

5. KARAKTERISTIK MINYAK ATSIRI DAN OLEORESIN JAHE, PALA DAN LADA

5.1. Komponen Kimia pada Minyak Atsiri dan Oleoresin Jahe, Pala dan Lada

Minyak atsiri merupakan senyawa kompleks yang terdiri dari bermacam-macam susunan kimia alami tumbuhan. Rata-rata terkandung 80-400 senyawa kimia dalam minyak atsiri. Senyawa kimia tersebut merupakan hasil metabolisme sekunder dan disimpan dalam tanaman untuk proses biologis. Senyawa aromatik dari minyak atsiri terbentuk dari ikatan hidrokarbon yang bergabung membentuk struktur lingkaran. Oksigen, hidrogen, sulfur dan atom karbon lainnya bergabung pada titik rantai yang bermacam-macam untuk membuat senyawa aromatik yang berbeda. Struktur kimia minyak atsiri dibagi menjadi 2 kelompok utama yaitu *terpenoids* dan *phenylpropanoids*. *Terpenoids* sangat beragam, terlihat dari kerangka karbon yang berbeda dan berbagai macam *oxygenated derivatives* termasuk alkohol, ester, aldehyd, keton, eter, peroksida dan fenol. Berdasarkan jumlah *isoprene* dalam strukturnya, *terpenes* diklasifikasikan menjadi *hemiterpene* (1 unit), *monoterpenes* (2 unit), *sesquiterpenes* (3 unit), *diterpenes* (4 unit) dan seterusnya. *Terpenes* yang biasanya ditemukan dalam minyak atsiri adalah *monoterpenes* dan *sesquiterpenes* (Rath, 2007; Zuzarte & Salgueiro, 2015). *Phenylpropanoids* yang banyak ditemukan dalam minyak atsiri adalah fenol atau fenol eter. Identifikasi senyawa kimia dalam minyak atsiri dan oleoresin rempah bisa menggunakan metode kromatografi (Peter, 2012).

Tabel 4. Komponen Kimia pada Minyak Atsiri dan Oleoresin Jahe, Pala dan Lada

Bahan	Senyawa Utama	Referensi
Minyak atsiri dan oleoresin jahe	<i>Zingiberene</i> ; <i>AR-curcumene</i> ; <i>β-sesquiphellandrene</i> ; <i>bisabolene</i> ; <i>camphene</i> , <i>β-phellandrene</i> ; <i>1,8-cineole</i> ; <i>shagoal</i> ; <i>zingerone</i> ; <i>gingerol</i>	(Singh, Maurya, Catalan, & Lampasona, 2005; Vasala, 2012; Andrade, Barbosa, Probst, & Junior, 2014; deMan, Finley, Hurst, & Lee, 2018; Ashurst, 1991; Sasidharan & Menon, 2010; Jeena, Liju, & Kuttan, 2013; Bailey-Shaw, Williams, Junor, Gree, & Hibbert, 2008; El-Batory, El-Baky, Farag, & Saleh, 2010; Stoyanova, Konakchiev, Damyanova, Stoilova, & Suu, 2006)

Bahan	Senyawa Utama	Referensi
Minyak atsiri dan oleoresin pala	<i>Sabinene; α-pinene; β-pinene; myristicin; terpinen-4-Ol γ-terpinene; myrcene; limonene; 1,8-cineole; safrole; elemicin; eugenol</i>	(Ashurst, 1991; Gupta & Rajpurohit, 2011; Maya, Zachariah, & Krishnamoorthy, 2004; Pal, Srivastava, Soni, Kumar, & Tewari, 2011; I. P. S. Kapoor, Singh, Heluani, Lampasona, & Catalan, 2013; deMan, Finley, Hurst, & Lee, 2018; Cui, et al., 2014; Zachariah, et al., 2008; Kiarsi, Hojjati, Behbahani, & Noshad, 2020; Sipahelut, Patty, Patty, Kastanja, & Lekahena, 2019; Periasamy, Karim, Gibrelibanos, Gebremedhin, & Gilani, 2015; Piaru, Mahmud, Majid, Ismail, & Man, 2012)
Minyak atsiri dan oleoresin lada	<i>α, β-pinene; limonene; sabinene; myrcene; α-phellandrene; δ-3-carene, α, β-caryophyllene; piperine</i>	(Shahidi & Hossain, 2018; Brewer, 2011; Figueroa-Lopes, Anreade-Mahecha, & Torres-Vargas, 2018; Sasidharan & Menon, 2010; Andrade, Barbosa, Probst, & Junior, 2014; Nikolic, et al., 2017; Aziz, Naher, Abukawsar, & Roy, 2012; Andriana, Xuan, Quy, Tran, & Le, 2019; Jeena, Liju, & Kuttan, 2013; Jansz, Balachandran, Packiyasothy, & Ratnayake, 1984, I. P. S. Kapoor, Singh, Heluani, Lampasona, & Catalan, 2013; Morsy & El-Salam, 2017; Bakry, et al., 2016)

Senyawa fitokimia yang berperan dalam aroma jahe antara lain *ar-curcumene; β-bisabolene; β-sesquiphellandrene*. Sedangkan yang berperan dalam rasa pedas jahe adalah *gingerol, shagoal* dan *zingerone* (Vasala, 2012; Salzer & Furia, 1977; Dong, et al., 2020; Santos-Sanchez, Salas-Coronado, Valadez-Blanco, Hernandez-Carlos, & Guadarrama-Mendoza, 2017; Govindarajan & Connell, 1983). Karakteristik minyak atsiri jahe adalah memiliki kandungan *sesquiterpene* yang tinggi seperti *zingiberene, ar-curcumene, β-bisabolene*, dan *β-sesquiphellandrene* (Kubra & Rao, 2012). Minyak atsiri jahe hanya mengandung aroma jahe, sedangkan oleoresin jahe akan mengandung aroma dan rasa pedas dari jahe. Penelitian mengenai komposisi dan komponen kimia dalam jahe serta minyak atsiri dan oleoresin sudah banyak dilakukan dan didapatkan hasil yang sangat bervariasi. Variasi hasil dipengaruhi oleh varietas jahe, kondisi geografik, variasi tingkat kematangan, variasi prosedur dalam mendapatkan minyak atsiri dan variasi instrumen analisa (Bailey-Shaw, Williams, Junor, Gree, & Hibbert, 2008). Berdasarkan permintaan pasar, jahe lebih sering digunakan karena aromanya. Hal tersebut dikarenakan

rasa pedas dari jahe tergolong ringan, sehingga ketika konsumen membutuhkan rasa pedas maka akan mencari bahan lain seperti *capsicum* (Govindarajan & Connell, 1983).

Minyak atsiri pala mengandung 76.8% senyawa *monoterpenes* 12.1% senyawa *oxygenated monoterpenes*, 9.8% senyawa *phenylpropanoid ether*. Selain itu juga ada studi yang menyebutkan bahwa minyak atsiri pala terdiri dari *α-pinene*, *sabinene*, *α-terpinene*, *p-cymene*, *1,8-cineole*; *linalool*, *safrole*, *myristicin* dan *elemcin*. (Maya, Zachariah, & Krishnamoorthy, 2004; Asgarpanah & Kazemivash, 2012; Sipahelut, Patty, Patty, Kastanja, & Lekahena, 2019). Senyawa *monoterpenes* seperti *pinene* dan *sabinene* merupakan senyawa utama dalam pala, sedangkan senyawa aromatik eter yang utama adalah seperti *myristicin* dan *safrole* (Brewer, 2011; Peter, 2012). Perbedaan jenis pala yang akan diekstrak, metode yang digunakan, tingkat kematangan dan variasi instrumen analisa akan memberikan hasil yang bervariasi pula. Namun utamanya, pala digunakan untuk mendapatkan aromanya daripada rasanya.

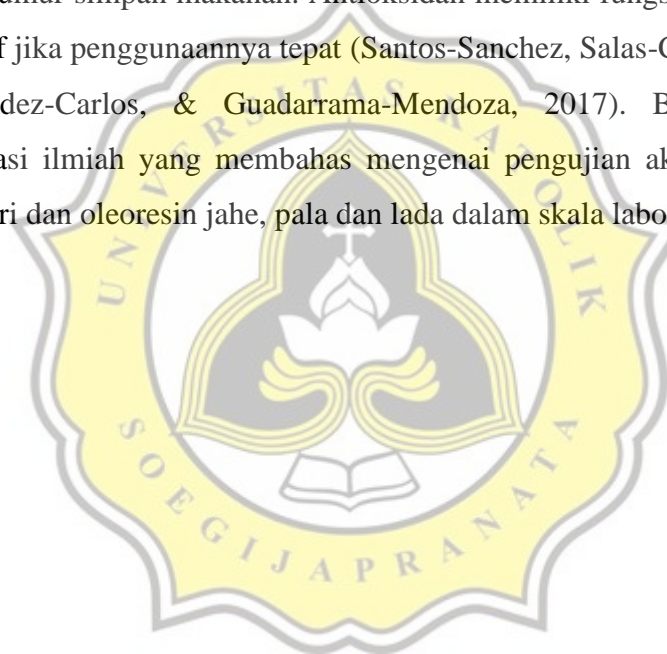
Kualitas rempah lada dipengaruhi oleh 2 faktor, yaitu kandungan *piperine* yang berperan dalam memberikan rasa pedas dan kandungan minyak atsiri yang berperan dalam memberikan aroma. Dalam industri rempah lada dapat diproses menjadi 3 produk yaitu oleoresin, *piperine* dan minyak atsiri. Oleoresin mengandung kedua komponen yaitu aroma dari minyak atsiri dan rasa pedas dari *piperine*. *Piperine* merupakan komponen utama yang berkontribusi pada rasa pedas lada, sedangkan komponen dalam minyak atsiri seluruhnya berkontribusi dalam aroma lada (Peter, 2012). Komposisi minyak atsiri lada terdiri dari campuran senyawa hidrokarbon antara lain senyawa *monoterpenes* (70-80%), *sesquiterpenes* (20-30%) dan sedikit senyawa *oxygenated* (4-5%) (Sankar, 1989; Pino, Rodriguez-Feo, Borgers, & Rosado, 1990). Rasio senyawa *monoterpenes* dan *sesquiterpenes* menunjukkan kualitas minyak lada hitam, dimana senyawa *monoterpenes* berperan dalam memberikan cita rasa utama dan keseluruhan, sedangkan senyawa *sesquiterpenes* memberikan sensasi pedas (Morsy & El-Salam, 2017; Jirovetz, Buchbauer, Ngassoum, & Giessler, 2002; deMan, Finley, Hurst, & Lee, 2018). Dalam perkembangan penelitian, salah satu komponen yang berperan dalam memberikan rasa pedas lada adalah *piperine* (United States Patent No. US 2011/0280995 A1, 2011; Schulz, Baranska, Quilitzsch, Schutze, & Losing, 2005; Morsy & El-Salam, 2017; Gorgani,

Mohammadi, Najafpour, & Nikazad, Piperine-The Bioactive Compound of Black Pepper: From Isolation to Medicinal Formulations, 2016). Berbagai publikasi ilmiah yang membahas mengenai komposisi dan komponen kimia dalam lada serta minyak atsiri dan oleoresin sudah sangat banyak dan beragam. Variasi komposisi dan komponen kimia dalam lada serta minyak atsiri dan oleoresin dipengaruhi oleh varietas lada, kondisi geografik, variasi tingkat kematangan, variasi prosedur dalam mendapatkan minyak atsiri serta oleoresin dan variasi instrumen analisa (Nair, 2020). Minyak atsiri lada yang diperoleh dari distilasi uap akan mengandung 70-80% *monoterpenes*, 20-30% *sesquiterpenes* dan 4% *oxygenated*, sedangkan minyak atsiri lada yang diperoleh dari distilasi vakum akan memiliki *monoterpenes* lebih sedikit dan lebih banyak kandungan *sesquiterpenes* dan *oxygenated*. Lada yang dipanen ketika belum matang, akan memiliki kandungan *piperine* lebih sedikit daripada lada yang sudah matang (Jansz, Balachandran, Packiyasothy, & Ratnayake, 1984; Nair, 2020).

5.2. Aktivitas Antioksidan Minyak Atsiri dan Oleoresin Jahe, Pala dan Lada

Antioksidan merupakan senyawa yang dapat menghambat atau memperlambat proses oksidasi, perubahan rasa, warna dan nilai nutrisi dalam pangan. Berdasarkan cara kerjanya, antioksidan dikelompokkan menjadi 5 antara lain: (1) *radical scavenging antioxidants* atau antioksidan yang memutus rantai penyebaran radikal dengan mendonorkan atom hidrogen; (2) *chelators*, antioksidan yang membentuk kompleks dengan metal untuk mencegah pembentukan radikal; (3) *extinguishers*, antioksidan yang dapat menonaktifkan oksidan berenergi tinggi; (4) *oxygen scavengers*, antioksidan yang mengeluarkan oksigen dari sistem dengan bereaksi bersama; dan (5) *regenerators of antioxidant*, menyusun kembali antioksidan yang sudah menjadi radikal dalam makanan. Laju pembusukan makanan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain, keberadaan antioksidan alami dalam makanan, keberadaan oksigen, senyawa toksik yang menyebabkan oksidasi, suhu, pH dan cahaya. Oksidasi dalam makanan dapat dihindari atau diperlambat menggunakan berbagai media dan cara, antara lain memperbaiki kualitas pengemasan seperti mengganti udara dalam kemasan dengan gas inert, menggunakan enzim yang dapat mengurangi kadar oksigen, memakai radiasi UV, memakai sistem pendinginan dan lain sebagainya. Namun tidak jarang media dan cara tersebut hanya bisa memperpanjang umur simpan pada beberapa jenis makanan saja

(Santos-Sanchez, Salas-Coronado, Valadez-Blanco, Hernandez-Carlos, & Guadarrama-Mendoza, 2017). Rempah-rempah memiliki senyawa bioaktif yang dapat menghambat oksidasi minyak dan lemak. Salah satu cara kerja antioksidan pada rempah adalah *free radical scavenger*. Keberadaan cincin aromatik dan kelompok substituen pada rempah mendukung stabilisasi struktur bahkan setelah mendonorkan atom hidrogen (Embuscado, 2015). Senyawa fenolik dalam minyak atsiri merupakan senyawa alami yang berperan dalam aktivitas antioksidan dan bermanfaat untuk kesehatan manusia (Santos-Sanchez, Salas-Coronado, Valadez-Blanco, Hernandez-Carlos, & Guadarrama-Mendoza, 2017; Raikos & Ranawana, 2019). Oleh karena itu kegunaan minyak atsiri adalah sebagai sumber antioksidan dari luar makanan untuk memperlambat laju oksidasi sehingga memperpanjang umur simpan makanan. Antioksidan memiliki fungsi yang spesifik dan akan lebih efektif jika penggunaannya tepat (Santos-Sanchez, Salas-Coronado, Valadez-Blanco, Hernandez-Carlos, & Guadarrama-Mendoza, 2017). Berikut merupakan beberapa publikasi ilmiah yang membahas mengenai pengujian aktivitas antioksidan pada minyak atsiri dan oleoresin jahe, pala dan lada dalam skala laboratorium.



Tabel 5. Pengujian Skala Laboratorium untuk Aktivitas Antioksidan pada Minyak Atsiri dan Oleoresin Jahe, Pala dan Lada

Rempah	Nama Ilmiah	Lokasi	Ekstraksi	Bentuk	Senyawa Antioksidan	Pengujian Antioksidan	Referensi
Jahe	<i>Zingiber officinale</i>	Faisalabad, Pakistan	Hidrodistilasi Ekstraksi pelarut	Minyak atsiri Oleoresin	<i>Camphene; p-cineole; Borneol; α-terpineol; zingiberene</i>	DPPH ;FRAP	(El-Ghorab, Nauman, Anjum, Hussain, & Nadeem, 2010)
	<i>Zingiber officinale</i>	Mesir	Hidrodistilasi	Minyak atsiri	<i>Sesquiphellandrene; Caryophyllene</i>	DPPH; Asam linoleat	(El-Batory, El-Baky, Farag, & Saleh, 2010)
	<i>Zingiber officinale Roscoe</i>	Bejaia, Algeria	Hidrodistilasi Ekstraksi pelarut	Minyak atsiri Oleoresin	<i>Eugenol; Shogaols; Zingerone; Gingerdiols; Gingerols</i>	ABTS	(Bellik, 2014)
	<i>Zingiber officinale Roscoe</i>	Angmaly, India	Distilasi uap	Minyak atsiri	<i>Zingiberene; Camphene; β-sesquiphellandrene; β-bisabolene; Limonene, 1,8-cineole; α-terpineol; Linalool</i>	<i>Superoxide radical scavenging; ABTS; DPPH; FRAP; oksidasi lipid</i>	(Jeena, Liju, & Kuttan, 2013)
	<i>Zingiber officinale Roscoe</i>	Wallerstein, Jerman	-	Minyak atsiri	<i>Zingiberene; Camphene; Sesquiphellandrene; Bisabolene; Limonene; Terpinolene; γ-terpinene</i>	DPPH; ABTS, <i>Hydroxyl radical scavenging; FRAP; oxygen radical; Asam linoleat; Oksidasi lipid</i>	(Hoferl, et al., 2015)

Rempah	Nama Ilmiah	Lokasi	Ekstraksi	Bentuk	Senyawa Antioksidan	Pengujian Antioksidan	Referensi
Jahe	<i>Zingiber officinale Roscoe</i>	Gorakhpur, India	Hidrodistilasi Ekstraksi pelarut	Minyak atsiri Oleoresin	<i>Eugenol; Shogaols; Zingerone; Gingerdiols; Gingerols; Diacetoxy-[6]-gingerdiol</i>	Bilangan peroksida dan nilai TBA pada minyak mustard; DPPH; Asam linoleat	(Singh G. , et al., 2008)
Pala	<i>Myristica fragrans</i>	Penang, Malaysia	Hidrodistilasi	Minyak atsiri	<i>Sabinene; Terpinene,-4-ol; Safrole; α-pinene; β-phellandren;, γ-terpinene; β-pinene; α-terpinene; Terpinolene; α-thujene; Methyl eugenol</i>	Asam linoleat; FRAP	(Piaru S. P., Mahmud, Majid, Ismail, & Man, 2012)
	<i>Myristica fragrans</i>	Penang, Malaysia Garut, Indonesia Aceh, Indonesia Mashhad, Iran	Hidrodistilasi	Minyak atsiri	Cincin aromatik	DPPH	(Piaru S. P., Mahmud, Majid, Ismail, & Man, 2011; Diki P, Febriani, Riasari, & Aulifa, 2018; Ginting, et al., 2018; Al-Awwadi, 2017)
	<i>Myristica fragrans</i>	Gorakhpur, India	Hidrodistilasi Ekstraksi pelarut	Minyak atsiri Oleoresin	<i>Myristicin; Safrole</i>	Bilangan peroksida pada minyak mustard; DPPH: FRAP	(I. P. S. Kapoor, Singh, Heluani, Lampasona, & Catalan, 2013)

Rempah	Nama Ilmiah	Lokasi	Ekstraksi	Bentuk	Senyawa Antioksidan	Pengujian Antioksidan	Referensi
Pala	<i>Myristica fragrans</i>	Austria	Hidrodistilasi	Minyak atsiri	<i>Myristicin; Safrole</i>	FRAP; DPPH	(Jukic, Politeo, & Milos, 2006)
	<i>Myristica fragrans</i>	India	Ekstraksi-distilasi	Minyak atsiri	<i>Elemicin; 4-terpineol; Myristicin; Transsabinene hydrate</i>	DPPH; Asam linoleat; <i>Hydroxyl radical scavenging</i>	(Andiani, Gupta, Chatterjee, Variyar, & Sharma, 2015)
Lada	<i>Piper nigrum L.</i>	Gorakhpur, India	Hidrodistilasi	Minyak atsiri Oleoresin	<i>β-caryophyllene; Sabinene; β-bisabolene; Limonene; α-pinene; Piperine</i>	Asam linoleat; DPPH; FRAP	(Singh S. , et al., 2013)
	<i>Piper nigrum L.</i>	Malaysia	<i>Microwave extraction</i>	Oleoresin	Cincin aromatik; <i>piperine</i>	DPPH; ABTS	(Olalere, et al., 2018)
	<i>Piper nigrum L.</i>	Gorakhpur, India	Hidrodistilasi	Minyak atsiri Oleoresin	<i>Terpenes</i>	Bilangan peroksida; DPPH; FRAP	(Kapoor I. , et al., 2009)
	<i>Piper nigrum L.</i>	Gorakhpur, India	Hidrodistilasi	Minyak atsiri	<i>α-pinene; β-pinene; Camphene; Camphor</i>	Bilangan peroksida; Asam linoleat	(Singh G. , Marimuthu, Catalan, & Lampasona, 2004)

Minyak atsiri dan oleoresin jahe diuji aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH dan FRAP. Pada pengujian DPPH menunjukkan, minyak atsiri jahe segar memiliki aktivitas antioksidan yang lebih rendah daripada minyak atsiri jahe kering. Sedangkan pada oleoresin jahe segar yang diekstrak dengan metanol dan heksana memiliki aktivitas antioksidan yang lebih tinggi daripada oleoresin jahe kering. Pada pengujian FRAP menunjukkan, aktivitas antioksidan minyak atsiri dan oleoresin jahe tergantung pada dosis yang digunakan. Aktivitas antioksidan minyak atsiri jahe segar dan minyak atsiri jahe kering tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Sedangkan oleoresin jahe yang diekstrak menggunakan metanol memiliki aktivitas antioksidan yang lebih tinggi daripada oleoresin jahe yang diekstrak dengan heksan. Aktivitas antioksidan dipengaruhi oleh kandungan senyawa *camphene*, *p-cineole*, *borneol*, β -*terpineol* dan *zingiberene* (El-Ghorab, Nauman, Anjum, Hussain, & Nadeem, 2010). Pada publikasi lain, minyak atsiri jahe ditemukan memiliki kemampuan untuk menghambat penghilangan warna β -*carotene* karena menghambat asam linoleat yang ditambahkan. Namun aktivitas antioksidan minyak atsiri jahe pada publikasi ini paling rendah jika dibandingkan dengan minyak atsiri kayu manis dan berbagai antioksidan sintetik (Singh G. , et al., 2008). Aktivitas antioksidan dipengaruhi oleh senyawa *sesquiphellandrene* (25.16%) dan *caryophyllene* (15.29%), dimana memiliki efek sinergis dengan satu atau lebih senyawa (El-Batory, El-Baky, Farag, & Saleh, 2010). Pengujian aktivitas antioksidan pada minyak atsiri dan oleoresin jahe kering menggunakan metode ABTS, menunjukkan dapat menghilangkan radikal 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzenthiazoline-6-sulphonic) seiring meningkatnya konsentrasi minyak atsiri dan oleoresin jahe. Namun penghambatan jauh lebih efektif pada oleoresin jahe. Aktivitas antioksidan disebabkan oleh senyawa fenol seperti *eugenol*, *shogaols*, *zingerone*, *gingerdiols*, *gingerols* (Bellik, 2014). Pada publikasi lain dijelaskan bahwa minyak atsiri jahe memiliki aktivitas antioksidan pada pengujian *superoxide radical scavenging*, *hydroxyl radical scavenging* dan oksidasi lipid. Pada pengujian FRAP, DPPH dan ABTS, minyak atsiri jahe menunjukkan aktivitas antioksidan sedang. Potensi antioksidan dalam minyak atsiri jahe karena senyawa dari kelompok fenol (Jeena, Liju, & Kuttan, 2013). Minyak atsiri jahe asal Jerman juga menunjukkan aktivitas antioksidan pada pengujian dengan DPPH, ABTS, *hydroxyl radical scavenging* dan *oxygen scavenging*, karena adanya senyawa *zingiberene* (17.4%), *camphene* (7.8%), β -*sesquiphellandrene* (6.7%), β -*bisabolene* (5.8%), *limonene* (1.3%),

1,8-cineole (3.6%), *α-terpineol* (0.5%), dan *linalool* (0.5%). Pada pengujian dengan asam linoleat dan oksidasi lipid, minyak atsiri jahe menunjukkan adanya penghambatan proses oksidasi lemak, karena adanya senyawa *zingiberene*, *camphene*, *sesquiphellandrene*, *bisabolene*, *limonene*, *terpinolene* and *γ-terpinene* (Hoferl, et al., 2015). Minyak atsiri dan oleoresin jahe asal India dihitung bilangan peroksida, bilangan TBA dan *anisidine value*. Hasil menunjukkan adanya penghambatan proses oksidasi lipid pada sampel minyak mustard. Pada pengujian DPPH, minyak atsiri dan oleoresin jahe menunjukkan pencegahan radikal bebas. Senyawa fenol yaitu *eugenol*, *shogaols*, *zingerone*, *gingerdiols* dan *gingerols* pada minyak atsiri dan oleoresin jahe yang bertanggung jawab terhadap aktivitas antioksidan (Singh G. , et al., 2008).

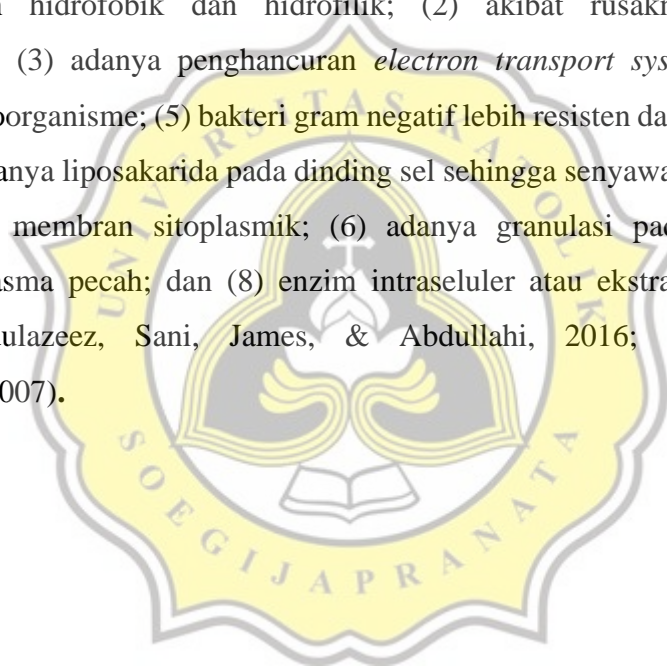
Minyak atsiri pala asal India menunjukkan adanya penghambatan oksidasi asam linoleat hingga $88.68 \pm 0.1\%$. Pada pengujian FRAP juga menunjukkan hal serupa, minyak atsiri pala memiliki aktivitas antioksidan yang kuat. Antioksidan pada minyak atsiri pala dapat menetralkan asam linoleat sebagai radikal bebas mereduksi warna *β-carotene*. Senyawa yang bertanggung jawab pada pengujian oksidasi asam linoleat adalah *sabinene*, *terpinene*, *-4-ol*, *safrole*, *α-pinene*, *β-phellandrene*, *γ-terpinene*, *β-pinene*, *α-terpinene*, *terpinolene* dan *α-thujene*. Sedangkan pada pengujian FRAP, senyawa yang berperan dalam aktivitas antioksidan adalah *methyl eugenol* (Piaru S. P., Mahmud, Majid, Ismail, & Man, 2012). Pada pengujian DPPH minyak atsiri pala asal Malaysia, Garut, Aceh, Iran juga menunjukkan penghambatan radikal bebas dengan mendonasikan atom hidrogen (Piaru S. P., Mahmud, Majid, Ismail, & Man, 2011; Diki P, Febriani, Riasari, & Aulifa, 2018; Ginting, et al., 2018; Kiarsi, Hojjati, Behbahani, & Noshad, 2020). Pada pengujian bilangan peroksida di minyak mustard, minyak atsiri pala menunjukkan aktivitas antioksidan tertinggi, lalu diikuti oleh oleoresin etanol, oleoresin isopropil alkohol dan oleoresin asam asetat. Sedangkan pada pengujian asam linoleat, minyak atsiri pala menunjukkan aktivitas antioksidan tertinggi lalu diikuti oleh oleoresin etanol. Pada pengujian DPPH dan FRAP, minyak atsiri dan oleoresin pala menunjukkan penghambatan radikal bebas serta mereduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} (I. P. S. Kapoor, Singh, Heluani, Lampasona, & Catalan, 2013; Jukic, Politeo, & Milos, 2006). Penyebab aktivitas antioksidan karena kelompok fenol yaitu *myristicin* dan *safrole* (Jukic, Politeo, & Milos, 2006). Pada publikasi lain, dilakukan pengujian DPPH pada minyak atsiri pala dan

menunjukkan adanya aktivitas antioksidan dengan mendonorkan atom hidrogen ke DPPH. Pada pengujian asam linoleat, minyak atsiri pala ditemukan memiliki kemampuan untuk menghambat penghilangan warna β -carotene. Minyak atsiri pala juga menunjukkan adanya aktivitas antioksidan pada pengujian *hydroxyl radical scavenging* (Andiani, Gupta, Chatterjee, Variyar, & Sharma, 2015).

Minyak atsiri dan oleoresin lada asal India menunjukkan aktivitas penghambatan oksidasi lemak pada pengujian bilangan peroksida minyak mustard. Pada pengujian DPPH, minyak atsiri dan oleoresin lada juga menunjukkan aktivitas antioksidan yang kuat jika dibandingkan dengan antioksidan sintetik. Selain itu minyak atsiri dan oleoresin lada mampu menghambat radikal bebas serta mereduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} pada uji FRAP. Senyawa kimia yang berperan dalam aktivitas antioksidan rempah lada adalah kelompok *terpenes* (Kapoor I. , et al., 2009). Dengan pengujian yang sama, pengujian pada publikasi lain juga menemukan aktivitas antioksidan karena adanya senyawa α -pinene, β -pinene, *camphene* dan *camphor* (Singh G. , Marimuthu, Catalan, & Lampasona, 2004). Pengujian DPPH pada minyak atsiri dan oleoresin lada putih, menunjukkan jika aktivitas antioksidan terkuat dimiliki oleh minyak atsiri dibandingkan oleoresinnya. Minyak atsiri dan oleoresin lada putih juga menunjukkan adanya penghambatan oksidasi asam linoleat, namun persen penghambatannya lebih rendah daripada antioksidan sintetik BHT dan BHA. Sedangkan pada uji FRAP, aktivitas antioksidan minyak atsiri dan oleoresin lada tergantung pada konsentrasi yang digunakan. Senyawa yang berperan pada aktivitas antioksidan rempah lada adalah *sesquiterpenes*, *monoterpenes* dan *piperine*. (Singh S. , et al., 2013). Pengujian DPPH dan ABTS oleoresin lada hitam dan lada putih menunjukkan bahwa lada putih memiliki aktivitas antioksidan yang lebih tinggi. Cincin aromatik dan *piperine* diduga menjadi senyawa yang berperan dalam aktivitas antioksidan (Olalere, et al., 2018).

5.3. Aktivitas Antimikroba Minyak Atsiri dan Oleoresin Jahe, Pala dan Lada

Aktivitas antimikroba minyak atsiri rempah tidak dapat diandalkan sepenuhnya dalam pengawetan makanan karena harus ditambahkan dalam jumlah yang cukup untuk memperlambat pertumbuhan mikroorganisme. Jika minyak atsiri yang ditambahkan terlalu sedikit, mungkin akan mempertahankan sifat organoleptik bahan, namun jumlahnya tidak cukup untuk menjadi antimikroba (Abdulazeez, Sani, James, & Abdullahi, 2016). Banyak studi telah dilakukan dengan memberikan hasil yang sangat bervariasi. Mekanisme penghambatan aktivitas antimikroba rempah serta minyak atsiri dan oleoresin masih dipelajari. Beberapa hipotesis yang menyatakan kemungkinan mekanisme aktivitas antimikroba rempah antara lain: (1) akibat adanya senyawa fenolik memiliki ikatan hidrofobik dan hidrofilik; (2) akibat rusaknya membran sel mikroorganisme; (3) adanya penghancuran *electron transport system*; (4) pecahnya dinding sel mikroorganisme; (5) bakteri gram negatif lebih resisten daripada bakteri gram positif karena adanya liposakarida pada dinding sel sehingga senyawa aktif rempah tidak dapat mencapai membran sitoplasmik; (6) adanya granulasi pada sitoplasma; (7) membran sitoplasma pecah; dan (8) enzim intraseluler atau ekstraseluler mengalami inaktivasi (Abdulazeez, Sani, James, & Abdullahi, 2016; Chattopadhyay & Bhattacharyya, 2007).



Tabel 6. Pengujian Skala Laboratorium untuk Aktivitas Antioksidan pada Minyak Atsiri dan Oleoresin Jahe, Pala dan Lada

Rempah	Bentuk	Organisme/Mikroorganisme Terhambat	Organisme/Mikroorganisme Tidak Terhambat	Referensi
Jahe	Minyak atsiri	<i>Penicillium sp.</i> ; <i>Aspergillus niger</i> , <i>Botrytis cinerea</i> ; <i>Rhizopus nigricans</i>	-	(Stoyanova, Konakchiev, Damyanova, Stoilova, & Suu, 2006)
	Minyak atsiri	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ; <i>Staphylococcus aureus</i> ; <i>Listeria</i> <i>monocytogenes</i>	<i>Escherichia coli</i> ; <i>Salmonella</i> <i>typhimurium</i> ; <i>Shigella flexneri</i>	(Mesomo, et al., 2013)
	Minyak atsiri	<i>Aspergillus sp.</i> ; <i>Fusarium moniliforme</i> ; <i>P. aeruginosa</i> , <i>S. aureus</i> ; <i>E. coli</i>	-	(Singh G. , et al., 2008)
	Minyak atsiri	<i>Aspergillus</i> ; <i>S. aureus</i> , <i>Bacillus subtilis</i> ; <i>Klebsiella pneumoniae</i>	-	(El-Batory, El-Baky, Farag, & Saleh, 2010)
	Minyak atsiri	<i>Staphylococcus aureus</i>	-	(Alexandre, Lourenco, Bittante, Moraes, & Sobral, 2016)
	Minyak atsiri	<i>E. coli</i> ; <i>B. subtilis</i> ; <i>S. aureus</i> ; <i>C.</i> <i>albicans</i> ; <i>Penicillium spp</i>	-	(Bellik, 2014)
	Oleoresin	<i>Bacillus subtilis</i> ; <i>Pseudomonas</i> <i>aeruginosa</i> ; <i>Aspergillus niger</i> ; <i>A.</i> <i>fumigatus</i> ; <i>Pencillium spp.</i> ; <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ; <i>Fusarium</i> <i>moniliforme</i>	-	(Sessou, Farougou, & Sohounhloue, 2012)
	Minyak atsiri	<i>Aspergillus niger</i> ; <i>Candida</i> ; <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	-	(Sasidharan & Menon, 2010)

Rempah	Bentuk	Organisme/Mikroorganisme Terhambat	Organisme/Mikroorganisme Tidak Terhambat	Referensi
Pala	Minyak atsiri	<i>S. Aureus</i> ; <i>E. coli</i> <i>Aspergillus sp.</i> ; <i>Fusarium sp.</i>	-	(Figuroa-Lopes, Anreade-Mahecha, & Torres-Vargas, 2018; Sipahelut, Patty, Patty, Kastanja, & Lekahena, 2019)
	Minyak atsiri	<i>S. typhimurium</i>	-	(Kiarsi, Hojjati, Behbahani, & Noshad, 2020)
	Minyak atsiri	<i>B. subtilis</i> ; <i>C. albicans</i> ; <i>P. aeruginosa</i> ; <i>S. typhimurium</i>	<i>L. monocytogenes</i> ; <i>Psudomonas fluorescens</i> ; <i>S. epidermidis</i> ; <i>S. aureus</i>	(Ozkan, et al., 2018)
	Minyak atsiri	<i>L. monocytogenes</i>	-	(Firouzi, Shekarforoush, Nazer, Borumand, & Jooyandeh, 2007)
	Minyak atsiri	<i>S. aureus</i> ; <i>S epidermis</i> ; <i>S. dysenteriae</i> ; <i>S. typhi</i>	-	(Nurjanah, Putri, & Sugiarti, 2017)
	Minyak atsiri	<i>E. coli</i> ; <i>S. Aureus</i>	-	(Cui, et al., 2015)
	Minyak atsiri	<i>B. subtilis</i> ; <i>S. aureus</i> ; <i>Pseudomonas putida</i> ; <i>P. aeruginosa</i> ; <i>Aspegillus fumigatus</i> ; <i>A. niger</i> ; <i>A. flavus</i>	-	(Gupta, Bansal, Babu, & Maithil, 2013)
	Minyak atsiri	<i>Aspergillus flavus</i> ; <i>Aspergillus ochraceus</i>	-	(Valente, Jham, Dhingra, & Ghiviriga, 2011)
	Minyak atsiri	<i>Botrytis cinerea</i> ; <i>S. Aureus</i> ; <i>Penicillium frequentance</i> ; <i>Sarcina lutea</i> ; <i>A. niger</i> ; <i>B. subtilis</i>	<i>P. aeruginosa</i> ; <i>C. albicans</i>	(Pal, Srivastava, Soni, Kumar, & Tewari, 2011)

Rempah	Bentuk	Organisme/Mikroorganisme Terhambat	Organisme/Mikroorganisme Tidak Terhambat	Referensi
Lada	Minyak atsiri	<i>B. subtilis</i> ; <i>P. aeruginosa</i> ; <i>C. albicans</i> ; <i>Trichoderma sp.</i> ; <i>A. niger</i> ; <i>Pencillium sp.</i> ; <i>S. cerevisiae</i>	-	(Sasidharan & Menon, Comparative Chemical Composition and Antimicrobial Activity of Berry and Leaf Essential Oils of <i>Piper nigrum</i> L., 2010)
	Minyak atsiri	-	<i>Fusarium oxysporum</i> ; <i>Aspergillus niger</i>	(Castellanos, et al., 2020)
	Oleoresin	<i>Trichothecium roseum</i> ; <i>Fusarium graminearum</i> ; <i>Aspergillus flavus</i> ; <i>Curvularia palliscens</i> ; <i>Fusarium oxysporum</i> ; <i>Fusarium monoliforme</i> ; <i>Curvularia palliscens</i>	<i>Aspergillus niger</i> ; <i>Aspergillus terrus</i>	(Singh, Maurya, Catalan, & Lampasona, 2005)
	Minyak atsiri	<i>Fusarium graminearum</i> ; <i>A. niger</i> ; <i>A. oryzae</i> ; <i>P. viridicatum</i> ; <i>P. madrit</i>	-	(Singh G. , Marimuthu, Catalan, & Lampasona, 2004)
	Minyak atsiri Oleoresin	<i>S. aureus</i> ; <i>Enterococcus faecalis</i> ; <i>C. albicans</i> ; <i>S. aureus</i> ; <i>B. Subtilis</i> ; <i>E. coli</i>	<i>P. aeruginosa</i> ; <i>A. flavus</i>	(Morsy & El-Salam, 2017)
	Minyak atsiri	<i>P. viridicatum</i> ; <i>F. Graminearum</i> ; <i>B. Subtilis</i> ; <i>S. aureus</i>	-	(Singh S. , et al., 2013)
	Minyak atsiri	<i>P. viridicatum</i> ; <i>A. Flavus</i> ; <i>Bacillus cereus</i>	<i>P. aeruginosa</i>	(Singh G. , Marimuthu, Heluani, & Catalan, 2007)

Minyak atsiri jahe dari Vietnam yang diperoleh melalui hasil distilasi air, dilaporkan memiliki aktivitas antimikroba yang lemah terhadap bakteri gram positif dan negatif. Minyak atsiri jahe memiliki efek yang kuat terhadap fungi *Penicillium sp.*, dan diikuti oleh *Aspergillus niger*, *Botrytis cinerea* dan *Rhizopus nigricans* (Stoyanova, Konakchiev, Damyanova, Stoilova, & Suu, 2006). Pada publikasi lain ditemukan minyak atsiri jahe asal Brazil yang diperoleh dari hidrodistilasi, memiliki efek negatif terhadap penghambatan bakteri gram negatif yaitu *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* dan *Shigella flexneri*. Namun minyak atsiri jahe memiliki sedikit efek penghambatan pada *Pseudomonas aeruginosa* (bakteri gram negatif) serta *Staphylococcus aureus* dan *Listeria monocytogenes* yang merupakan bakteri gram positif. Pada pengujian ini, minyak atsiri jahe tidak menunjukkan adanya penghambatan pada bakteri *E. coli* (Mesomo, et al., 2013). Pada minyak atsiri jahe asal India yang diperoleh dari hasil hidrodistilasi, memiliki efek positif terhadap penghambatan pada fungi *Aspergillus sp.*, dan *Fusarium moniliforme* serta bakteri *P. aeruginosa*, *S. aureus* dan *E. coli* (Singh G. , et al., 2008). Efek antimikroba pada minyak atsiri jahe juga dilaporkan memiliki efek penghambatan yang baik terhadap spesies *Aspergillus* dan pada bakteri *S. aureus*, *Bacillus subtilis* dan *Klebsiella pneumoniae* (El-Batory, El-Baky, Farag, & Saleh, 2010). Hal serupa juga dilaporkan pada publikasi lain, dimana minyak atsiri dan oleoresin jahe menghambat pertumbuhan *E. coli*, *B. subtilis*, *S. aureus*, *Candida albicans*, *Penicillium sp.*, *P. aeruginosa*, *Aspergillus sp.*, *Saccharomyces cerevisiae* dan *F. moniliforme* (Alexandre, Lourenco, Bittante, Moraes, & Sobral, 2016; Bellik, 2014; Sessou, Farougou, & Sohounhloue, 2012). Minyak atsiri dari jahe segar menghambat pertumbuhan *A. niger*, *Candida* dan *P. aeruginosa*, sedangkan minyak atsiri dari jahe kering hanya menghambat *Candida* dan *P. aeruginosa* (Sasidharan & Menon, 2010).

Minyak atsiri pala dilaporkan memiliki efek penghambatan terhadap *Botrytis cinerea*, *S. aureus*, *Penicillium frequentance*, *Sarcina lutea*, *A. niger* dan *B. subtilis*. Namun minyak atsiri pala ditemukan tidak menghambat *P. aeruginosa* dan *C. albicans* (Pal, Srivastava, Soni, Kumar, & Tewari, 2011). Minyak atsiri pala juga dilaporkan memiliki efek penghambatan pada *Aspergillus flavus* dan *Aspergillus ochraceus* (Valente, Jham, Dhingra, & Ghiviriga, 2011). Selain itu minyak atsiri pala juga dilaporkan memiliki aktivitas penghambatan pada bakteri gram positif (*B. subtilis* dan *S. aureus*), bakteri gram negatif (*Pseudomonas putida* dan *P. aeruginosa*) dan jamur patogen (*Aspergillus fumigatus*, *A. niger* dan *A. flavus*) (Gupta, Bansal, Babu, & Maithil, 2013). Pada

percobaan aktivitas antimikroba pada daging sapi, minyak atsiri pala menghambat pertumbuhan bakteri *E. coli* dan *S. aureus* (Cui, et al., 2015). Pada publikasi lain disebutkan minyak atsiri pala dari Jawa Tengah dan Sulawesi menghambat pertumbuhan *S. aureus*, *Staphylococcus epidermis*, *Shigella dysenteriae*, *S. typhi* dan *L. monocytogenes* (Firouzi, Shekarforoush, Nazer, Borumand, & Jooyandeh, 2007; Nurjanah, Putri, & Sugiarti, 2017). Namun hal sebaliknya ditemukan pada publikasi lain dimana minyak atsiri pala asal Turki memiliki efek negatif terhadap pertumbuhan *L. monocytogenes*, *Pseudomonas fluorescens*, *S. epidermidis* dan *S. aureus*. Minyak atsiri pala memiliki efek positif terhadap *B. subtilis*, *C. albicans*, *P. aeruginosa* dan *S. typhimurium* (Ozkan, et al., 2018). Namun hal sebaliknya ditemukan pada penelitian lain, bahwa minyak atsiri pala memiliki efek penghambatan tidak terlalu baik terhadap *S. typhimurium* dan *P. aeruginosa* (Kiarsi, Hojjati, Behbahani, & Noshad, 2020). Pada publikasi lain menyebutkan minyak atsiri pala memiliki efek positif terhadap bakteri gram negatif yaitu *S. Aureus* dan *E. coli*. Namun minyak atsiri pala memiliki efek antimikroba rendah terhadap *Aspergillus sp.*, dan *Fusarium sp.* (Sipahelut, Patty, Patty, Kastanja, & Lekahena, 2019; Figueroa-Lopes, Anreade-Mahecha, & Torres-Vargas, 2018).

Minyak atsiri lada dari buah segar; kering dan daunnya dilaporkan memiliki penghambatan pada *B. subtilis*, *P. aeruginosa*, *C. albicans*, *Trichoderma sp.*, *A. niger*, *Penicillium sp.*, dan *S. cerevisiae* (Sasidharan & Menon, 2010). Akan tetapi dipublikasi lain menyebutkan bahwa minyak atsiri lada tidak memiliki penghambatan pada *Fusarium oxysporum* dan *A. niger* (Castellanos, et al., 2020; Singh, Maurya, Catalan, & Lampasona, 2005). Minyak atsiri lada dari biji memiliki aktivitas penghambatan pada *Fusarium graminearum*, *A. niger*, *A. oryzae*, *P. viridicatum* dan *P. madriti* (Singh G. , Marimuthu, Catalan, & Lampasona, 2004). Dilaporkan juga minyak atsiri lada memiliki aktivitas penghambatan pada *S. aureus* dan *Enterococcus faecalis* yang merupakan bakteri gram positif . Pada publikasi lain disebutkan minyak atsiri dan oleoresin lada memiliki aktivitas penghambatan pada *C. albicans*; *S. aureus*; *B. subtilis* dan *E. coli*. Namun minyak atsiri dan oleoresin lada tidak menghambat *P. aeruginosa* dan *A. flavus* (Morsy & El-Salam, 2017). Minyak atsiri lada putih memiliki aktivitas penghambatan pada *P. viridicatum* dan *F. graminearum*. Selain itu minyak atsiri lada putih juga menghambat pertumbuhan bakteri gram positif seperti *B. subtilis* dan *S. aureus* (Singh S. , et al., 2013). Minyak atsiri lada menghambat

pertumbuhan *P. viridicatum*, *A. flavus* dan *Bacillus cereus* akan tetapi tidak menghambat *P. aeruginosa* (Singh G. , Marimuthu, Heluani, & Catalan, 2007).

