*, 2018).

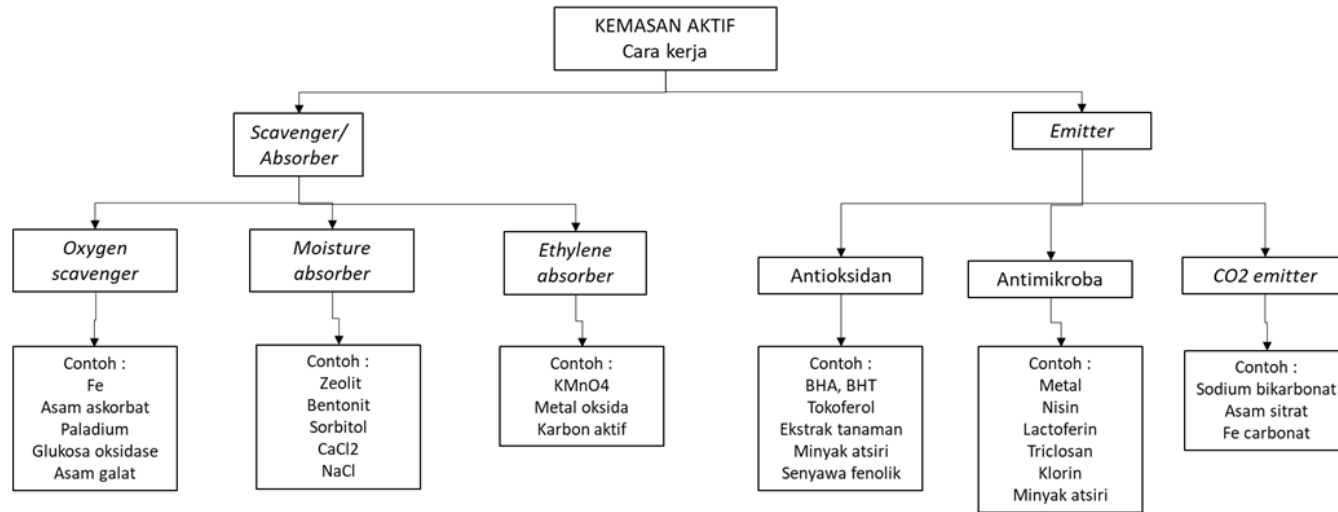
Istilah “kemasan aktif” pada dasarnya mengacu pada pergeseran peran perlindungan pasif kemasan ke peran aktif. Kemasan aktif merupakan sebuah pendekatan inovatif untuk mempertahankan atau memperpanjang umur simpan makanan dan juga memastikan kualitas, keamanan dan integritasnya. Menurut European regulation (EC) No.450/ 2009, kemasan aktif didefinisikan sebagai sistem pengemasan yang berinteraksi dengan makanan dan dirancang sedemikian rupa dengan sengaja memasukkan komponen yang melepaskan zat ke dalam kemasan atau menyerap zat dari makanan atau lingkungan di sekitar makanan (Yildirim *et al.*, 2018).

Kemasan aktif berdasarkan cara kerja dibedakan menjadi dua kelompok besar. Kemasan aktif yang bekerja dengan cara mengusir/menyerap suatu bahan yg bersifat merusak (*scavenger/absorber*) dan yang bekerja dengan cara melepaskan bahan aktif (*emitter*). Kemasan aktif dengan sifat *scavenger/absorber* dirancang untuk menghilangkan komponen yang tidak diinginkan dari lingkungan di dalam kemasan (Wyrwa and Barska, 2017). Termasuk di dalam kemasan aktif jenis *scavenger/absorber* adalah *oxygen scavenger*, *moisture absorber*, dan *ethylene scavenger* (Yildirim *et al.*, 2018). Jenis *oxygen scavenger* bekerja dengan cara mengusir oksigen. Oksigen tidak diinginkan di dalam kemasan karena dapat memperpendek umur simpan makanan. Bahan-bahan aktif yang digunakan dalam *oxygen scavenger* ini antara lain Fe, asam askorbat, paladium, glukosa oksidase, dan asam galat (Realini and Marcos, 2014). *Moisture*

absorber bekerja dengan cara mengontrol kadar air yang berlebihan dalam kemasan. Kadar air yang berlebihan menyebabkan makanan mudah ditumbuhi oleh mikroba. Bahan aktif yang digunakan sebagai *moisture absorber* antara lain zeolit, *bentonite*, sorbitol, CaCl_2 , dan NaCl (Yildirim *et al.*, 2018; Vilela *et al.*, 2018). *Ethylene scavenger* digunakan pada buah-buahan dan sayuran untuk menahan pemasakan dan penuaan. Bahan aktif yang biasa digunakan untuk *ethylene scavenger* diantaranya KMnO_4 , oksida logam, karbon aktif, dan titanium dioksida (Vilela *et al.*, 2018).

Kelompok kemasan aktif kedua berdasarkan cara kerjanya adalah kemasan aktif jenis *emitter*. Cara kerja *emitter* didasarkan pada pelepasan zat yang diinginkan berdampak positif pada makanan ke dalam lingkungan pengemasan (Wyrwa and Barska, 2017). Contoh kemasan aktif jenis *emitter* adalah kemasan antioksidan, kemasan antimikroba, dan CO_2 *emitter* (Yildirim *et al.*, 2018). Tingkat oksigen yang tinggi dalam kemasan dapat mempercepat pertumbuhan mikroba, perubahan rasa dan bau serta oksidasi lemak. Oksidasi lemak tidak hanya menghasilkan ketengikan, tetapi juga potensi pembentukan aldehida beracun dan hilangnya kualitas gizi karena degradasi asam lemak tak jenuh ganda. Hal ini dapat diatasi dengan menambahkan antioksidan ataupun mengemas produk menggunakan kemasan antioksidan. Bahan yang bersifat antioksidan yang digunakan antara lain *butylated hydroxyanisole* (BHA), *butylated hydroxytoluene* (BHT), tokoferol, asam askorbat, ekstrak tanaman, minyak atsiri, dan senyawa fenolik (Vilela *et al.*, 2018). Kemasan antimikroba bekerja dengan menghambat pertumbuhan mikroba perusak ataupun patogen melalui bahan aktif yang ditambahkan pada kemasan, seperti nisin, laktoferin, triklosan, minyak atsiri, dan logam (Vilela *et al.*, 2018; Realini and Marcos, 2014). CO_2 *emitter* menggunakan teknologi CO_2 *releasing* untuk memperpanjang umur simpan produk makanan karena dapat mengurangi pertumbuhan mikroba. CO_2 yang dilepaskan ini berasal dari natrium bikarbonat, asam sitrat, dan Fe karbonat (Vilela *et al.*, 2018). Rangkuman singkat klasifikasi kemasan aktif berdasarkan cara kerjanya dapat dilihat pada **Gambar 4.3.**

MINYAK ATSIRI: PRODUKSI DAN APLIKASINYA UNTUK KESEHATAN



Gambar 4.3. Klasifikasi Kemasan Aktif Berdasarkan cara Kerja

Saat ini kontaminasi menjadi masalah utama dalam rantai makanan yang mengarah pada pembusukan dan pertumbuhan mikroorganisme patogen. Ketika makanan terpapar lingkungan selama pemrosesan, pengemasan, dan pengiriman. Meskipun beberapa metode pengawetan makanan tradisional seperti pengeringan, pemanasan, pembekuan, fermentasi, dan penggaraman untuk memperpanjang umur simpan makanan, tetapi masih belum sempurna untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen yang membahayakan kesehatan konsumen.(Surwade and Chand, 2017).

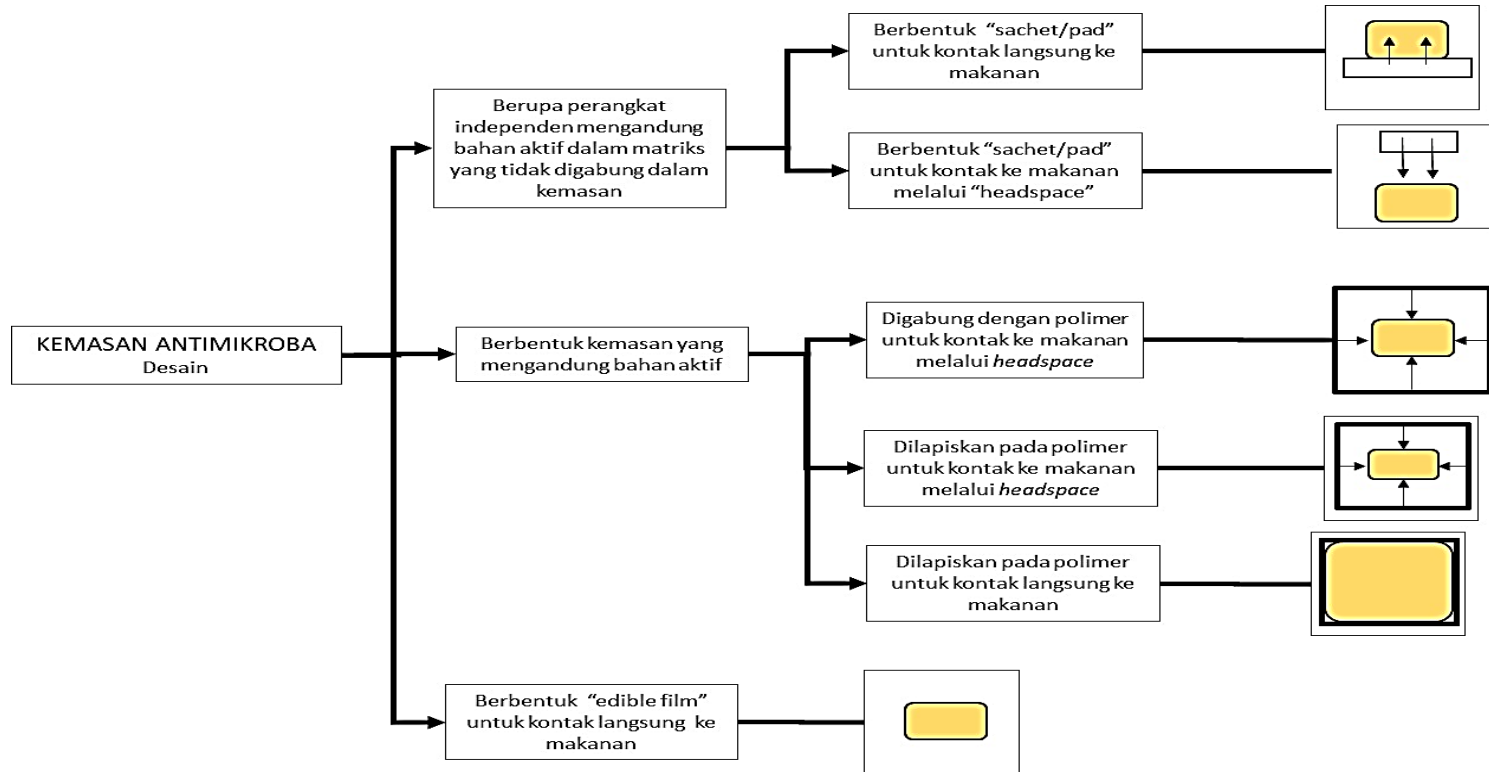
Kemasan antimikroba didefinisikan sebagai sistem kemasan yang berinteraksi dengan produk makanan atau lingkungan dalam kemasan baik untuk membunuh mikroorganisme yang mungkin ada dalam produk makanan atau untuk menghambat pertumbuhannya (Appendini & Hotchkiss, 2002; Kuswandi & Moradi, 2019). Pada kemasan antimikroba ini, bahan aktif dilepaskan secara lambat namun berkelanjutan dari bahan kemasan ke makanan atau ke lingkungan dalam kemasan dan pada kondisi konsentrasi bahan aktif antimikroba yang memadai dipertahankan selama masa simpan produk. Kemasan antimikroba mampu mengendalikan populasi mikroba di sekitar makanan, dan mampu mengurangi, menghambat, atau memperlambat pertumbuhan mikroorganisme pembusuk (Costa *et al.*, 2016). Pada dasarnya, tujuan dari kemasan antimikroba ini adalah untuk memberikan jaminan keamanan, perpanjangan umur simpan, pemeliharaan kualitas makanan, dan menghambat pembusukan serta menekan mikroba patogen makanan yang berpotensi mencemari produk makanan (Appendini & Hotchkiss, 2002).

Kemasan antimikroba terdiri dari bahan antimikroba (bahan yang dapat membunuh bakteri atau menghambat pertumbuhan mikroba) yang digabungkan pada matriks/penyangga. Bahan antimikroba yang digunakan dapat berupa bahan sintesis maupun bahan alami. Dalam aplikasi secara langsung untuk kemasan pangan, kemasan antimikroba dapat didesain dengan beberapa cara, yaitu:

1. Penambahan senyawa antimikroba (terutama yang mudah menguap) pada matriks yang terpisah (misalnya sachet, pouch, label atau pad). Matriks ini biasanya dilampirkan di sisi dalam kemasan atau ditempatkan di bagian terpisah (Kapetanakou & Skandamis, 2016)
2. Inkorporasi bahan antimikroba dalam matriks polimer yang merupakan kemasan utama dengan kontak yang terjadi dapat berupa kontak langsung maupun kontak tidak langsung (Kapetanakou & Skandamis, 2016)
3. Berbentuk pelapis alam yang berkontak langsung dengan makanan, biasanya terbuat dari karbohidrat, protein, atau lipida (Afzaal *et al.*, 2015).

Ilustrasi sederhana dari desain kemasan antimikroba seperti yang telah dijelaskan di atas dapat dilihat pada **Gambar 4.4**

MINYAK ATSIRI: PRODUKSI DAN APLIKASINYA UNTUK KESEHATAN



Gambar 4.4. Desain Kemasan Antimikroba (Afzaal Akhtar, Khan Uroof, Sakandar Arbab Hafiz, 2015) (Kapetanakou & Skandamis, 2016)

4.3.2 Minyak Atsiri sebagai Bahan Aktif dalam Kemasan Antimikroba

Minyak atsiri sebagai bahan antimikroba telah menarik perhatian untuk digunakan menggantikan bahan antimikroba sintetis (El-ghorab & Shibamoto, 2012)(Ju *et al.*, 2019). Minyak atsiri memiliki aktivitas antimikroba dengan spektrum yang luas sehingga prospek aplikasinya menjanjikan. Minyak atsiri sebagai bahan antimikroba alami bersifat *biodegradable* sehingga merupakan bahan antimikroba yang ramah lingkungan. Minyak atsiri tersedia melimpah, terutama di Indonesia yang memiliki beragam jenis minyak atsiri sehingga tidak perlu dikhawatirkan ketersediaannya. Selain itu, minyak atsiri juga bersifat aman sebagai agen antimikroba. Food and Drug Administration (FDA) telah memasukkan minyak atsiri ke dalam daftar *Generally Recognized as Safe* (GRAS) yang berarti dapat digunakan tanpa membutuhkan persetujuan dengan analisis teknis (Ribeiro-santos and Andrade, 2017). Ini adalah keunggulan dari minyak atsiri sebagai bahan antimikroba.

Namun disamping keunggulan tersebut, penggunaan minyak atsiri untuk antimikroba masih terbatas karena beberapa kelemahan, seperti volatilitas yang tinggi sehingga menyebabkan kendala pada saat proses penggabungan pada matriks penyangga (Moshe *et al.*, 2016). Minyak atsiri juga tidak stabil, mudah rusak oleh pengaruh lingkungan seperti cahaya dan suhu yang tinggi (Ju *et al.*, 2019). Volatilitas yang tinggi dan ketidakstabilan dari minyak atsiri dapat diatasi dengan menggunakan teknik enkapsulasi (Kfoury *et al.*, 2019; Maes *et al.*, 2019; Majeed *et al.*, 2015). Aroma minyak atsiri yang unik dan khas juga menjadi kendala terutama ketika diterapkan untuk aplikasi kemasan aktif (Quesada, *et al.*, 2016). Penggunaan *mild odor* atau minyak atsiri dengan bau yang secara umum diterima (*pleasant olfactory properties*) dapat mengatasi masalah ini. Penggabungan minyak atsiri pada matriks polimer alami untuk membentuk material antimikroba dapat menyebabkan sifat mekanik dari matriksnya menurun (Radusin, 2013). Kendala pada penggunaan minyak atsiri sebagai bahan antimikroba dan metode untuk mengatasinya terangkum dalam **Tabel 4.4**.

Pertimbangan awal dalam penggunaan minyak atsiri untuk kemasan antimikroba adalah aroma dari minyak atsiri tersebut karena aroma dapat bermigrasi pada makanan sehingga

mempengaruhi sensori dari makanan tersebut. Meskipun suatu jenis minyak atsiri memiliki aktivitas antimikroba yang besar dan spektrumnya luas namun aromanya tidak dapat diterima, maka minyak atsiri tersebut akan sangat sulit untuk diaplikasikan dalam kemasan antimikroba. Minyak atsiri dari tanaman rempah merupakan salah satu pilihan terbaik untuk dimanfaatkan dalam kemasan antimikroba karena aromanya dapat diterima secara luas oleh konsumen (Macwan *et al.*, 2016). Dalam studi aktivitas antimikroba dari beberapa tanaman rempah yang telah dilakukan (Yunilawati, *et al.*, 2021b), minyak sereh dapur, minyak ketumbar, dan minyak kayu manis menunjukkan aktivitas antimikroba yang kuat baik terhadap bakteri gram positif (*S.aureus*) maupun bakteri gram negatif (*E.coli*).

Tabel 4.4. Kendala penggunaan minyak atsiri sebagai antimikroba dan strategi penyelesaiannya

Permasalahan	Penyelesaian
Volatilitas yang tinggi sehingga menyebabkan kendala pada saat proses penggabungan dengan matriks penyangga dan menyebabkan pelepasan senyawa aktif tidak terkontrol (Quesada <i>et al.</i> , 2016) (Wicochea-rodríguez <i>et al.</i> , 2019)(Moshe <i>et al.</i> , 2019)	<i>Solvent casting technology</i> (Ju <i>et al.</i> , 2019) Teknik enkapsulasi (Ju <i>et al.</i> , 2019) (Maes <i>et al.</i> , 2019)(Zanetti <i>et al.</i> , 2018)
Perlunya konsentrasi tinggi untuk mencapai efektivitas (Vilela <i>et al.</i> , 2018)	Penggabungan dengan bahan antimikroba jenis lain (Dvir <i>et al.</i> , 2019) (Hyldgaard <i>et al.</i> , 2012)
Konsentrasi minyak atsiri yang tinggi dapat menurunkan sifat mekanik dari matriks polimer alami yang digunakan sebagai penyangga (Radusin, 2013)	Penggabungan dengan derivat pati/selulosa (Díez-Pascual, 2020) atau nano partikel oksida logam (Radusin, 2013)
Aroma minyak atsiri yang bermigrasi pada produk aplikasi, terutama untuk kemasan makanan (Arya <i>et al.</i> , 2019)(Moshe <i>et al.</i> , 2019) (Quesada <i>et al.</i> , 2016)(Wieczyńska <i>et al.</i> , 2016).	Tidak berkontak langsung dengan makanan yang dikemas (Quesada <i>et al.</i> , 2016) Menggunakan <i>mild odor</i> minyak atsiri (Dvir <i>et al.</i> , 2019)

Minyak sereh dapur termasuk dalam golongan *mild odor* minyak atsiri yang aromanya secara umum dapat diterima (*pleasant olfactory properties*) (Ganjewala, 2009). Minyak sereh dapur

mengandung senyawa utama sitral (neral dan geranial) dan geraniol. Sitral banyak berperan pada bioaktivitas minyak sereh dapur seperti antibakteri (Han lynur Hanani, 2020; Yang & Song, 2016; Majewska *et al.*, 2019) dan antijamur (Ganjewala, 2009). Minyak sereh dapur memiliki aktivitas antibakteri terhadap bakteri gram positif dan bakteri gram negatif, baik dalam bentuk minyak maupun dalam bentuk uap (Argyropoulou *et al.*, 2007) (Yunilawati *et al.*, 2021b). Geraniol dalam minyak sereh dapur juga dilaporkan memiliki aktivitas dalam melawan beberapa bakteri patogen (Zanetti *et al.*, 2015).

4.3.3 Penggunaan Minyak Atsiri dalam Kemasan Antimikroba

Sifat volatil dari minyak atsiri sangat sesuai untuk kemasan antimikroba dengan interaksi yang tidak berkontak langsung, baik dalam bentuk *sachet*, *pouch*, label atau *pad*. Kemasan antimikroba dari minyak atsiri dalam bentuk label maupun lembaran film biasanya dibuat dengan teknologi “casting” yang memungkinkan untuk dapat *release* dengan lambat dan menghindari efek suhu tinggi pada proses pembuatannya. Polimer sintesis seperti PVA, LDPE, EVOH dan polimer sintesis lainnya digunakan sebagai matriks penyangga untuk minyak atsiri. Bahan polimer yang ramah lingkungan saat ini sedang dikembangkan untuk menggantikan polimer sintesis tersebut (Ju *et al.*, 2019). Polimer mudah terurai, seperti protein dan bahan berbasis polisakarida, memiliki sifat pembentukan film yang baik namun bersifat hidrofilik dan sangat kristalin, memberi pengaruh buruk pada kinerja dan pemrosesan pembentukan kemasan antimikroba (Khaneghah *et al.*, 2018) (Huang, *et al.*, 2019). Struktur plastik berbasis biopolimer ini dimodifikasi untuk memberi sifat termoplastik dan membuatnya cocok, salah satunya dengan menambahkan plastisizer seperti gliserol, polietilen glikol, dan sorbitol, yang mengurangi kerapuhan dan meningkatkan fleksibilitas dan elastisitas bahan.

Polimer yang digunakan untuk membentuk film menentukan karakteristik matriks film tersebut dan juga pelepasannya dan karenanya sifat antimikroba tergantung pada sifat dan kemampuan interaksinya dengan konstituen minyak atsiri. Film-film yang diproduksi oleh polimer dengan aktivitas antimikroba yang melekat seperti kitosan menunjukkan efek sinergis ketika ditambahkan dengan minyak atsiri. Dalam film yang digabungkan dengan minyak

atsiri, tetesan minyak secara fisik dan/atau kimiawi terperangkap dalam matriks polimer. Kehadiran ikatan kimia antara minyak atsiri dan gugus fungsional polimer menyebabkan interaksi yang kuat yang mengurangi laju migrasi komponen aktif, yang memungkinkan difusi minyak atsiri yang lebih lambat dan bertahap pada lingkungan dalam kemasan makanan. Dalam beberapa aplikasi, pelepasan lambat senyawa aktif dari sistem pengemasan diperlukan untuk meningkatkan daya tahan produk selama penyimpanan. Pembentukan ikatan kovalen antara gugus amino dengan kitosan dan gugus fungsional seperti aldehida dalam minyak atsiri menyebabkan lapisan memiliki peningkatan sifat mekanik, permeabilitas uap air dan sifat antibakteri. *Crosslinking* yang cukup kuat antara polimer dan minyak atsiri dapat menghambat migrasi molekul minyak dan aktivitas antimikroba, misalnya, ikatan kimia gugus amino dari film kasein dan karboksil dari oleoresin (Shojaee-Aliabadi *et al.*, 2017)

Jika menggunakan polimer yang inert untuk pembentukan film, tidak akan ada interaksi molekul yang signifikan dengan minyak atsiri, maka penahanan senyawa aktif akan berkurang dan difusi mereka dapat terjadi dengan cepat melintasi film. Interaksi minyak atsiri yang sangat lemah atau tidak ada karena ketidakcocokan di antara mereka dapat mengakibatkan pelepasan bahan antimikroba yang sangat cepat ke dalam makanan yang dapat mengurangi masa simpan makanan yang dikemas (Shojaee-Aliabadi *et al.*, 2017). Sebagian besar film berbasis biopolimer memiliki sifat hidrofilik, dapat diserap air dan akan retak pada paparan langsung ke permukaan makanan yang basah selama penyimpanan sehingga menyebabkan pelepasan sangat kuat secara tiba-tiba yang sering tidak diinginkan untuk pengawetan makanan. Perubahan lingkungan seperti kelembaban dan suhu relatif juga mempengaruhi difusi minyak atsiri melalui film. Secara umum, penyimpanan makanan pada suhu tinggi dapat mempercepat difusi minyak atsiri pada film berbasis sintetik atau biopolimer, sedangkan suhu rendah menurunkan laju pelepasan dikemas (Shojaee-Aliabadi *et al.*, 2017). Pembuatan kemasan antimikroba dengan bahan aktif minyak atsiri yang digabungkan dalam matriks/penyangga terangkum dalam **Tabel 4.5**

MINYAK ATSIRI: PRODUKSI DAN APLIKASINYA UNTUK KESEHATAN

Tabel 4.5. Jenis minyak atsiri dan matriks yang digunakan pada penelitian terkait kemasan antimikroba

No.	Jenis matriks	Minyak atsiri	Metode	Hasil	Acuan
1.	PP, PE/EVOH	Kayu manis, oregano, cengkeh	Coating	Film PP lebih efektif dari PE/EVOH dilihat dari aktivitas antibakterinya	(López <i>et al.</i> , 2007)
2.	Kertas daur ulang	Minyak sereh dapur	Immersing	Mampu menghambat pertumbuhan <i>S. aureus</i> dan <i>E. coli</i>	(Amalia <i>et al.</i> , 2020)
3.	Kitosan	Minyak sereh dapur	<i>Solvent casting</i>	Memiliki kemampuan membunuh bakteri <i>S. aureus</i> dan <i>E. coli</i> pada konsentrasi 10%	(Yunilawati <i>et al.</i> , 2021a)
4.	Kitosan	<i>Thymus oil</i>	<i>Solvent casting</i>	Aktivitas antimikroba lebih tinggi pada khamir dibanding bakteri	(Quesada <i>et al.</i> , 2016)
5.	Kertas daur ulang	Minyak pepermin	<i>Immersing</i>	Mampu menghambat kebusukan pada udang	(Yunilawati, <i>et al.</i> , 2021b)
6.	Kitosan-CMC	Cinnamon dan ginger	Emulsifikasi dilanjutkan solvent casting	Cinnamon dapat digunakan untuk memplastisasi film kitosan-CMC sekaligus meningkatkan permeabilitas kelembapan dan menunjukkan aktivitas antijamur	(Noshirvani <i>et al.</i> , 2017)
7.	Kitosan	Lemongrass	<i>Solvent casting</i>	<i>Water vapor permeability</i> dan <i>tensile strength</i> turun dengan adanya penambahan lemongrass pada film	(Lyn & Hanani, 2020)
8.	Selulosa nanokristal	Clove, cinnamon, lemongrass	Enkapsulasi dengan kitosan dilanjutkan dengan <i>solvent casting</i>	Enkapsulasi dengan kitosan meningkatkan sifat mekanik matriks selulosa nanokristal	(Zhang <i>et al.</i> , 2017a)
9.	Kitosan	Rosemary	<i>Solvent casting</i>	Penggabungan <i>rosemary oil</i> ke matriks kitosan menyebabkan matriks menjadi retak	(Abdollahi <i>et al.</i> , 2012)

4.4 Aplikasi Kemasan Antimikroba Berbahan Aktif Minyak Atsiri dalam Pengemasan Pangan

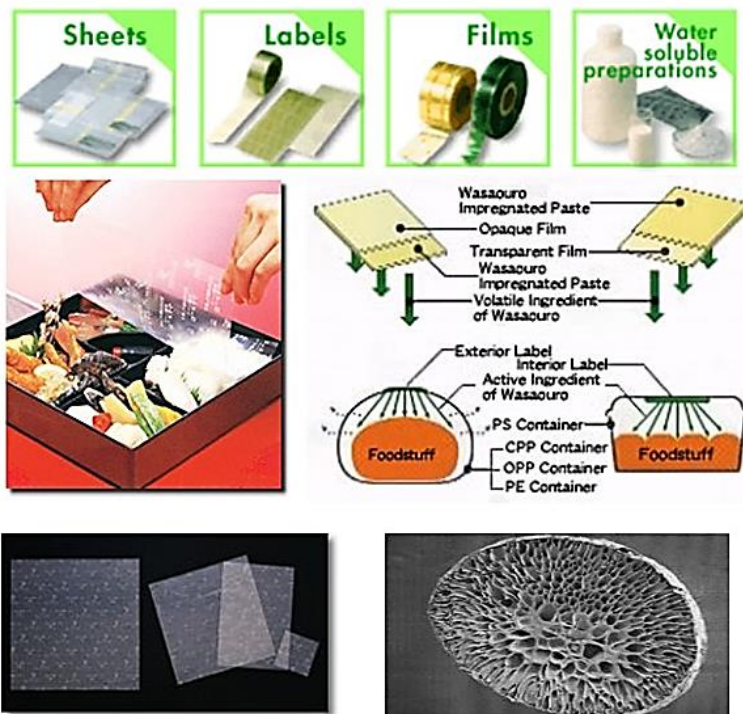
Dalam penggunaan minyak atsiri sebagai kemasan antimikroba, keefektifannya banyak diaplikan untuk produk-produk roti, daging, dairy, buah-buahan dan sayur-sayuran (Shojaee-Aliabadi *et al.*, 2017). Beberapa penelitian telah melakukan keefektifan minyak atsiri sebagai kemasan antimikroba dalam beberapa produk pangan seperti tertera pada **Tabel 4.6**

Tabel 4.6. Aplikasi minyak atsiri senagai kemasan antimikroba pada beberapa produk pangan

No.	Jenis minyak atsiri	Jenis matriks	Aplikasi	Acuan
1.	Daun ekaliptus	Kitosan	Daging ayam	(Sharafati-Chaleshtori <i>et al.</i> , 2016)
2.	Daun thyme	Kitosan-gelatin	Cabe	(Jovanovic <i>et al.</i> , 2016)
3.	Daun thyme	Kitosan	Daging matang	(Quesada <i>et al.</i> , 2016)
4.	Daun ajwan	Kitosan	Ayam filet	(Karimnezhad <i>et al.</i> , 2017)
5.	kulit kayu manis, bunga/daun cengkeh	Pektin	Roti	(Sachdev <i>et al.</i> , 2017)
6.	Lemon balm oil	Kitosan-zink oksida		(Sani <i>et al.</i> , 2019)
7.	Minyak oregano, kulit kayu manis	<i>Casava starch</i> -kitosan	Daging babi	(Chiralt <i>et al.</i> , 2018)
8.	Eugenol, carvacol, anethol	<i>Poly Lactic Acid</i> (PLA)	Lektus	(Wieczy & Cavoski, 2018)
9.	Minyak atsiri campuran	Alginat (<i>edible coating</i>)	Daging sapi	(Carolina <i>et al.</i> , 2016)
10.	Daun cengkeh	LLDPE	Daging sapi	(Mulla <i>et al.</i> , 2017)
11.	Minyak sitrus	<i>Kraft paper</i>		(Kasaai & Moosavi, 2017)
12.	Kulit kayu manis	Poli Vinil Alkohol- β siklodekstrin	<i>Fresh mushroom</i>	(Pan <i>et al.</i> , 2019)
13.	Carvacol	Poliakrilik acid, CMC-selulosa mikrokristalin	<i>Strawberry, pumpkin</i>	(Rozenblit <i>et al.</i> , 2018)
14.	Kulit kayu manis	<i>Active paper</i>	<i>Strawberry</i>	(Rodriguez <i>et al.</i> , 2007)
15.	T. ammi essential oils	Chitosan	Daging ayam	(Karimnezhad <i>et al.</i> , 2017)

MINYAK ATSIRI: PRODUKSI DAN APLIKASINYA UNTUK KESEHATAN

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa kemasan berbasis minyak atsiri memiliki potensi untuk meningkatkan umur simpan makanan. Namun, kemasan dengan sistem tersebut belum dikomersialkan secara luas. Berbagai faktor perlu dipertimbangkan, seperti dampak dari minyak atsiri pada profil organoleptik dari makanan, sifat fisio-kimia dari bahan, dan efektivitas sistem kemasan ini ketika diproduksi dalam kondisi nyata. Permasalahan bau dan rasa yang kuat dapat diatasi dengan memilih secara selektif jenis makanan yang kompatibel dalam rasa. Pilihan lain dapat berupa pengembangan turunan minyak atsiri yang tidak berasa, tidak berwarna, dan tidak berbau (inertness sensorik), seperti beberapa turunan kurkumin (Yildirim *et al.*, 2018). Salah satu kemasan antimikroba berbasis minyak atsiri yang sukses diterapkan secara komersil adalah Wasaouro™ (Realini and Marcos, 2014) buatan Mitsubishi-Chemical Foods Corporation. Wasaouro™ mengandung bahan volatil *allyl isothiocyanate* yang diekstrak dari wasabi. Wasaouro™ tersedia dalam bentuk lembaran, lapisan, label, dan emulsi (**Gambar 4.5**).



Gambar 4.5. Berbagai bentuk kemasan antimikroba dari Wasaouro™ (<https://www.mfc.co.jp/wasaouro/eng/about/index.html>)

4.5. Simpulan

Penggunaan minyak atsiri sebagai bahan antimikroba untuk pengawetan pangan memiliki prospek yang sangat menjanjikan mengingat ketersediannya yang cukup melimpah di Indonesia, bersifat alami dan aman. Namun aroma yang unik dari minyak atsiri menyebabkan penggunaannya sebagai bahan aktif untuk kemasan antimikroba masih terbatas mengingat aroma unik dan bersifat volatil ini mudah bermigrasi pada bahan pangan yang dikemas sehingga mempengaruhi organoleptiknya. Penelitian-penelitian dan pengembangan lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengoptimalkan penggunaan minyak atsiri dalam kemasan antimikroba.

Daftar Pustaka

- Abdollahi, M., Rezaei, M., & Farzi, G. (2012). Improvement of active chitosan film properties with rosemary essential oil for food packaging. *International Journal of Food Science Technology*, 47(4), 847–853.
- Adukwu, E. C., Bowles, M., Edwards-Jones, V., & Bone, H. (2016). Antimicrobial activity, cytotoxicity and chemical analysis of lemongrass essential oil (*Cymbopogon flexuosus*) and pure citral. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(22), 9619–9627.
- Afzaal, M., Khan, U., Sakandar, H. A., & Akhtar, M. N. (2015). Antimicrobial Packaging, a Step towards Safe Food: A Review. *Global Journal of Science Frontier Research: E Interdisciplinary*, 15(2).
- Akhtar, M. S. (2014). Antimicrobial activity of essential oils extracted from medicinal plants against the pathogenic microorganisms : A review. *Issues in Biological Sciences and Pharmaceutical Research*, February.
- Aldoghaim, F., Flematti, G., & Hammer, K. (2018). Antimicrobial Activity of Several Cineole-Rich Western Australian Eucalyptus Essential Oils. *Microorganisms*, 6(4), 122.
- Ali, E. (2016). Antimicrobial Activity of Some Spices and Herbs Essential Oils. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 47(2), 29–37.
- Amalia, B., Yunilawati, R., Handayani, W., Arianita C., A., & Imawan, C. (2020). Antimicrobial Effect of Concord Paper Containing with Lemongrass Oil against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *2nd International Conference of Essential Oil Indonesia (ICEO)*, 54–59.

- Appendini, P., & Hotchkiss, J. H. (2002). Review of antimicrobial food packaging. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 3(2), 113–126.
- Argyropoulou, C., Daferera, D., Tarantilis, P. A., Fasseas, C., & Polissiou, M. (2007). Chemical composition of the essential oil from leaves of *Lippia citriodora* H.B.K. (Verbenaceae) at two developmental stages. *Biochemical Systematics and Ecology*, 35(12), 831–837.
- Arya, A., Mendiratta, S. K., Agarwal, R. K., Bharti, S. K., & Umarao, P. (2019). Antimicrobial profile and organoleptic acceptability of some essentials oils and their blends in hurdle treated chicken meat spread. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(09), 2162–2177.
- Bassolé, I. H. N., & Juliani, H. R. (2012). Essential oils in combination and their antimicrobial properties. *Molecules*, 17(4), 3989–4006.
- Bhavaniramya, S., Vishnupriya, S., Al-aboody, M. S., Vijayakumar, R., & Baskaran, D. (2019). Role of essential oils in food safety : antimicrobial and antioxidant application. *Grain & Oil Science and Technology*, 2(2), 49–55.
- Carolina, A., Vital, P., Guerrero, A., & Monteschio, J. D. O. (2016). Effect of Edible and Active Coating (with Rosemary and Oregano Essential Oils) on Beef Characteristics and Consumer Acceptability. *Plos One*, 1–16.
- Chaleshtori, F. S., Taghizadeh, M., Rafieian-kopaei, M., & Sharafati-chaleshtori, R. (2016). Effect of Chitosan Incorporated With Cumin and Eucalyptus Essential Oils as Antimicrobial Agent on Fresh Chiken Meat. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40, 396–404.
- Chiralt, A., Valencia-sullca, C., Vargas, M., & Atar, L. (2018). Thermoplastic cassava starch-chitosan bilayer films containing essential oils. *Food Hydrocolloids*, 75, 107–115.
- Contreras, C. B., Charles, G., Toselli, R., & Strumia, M. C. (2017). Antimicrobial active packaging. In *Biopackaging* (pp. 36–58). CRC Press.
- Costa, C., Conte, A., Alessandro, M., & Nobile, D. (2016). Use of Metal Nanoparticles for Active Packaging Applications. In *Antimicrobial food packaging* (pp. 399–406). Academic Press.
- Cui, H., Zhang, C., Li, C., & Lin, L. (2018). Antimicrobial mechanism of clove oil on *Listeria monocytogenes*. *Food Control*, 94, 140–146.
- Cui, H., Zhang, X., Zhou, H., Zhao, C., Xiao, Z., Lin, L., & Changzhu, L. (2015). Antibacterial Properties of Nutmeg Oil in Pork and Its

- Possible Mechanism. *Journal of Food Safety*, 35(3), 370–377.
- David, A., Wang, F., Sun, X., Li, H., Lin, J., Li, P., & Deng, G. (2019). Chemical Composition, Antioxidant, and Antimicrobial Activities of *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash Essential Oil Extracted by Carbon Dioxide Expanded Ethanol. *Molecules*, 24(10), 1897.
- Dhifi, W., Bellili, S., Jazi, S., Bahloul, N., & Mnif, W. (2016). Essential Oils' Chemical Characterization and Investigation of Some Biological Activities: A Critical Review. *Medicines*, 3(4), 25.
- Díez-Pascual, A. M. (2020). Antimicrobial polymer-based materials for food packaging applications. *Polymers*, 12(4), 731.
- Dvir, I. M., Dotan, A., Lewitus, D., & Ophir, A. (2019). Antimicrobial active packaging combining essential oils mixture : Migration and odor control study. *Polymers Advance Technology*, 30(10), 2558–2566.
- El-ghorab, H. A. E. S. A. H., & Shibamoto, T. (2012). Bioactivity of essential oils and their volatile aroma components : Review. *The Journal of Essential Oil Research*, 24(2), 203–212.
- Ganjewala, D. (2009). Cymbopogon essential oils: Chemical compositions and bioactivities. *International Journal of Essential Oil Therapeutics*, 3, 56–65.
- Handayani, W., Yunilawati, R., & Imawan, C. (2020). The Antibacterial Effect from Combining Cinnamon, Patchouli and Coriander Essential Oils. *Proceedings of the 2nd International Conference of Essential Oils*, 153–158.
- Huang, T., Qian, Y., Wei, J., & Zhou, C. (2019). Polymeric antimicrobial food packaging and its applications. *Polymers*, 11(3), 560.
- Hosseinzadeh, S., Partovi, R., Talebi, F., & Babaei, A. (2020). Chitosan/TiO₂ nanoparticle/Cymbopogon citratus essential oil film as food packaging material: Physico-mechanical properties and its effects on microbial, chemical, and organoleptic quality of minced meat during refrigeration. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(7), e14536, 1–12.
- Hyldgaard, M., Mygind, T., & Meyer, R. L. (2012). Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Frontiers in microbiology*, 3, 12, 1–24.
- Jovanovic, G. D., Klaus, A. S., & Niksic, M. P. (2016). Antimicrobial Activity of Chitosan Films With Essential Oils Against *Listeria monocytogenes* on Cabbage. *Jundishapur J Microbiol*, 9(9), e34804.
- Lyn, F. H., & Hanani, Z. N. (2020). Effect of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) essential oil on the properties of chitosan films for

active packaging. *Journal of Packaging Technology and Research*, 4(1), 33-44.

- Morsy, N. F. S. (2017). Chemical structure, quality indices and bioactivity of essential oil constituents. *Act. Ingrid. Aromat. Med. Plants*, 175-206.
- Pan, J., Ai, F., Shao, P., Chen, H., & Gao, H. (2019). Development of polyvinyl alcohol/ β -cyclodextrin antimicrobial nanofibers for fresh mushroom packaging. *Food chemistry*, 300, 125249.
- Quesada, J., Sendra, E., Navarro, C., & Sayas-Barberá, E. (2016). Antimicrobial active packaging including chitosan films with *Thymus vulgaris* L. essential oil for ready-to-eat meat. *Foods*, 5(3), 57.
- Ju, J., Chen, X., Xie, Y., Yu, H., Guo, Y., Cheng, Y., Qian, H., & Yao, W. (2019). Application of essential oil as a sustained release preparation in food packaging. *Trends in Food Science and Technology*, 92, 22-32.
- Kalembe, D. A. A. K., & Kunicka, A. (2003). Antibacterial and antifungal properties of essential oils. *Current medicinal chemistry*, 10(10), 813-829.
- Kapetanakou, A. E., & Skandamis, P. N. (2016). Applications of active packaging for increasing microbial stability in foods : natural volatile antimicrobial compounds. *Current Opinion in Food Science*, 12, 1-12.
- Sani, I. K., Pirsá, S., & Tağı, Ş. (2019). Preparation of chitosan/zinc oxide/*Melissa officinalis* essential oil nano-composite film and evaluation of physical, mechanical and antimicrobial properties by response surface method. *Polymer Testing*, 79, 106004.
- Karimnezhad, F., Razavilar, V., Anvar, A. A., & Eskandari, S. (2017). Study the antimicrobial effects of chitosan-based edible film containing the *Trachyspermum ammi* essential oil on shelf-life of chicken meat. *Microbiology Research*, 8(2), 7226.
- Kasaai, M. R., & Moosavi, A. (2017). Treatment of Kraft paper with citrus wastes for food packaging applications: Water and oxygen barrier properties improvement. *Food Packaging and Shelf Life*, 12, 59-65.
- Kfoury, M., Auezova, L., Greige-Gerges, H., & Fourmentin, S. (2019). Encapsulation in cyclodextrins to widen the applications of essential oils. *Environmental Chemistry Letters*, 17(1), 129-143.
- Kuswandi, B., & Moradi, M. (2019). Improvement of food packaging based on functional nanomaterial. In *Nanotechnology:*

- applications in energy, drug and food* (pp. 309-344). Springer, Cham.
- Leja, K., Szudera-Kończal, K., Światała, E., Juzwa, W., Kowalczewski, P., & Czaczyk, K. (2019). The Influence of Selected Plant Essential Oils on Morphological and Physiological Characteristics in *Pseudomonas Orientalis*. *Foods*, 8(7), 277.
- López, P., Sánchez, C., Batlle, R., & Nerín, C. (2007). Development of flexible antimicrobial films using essential oils as active agents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(21), 8814–8824.
- Lu, M., Han, Z., & Yao, L. (2013). In vitro and in vivo antimicrobial efficacy of essential oils and individual compounds against *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae*. *Journal of Applied Microbiology*, 115(1), 187–198.
- Wiecznińska, J., Luca, A., Kidmose, U., Cavoski, I., & Edelenbos, M. (2016). The use of antimicrobial sachets in the packaging of organic wild rocket: Impact on microorganisms and sensory quality. *Postharvest Biology and Technology*, 121, 126-134.
- Macwan, S. R., Dabhi, B. K., Aparnathi, K. D., & Prajapati, J. B. (2016). Essential Oils of Herbs and Spices: Their Antimicrobial Activity and Application in Preservation of Food. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(5), 885–901.
- Maes, C., Bouquillon, S., & Fauconnier, M. L. (2019). Encapsulation of essential oils for the development of biosourced pesticides with controlled release: A review. *Molecules*, 24(14), 2539.
- Majeed, H., Bian, Y.-Y., Ali, B., Jamil, A., Majeed, U., Khan, Q. F., Iqbal, K. J., Shoemaker, C. F., & Fang, Z. (2015). Essential oil encapsulations: uses, procedures, and trends. *RSC Advances*, 5(72), 58449–58463.
- Majewska, E., Kozłowska, M., Gruczynska-Sekowska, E., Kowalska, D., & Tarnowska, K. (2019). Lemongrass (*Cymbopogon citratus*) essential oil: Extraction, composition, bioactivity and uses for food preservation -A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 69(4), 327–341.
- Majid, I., Nayik, G. A., Dar, S. M., & Nanda, V. (2018). Novel food packaging technologies : Innovations and future prospective. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(4), 454–462.
- Moghaddam, M., & Mehdizadeh, L. (2017). Chemistry of essential oils and factors influencing their constituents. In *Soft chemistry and food fermentation* (pp. 379-419). Academic Press.
- Moshe Dvir, I., Weizman, O., Lewitus, D., Weintraub, S., Ophir, A., & Dotan, A. (2019). Antimicrobial active packaging combining

- essential oils mixture: Migration and odor control study. *Polymers for Advanced Technologies*, 30(10), 2558–2566.
- Moshe, I., Weizman, O., Natan, M., Jacobi, G., Banin, E., Dotan, A., & Ophir, A. (2016). Multiphase thermoplastic hybrid for controlled release of antimicrobial essential oils in active packaging film. *Polymers for Advanced Technologies*, 27(11), 1476-1483.
- Khaneghah, A. M., Hashemi, S. M. B., & Limbo, S. (2018). Antimicrobial agents and packaging systems in antimicrobial active food packaging: An overview of approaches and interactions. *Food and Bioprocess Technology* 111, 1-19.
- Mulla, M., Ahmed, J., Al-Attar, H., Castro-Aguirre, E., Arfat, Y. A., & Auras, R. (2017). Antimicrobial efficacy of clove essential oil infused into chemically modified LLDPE film for chicken meat packaging. *Food Control*, 73, 663-671.
- Naeem, A., Abbas, T., Ali, T. M., & Hasnain, A. (2018). Essential oils: Brief background and Uses. *Annals of Short Reports*, 1(1), 1006.
- Noshirvani, N., Ghanbarzadeh, B., Gardrat, C., Rezaei, M. R., Hashemi, M., Le Coz, C., & Coma, V. (2017). Cinnamon and ginger essential oils to improve antifungal, physical and mechanical properties of chitosan-carboxymethyl cellulose films. *Food Hydrocolloids*, 70, 36-45.
- Ortega-Ramirez, L. A., Gutiérrez-Pacheco, M. M., Vargas-Arispuro, I., González-Aguilar, G. A., Martínez-Téllez, M. A., & Ayala-Zavala, J. F. (2020). Inhibition of glucosyltransferase activity and glucan production as an antibiofilm mechanism of lemongrass essential oil against *Escherichia coli* O157: H7. *Antibiotics*, 9(3), 102.
- Otoni, C. G., Espitia, P. J. P., Avena-bustillos, R. J., & Mchugh, T. H. (2016). Trends in antimicrobial food packaging systems: Emitting sachets and absorbent pads. *Food Research International*, 83, 60–73.
- Pan, J., Ai, F., Shao, P., Chen, H., & Gao, H. (2019). Development of polyvinyl alcohol/ β -cyclodextrin antimicrobial nanofibers for fresh mushroom packaging. *Food chemistry*, 300, 125249.
- Piaru, S. P., Mahmud, R., & Perumal, S. (2012). Determination of antibacterial activity of essential oil of *Myristica fragrans* Houtt. using tetrazolium microplate assay and its cytotoxic activity against vero cell line. *International Journal of Pharmacology*, 8(572), e6.
- Quesada, J., Sendra, E., Navarro, C., & Sayas-Barberá, E. (2016). Antimicrobial active packaging including chitosan films with *Thymus vulgaris* L. essential oil for ready-to-eat meat. *Foods*, 5,

57.

- Radusin, T. I. (2013). Actual and Future Trends in Antimicrobial Food Packaging. *Agro Food Industry HiTech*, 24, 44–48.
- Rao, J., Chen, B., & McClements, D. J. (2019). Improving the Efficacy of Essential Oils as Antimicrobials in Foods: Mechanisms of Action. *Annual Review of Food Science and Technology*, 10, 365–387.
- Realini, C. E., & Marcos, B. (2014). Active and intelligent packaging systems for a modern society. *Meat Science*, 98(3), 404–419.
- Reyes-Jurado, F., Franco-Vega, A., Ramírez-Corona, N., Palou, E., & López-Malo, A. (2015). Essential oils: antimicrobial activities, extraction methods, and their modeling. *Food Engineering Reviews*, 7(3), 275–297.
- Ribeiro-santos, R., & Andrade, M. (2017). Application of encapsulated essential oils as antimicrobial agents in food packaging. *Current Opinion in Food Science*, 14, 78–84.
- Ribeiro-santos, R., Andrade, M., Ramos, N., Melo, D., & Sanches-silva, A. (2017). Biological activities and major components determination in essential oils intended for a biodegradable food packaging. *Industrial Crops & Products*, 97, 201–210.
- Rodriguez, A., Batlle, R., & Nerin, C. (2007). The use of natural essential oils as antimicrobial solutions in paper packaging. Part II. *Progress in Organic Coatings*, 60(1), 33–38.
- Rozenblit, B., Tenenbaum, G., Shagan, A., Salkmon, E. C., Shabtay-Orbach, A., & Mizrahi, B. (2018). A new volatile antimicrobial agent-releasing patch for preserving fresh foods. *Food Packaging and Shelf Life*, 18, 184–190.
- Sachdeva, A., Vashist, S., Chopra, R., & Puri, D. (2017). Antimicrobial activity of active packaging film to prevent bread spoilage. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 2, 29–37.
- Saranraj, P., & Devi, D. (2018). Essential Oils and its Antibacterial Properties-A Review. *Life Science Archives (LSA) REVIEW*, 3, 848–853.
- Shaaban, H. A. (2020). Essential Oil as Antimicrobial Agents: Efficacy, Stability, and Safety Issues for Food Application. *Essential Oils- Bioactive Compounds, New Perspectives and Applications*, 1–33
- Sharafati-Chaleshtori, F., Taghizadeh, M., Rafieian-kopaei, M., & Sharafati-chaleshtori, R. (2016). Effect of chitosan incorporated with cumin and eucalyptus essential oils as antimicrobial agents on fresh chicken meat. *Journal of food processing and preservation*, 40(3), 396–404.
- Shojaee-Aliabadi, S., Hosseini, S. M., & Mirmoghtadaie, L. (2017). Antimicrobial Activity of Essential Oil. *Essential Oils in Food Processing: Chemistry, Safety and Applications*, 191–229.
- Siddiqua, S., Anusha, B. A., Ashwini, L. S., & Negi, P. S. (2015).

- Antibacterial activity of cinnamaldehyde and clove oil: effect on selected foodborne pathogens in model food systems and watermelon juice. *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), 5834–5841.
- Singh, R. B., Singh, V., Singh, K. R., & Ebibeni, N. (2011). Antimicrobial activity of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) oil against microbes of environmental, clinical and food origin. *International Research of Pharmacy and Pharmacology*, 1(9), 228–236.
- Singh, R., Shushni, M. A. M., & Belkheir, A. (2015). Antibacterial and antioxidant activities of *Mentha piperita* L. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(3), 322–328.
- Siroli, L., Patrignani, F., Gardini, F., & Lanciotti, R. (2015). Effects of sub-lethal concentrations of thyme and oregano essential oils , carvacrol , thymol , citral and trans -2-hexenal on membrane fatty acid composition and volatile molecule profile of *Listeria monocytogenes* , *Escherichia coli* and *Salmonella enteri*. *FOOD CHEMISTRY*, 182, 185–192.
- Soetjpto, H. (2018). Antibacterial Properties of Essential Oil in Some Indonesian Herbs. *Potential of Essential Oils*, 41, Intechopen.
- Surwade, S. A., & Chand, K. (2017). Antimicrobial food packaging : An overview. *European Journal of Biotechnology and Bioscience*, 5(5), 85–90.
- Swamy, M. K., Akhtar, M. S., & Sinniah, U. R. (2016). Antimicrobial Properties of Plant Essential Oils against Human Pathogens and Their Mode of Action : An Updated Review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2016.
- Tyagi, A. K., & Malik, A. (2010). Liquid and vapour-phase antifungal activities of selected essential oils against candida albicans: Microscopic observations and chemical characterization of cymbopogon citratus. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 10(1), 1-11.
- Tzortzakis, N. G., & Economakis, C. D. (2007). Antifungal activity of lemongrass (*Cympopogon citratus* L.) essential oil against key postharvest pathogens. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(2), 253-258.
- Vazirian, M., Kashani, S. T., Ardekani, M. R. S., Khanavi, M., Jamalifar, H., Fazeli, M. R., & Toosi, A. N. (2012). Antimicrobial activity of lemongrass (*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf.) essential oil against food-borne pathogens added to cream-filled cakes and pastries. *Journal of Essential Oil Research*, 24(6), 579–582.
- Vilela, C., Kurek, M., Hayouka, Z., Röcker, B., Yildirim, S., Dulce, M., Antunes, C., Nilsen-nygaard, J., Kvalvåg, M., & Freire, C. S. R.

- (2018). A concise guide to active agents for active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 212–222.
- Wei, L. S., & Wee, W. (2013). Chemical composition and antimicrobial activity of *Cymbopogon nardus* citronella essential oil against systemic bacteria of aquatic animals. *Iranian Journal of Microbiology*, 5(2), 147–152.
- Wicochea-rodríguez, J. D., Chalier, P., Ruiz, T., & Gastaldi, E. (2019). Active Food Packaging Based on Biopolymers and Aroma Compounds : How to Design and Control the Release. *Frontiers in Chemistry*, 7, 398.
- Wieczy, J., & Cavoski, I. (2018). Antimicrobial, antioxidant and sensory features of eugenol , carvacrol and trans -anethole in active packaging for organic ready-to-eat iceberg lettuce. *Food Chemistry*, 259, 251–260.
- Wińska, K., Mączka, W., Łyczko, J., Grabarczyk, M., Czubaszek, A., & Szumny, A. (2019). Essential oils as antimicrobial agents—myth or real alternative? *Molecules*, 24(11), 2130.
- Wyrwa, J., & Barska, A. (2017). Innovations in the food packaging market: active packaging. *European Food Research and Technology*, 243(10), 1681–1692.
- Yang, H. J., & Song K. B. (2016). Application of lemongrass oil-containing polylactic acid films to the packaging of pork sausages. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 36(3), 421–426.
- Yang, X., Zhang, X., Yang, S. P., & Liu, W. Q. (2013). Evaluation of the antibacterial activity of patchouli oil. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 12(3), 307–316.
- Yildirim, S., Röcker, B., Pettersen, M. K., Nilsen-Nygaard, J., Ayhan, Z., Rutkaite, R., Radusin, T., Suminska, P., Marcos, B., & Coma, V. (2018). Active Packaging Applications for Food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(1), 165–199.
- Yunilawati, R., Handayani, W., Cahyaningtyas, A. A., & Imawan, C. (2021a). Peppermint oil loaded on recycled paper as an antibacterial label for shrimp freshness. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 739, No. 1, p. 012065). IOP Publishing.
- Yunilawati, R., Rahmi, D., Handayani, W., & Imawan, C. (2021b). Komposisi Kimia, Aktivitas Antibakteri, dan Potensi untuk Kemasan Aktif dari Beberapa Minyak Atsiri Tanaman Rempah Indonesia. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 43(1), 12–21.
- Zanetti, M., Carniel, T. K., Dalcanton, F., dos Anjos, R. S., Riella, H. G., de Araújo, P. H. & Fiori, M. A. (2018). Use of encapsulated natural

- compounds as antimicrobial additives in food packaging: A brief review. *Trends in Food Science & Technology*, 81, 51-60.
- Zanetti, M., Ternus, Z., Dalcanton, F., De Mello, M. M. J., De Oliveira, D., Araujo, P. H. H. & Fiori, M. A. (2015). Microbiological characterization of pure geraniol and comparison with bactericidal activity of the cinnamic acid in gram-positive and gram-negative bacteria. *Journal of Microbial & Biochemical Technology*, 7(4), 186-193.
- Zhang, H., Jung, J., & Zhao, Y. (2017a). Preparation and characterization of cellulose nanocrystals films incorporated with essential oil loaded β -chitosan beads. *Food Hydrocolloids*, 69, 164-172.
- Zhang, J., Ye, K. P., Zhang, X., Pan, D. D., Sun, Y. Y., & Cao, J. X. (2017b). Antibacterial activity and mechanism of action of black pepper essential oil on meat-borne *Escherichia coli*. *Frontiers in microbiology*, 7, 2094.
- Zhang, Y., Liu, X., Wang, Y., Jiang, P., & Quek, S. Y. (2016). Antibacterial activity and mechanism of cinnamon essential oil against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Food Control*, 59, 282-289.