

Pemanfaatan Ekstrak Alami dalam Pengelolaan Penyakit Pasca Panen pada Buah dan Sayur: Review

Utilization of Natural Extract in Post-Harvest Disease Management of Fruits and Vegetables: A Review

Lia Angraeni

Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Teuku Umar
Jln. Alue Peunyareng, Ujong Tanoh Darat, Meurebo, Aceh Barat 23681, Indonesia
Email: liaangraeni:utu.ac.id

ABSTRAK

Beberapa studi melaporkan keberhasilan penggunaan ekstrak alami dalam pengendalian penyakit pasca panen. Ekstrak tanaman seperti ekstrak biji *Chinese quince*, ekstrak biji *Jatropha curcas*, ekstrak kulit delima serta minyak esensial seperti minyak oregano, minyak kayu manis dan minyak cengkih diketahui mampu menekan perkembangan beberapa penyakit pasca panen pada buah dan sayur. Selama bertahun-tahun pestisida sintetis digunakan untuk mengendalikan penyakit pasca panen. Meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap kesehatan dan efek kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh penggunaan pestisida sintetis memicu dikembangkannya metode alternatif pengendalian penyakit pasca panen yang aman dan ramah lingkungan. Ekstrak tanaman merupakan senyawa alami yang potensial untuk digunakan sebagai alternatif pengganti fungisida sintetis. Penulisan artikel ini bertujuan untuk menguraikan potensi ekstrak alami dalam pengendalian penyakit pasca panen pada buah dan sayuran.

Kata kunci: Buah dan sayur; Ekstrak alami; Penyakit pasca panen

ABSTRACT

Several studies reported the successful of natural extracts in controlling post-harvest diseases. Plant extracts such as *Chinese quince* seed extract, *Jatropha curcas* seed extract, pomegranate peel extract and essential oils such as oregano oil, cinnamon oil and clove oil are known to suppress the development of several post-harvest diseases in fruits and vegetables. For many years, synthetic pesticides are often used to control post-harvest diseases. Increased public awareness of health and the effects of environmental damage caused by synthetic pesticides triggered the development of alternative methods for controlling post-harvest diseases that are safe and environmentally friendly. Plant extract is a natural compound that is very promising to be used as an alternative to synthetic fungicides. This article aims to review the potential use of natural extracts in controlling post-harvest diseases of fruits and vegetables.

Key words: Fruits and vegetables; Natural extract; Postharvest disease

PENDAHULUAN

Buah dan sayur memiliki manfaat kesehatan dan nutrisi karena mengandung antioksidan dan mikronutrien yang tinggi (Ramos dkk., 2013). Buah dan sayur kaya akan vitamin, mineral, serat dan senyawa yang baik bagi kesehatan. Bagi konsumen, buah yang berkualitas baik adalah buah yang memiliki bentuk, ukuran, warna dan aroma yang baik serta tidak mengalami memar ataupun kebusukan (Sivakumar dan Bautista-Banos, 2014).

Produk segar dapat mengalami beberapa jenis stres selama dalam penanganan (Mahovic dkk., 2007). Umumnya gejala stress tidak mempengaruhi keseluruhan kualitas produk, namun akan semakin jelas terlihat seiring dengan penurunan kualitas produk. Kerugian ini merupakan dampak dari kerusakan fisik, stres karena pelukaan atau infeksi laten yang disebabkan oleh jamur atau bakteri yang dimulai sejak masa pra panen (Lee dan Bostock, 2007). Pada banyak kasus, kerusakan pada komoditi hanya terlihat jelas pada tahap terakhir dari proses penanganan pasca panen. Kehilangan pasca panen buah dan sayuran oleh fitopatogen, khususnya fungal patogen selama rantai pasok dari kebun ke konsumen mengakibatkan kerugian ekonomi (Prusky, 2011; Liu dkk., 2017) dan akan selalu terjadi meskipun penanganan dilakukan dengan sangat hati-hati (Antunes dan Cavaco, 2010).

Di negara tropis, sistem penanganan produk hortikultura dipengaruhi oleh tingginya suhu dan kelembaban. Karena ekstrimnya kondisi lingkungan setempat dan kurangnya sistem penanganan yang mendukung, pasar lokal produk buah dan sayur di negara berkembang identik dengan kualitas yang rendah dan tingkat kehilangan serta resiko kesehatan yang tinggi (Korsten, 2006). Kehilangan pangan di negara berkembang umumnya terjadi karena keterbatasan finansial, manajemen dan teknis selama panen, pendinginan dan penyimpanan, infrastruktur, pengemasan serta sistem pemasaran (Parfitt dkk., 2010; Gustavsson dkk., 2011; Kaminski dan Christiansen 2014). Faktor internal dan eksternal yang mempengaruhi kualitas produk segar, seperti pertumbuhan mikrobial yang tidak diharapkan, pelukaan dan memar pada produk yang disebabkan oleh penanganan dan transportasi yang kurang memadai, serta tingginya suhu dan kelembaban selama penanaman dan pemanenan juga mempengaruhi kehilangan pasca panen (Buys dan Nortje, 1997). Kehilangan pasca panen pada buah-buahan dapat mencapai 50%, tergantung pada jenis komoditinya (Singh dkk., 2011). Di Asia Tenggara, kerusakan pasca panen buah

dan sayur dapat mencapai hingga 42% (Kusumaningrum dkk., 2015).

Kehilangan pasca panen pada buah tropis disebabkan karena kurangnya pemahaman mengenai sifat alamiah produk, seperti tingginya kadar air (30-90%), laju respirasi yang sangat tinggi, jaringan buah yang lunak sehingga rentan terhadap pelukaan dan sangat mudah rusak sehingga umur pasca panennya sangat terbatas (Paull dan Chen, 2014). Laju respirasi buah tropis dan sub tropis sangat bervariasi, tergantung pada jenis dan ragam produk, tingkat kematangan, tingkat pelukaan dan suhu produk (Yahia dkk., 2011). Semakin tinggi laju respirasi maka akan semakin singkat umur simpan produk. Terbatasnya umur simpan produk buah segar dipengaruhi oleh kombinasi beberapa faktor, antara lain karakteristik produk, kondisi eksternal, kontaminasi microbial, gangguan fisiologis, kerusakan mekanis dan tingkat perlakuan pasca panen (Kusumaningrum dkk., 2015). Paparan suhu tinggi secara terus menerus pada produk segar setelah dipanen dapat mempercepat aktivitas metabolisme, mendorong pertumbuhan mikroorganisme pembusuk dan meningkatkan produksi etilen yang mempercepat laju kerusakan (Yahia dkk., 2011). Buah tropis sangat mudah terkontaminasi oleh mikroorganisme karena suhu optimum untuk perkembangan mikroorganisme sangat sesuai dengan suhu rata-rata di negara tropis (Kusumaningrum dkk., 2015). Keterbatasan lahan pertanian dan ancaman keamanan pangan yang disebabkan oleh perubahan iklim, penekanan terhadap kehilangan pasca panen menjadi suatu keharusan mengingat kemungkinan meledaknya permintaan pangan dunia dan resiko kelaparan (Sharma dan Popngener, 2010).

Meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap kesehatan dan efek kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh penggunaan pestisida sintesis memicu dikembangkannya metode alternatif pengendalian penyakit pasca panen yang aman dan ramah lingkungan (Lopez-Reyes dkk., 2013). Ekstrak tanaman merupakan senyawa alami yang sangat menjanjikan untuk digunakan sebagai alternatif fungisida sintesis (Gahukar, 2012) karena memiliki aktivitas antimikrobial yang aman bagi kesehatan manusia dan kelestarian lingkungan (Shinde dkk., 2011). Penggunaan ekstrak tanaman baik secara tunggal maupun yang dikombinasikan dengan metode pengendalian yang lain menunjukkan aktivitas antifungal, fitotoksisitas yang rendah, dapat terdegradasi dan tidak menyebabkan pencemaran lingkungan (Tripathi dan Dubey, 2004; Askarne dkk., 2012).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa ekstrak tanaman dan minyak esensial memiliki

spektrum yang luas dalam mengatasi serangan patogen tanaman yang seringkali menyebabkan penyakit pasca panen pada produk buah dan sayuran segar (Tripathi dan Dubey, 2004; Gatto dkk., 2011). Ekstrak tanaman dan minyak esensial memiliki banyak kesamaan namun juga memiliki beberapa perbedaan karakteristik. Minyak esensial diperoleh dari tumbuhan melalui fermentasi dan destilasi uap (Burt, 2004), sedangkan ekstrak tanaman diperoleh dari bahan tanaman yang dengan cara filtrasi dan evaporasi menggunakan berbagai jenis pelarut (Wang dkk., 2004).

Penulisan artikel ini bertujuan untuk menguraikan potensi penggunaan ekstrak alami dalam pengendalian penyakit pasca panen pada buah dan sayuran serta hal-hal yang melatar belakangi upaya eksplorasi pengendalian alternatif ini dan studi yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya terkait penggunaan ekstrak alami dalam pengendalian penyakit pasca panen.

PENYAKIT PASCA PANEN DAN PESTISIDA

Penyakit pasca panen merupakan penyebab utama yang mendasari kehilangan pasca panen pada sebagian besar komoditas hortikultura (Sivakumar dan Bautista-Banos, 2014). Di antara semua jenis patogen, patogen dari golongan jamur merupakan penyebab utama kerusakan pasca panen pada sayur dan buah (Palou dkk., 2016). Penyakit pasca panen dapat terjadi mulai di pertanaman, saat panen, penanganan pasca panen di lapangan, pengemasan, transportasi dan penyimpanan (Barth dkk., 2009). Penyakit pasca panen pada buah dan sayur dipengaruhi oleh jenis komoditas dan kultivarnya, kematangan produk saat dipanen, kondisi penyimpanan dan transportasi, serta kondisi saat produk dipasarkan (Sivakumar dan Bautista-Banos, 2014). Kondisi ini menyebabkan kerugian ekonomi selama pemasaran dan menjadikan produk segar tidak layak dikonsumsi (Malik dkk., 2016). Morfologi dan fisiologi pasca panen buah dan sayuran, termasuk panjangnya rantai penanganan sejak dari lahan hingga ke pemasaran dapat memicu serangan mikroorganisme pembusuk (Antunes dan Cavaco, 2010). Stres karena pelukaan dan gangguan fisiologis yang disebabkan oleh ketidakhati-hatian selama penanganan pra dan pasca panen juga memicu serangan mikroorganisme (Antunes dan Cavaco, 2010).

Pada kondisi yang optimal, agens pembusuk dapat menyebabkan infeksi dan dampak yang luar biasa, yang mana kondisi ini akan sangat dipengaruhi oleh pematangan produk segar. Secara alami, produk segar yang

dipanen memiliki dua mekanisme pertahanan, antara lain pertahanan fisik (oleh kulit buah) dan pertahanan kimia (protein, modifikasi dinding sel, asam organik, fenol dan fitoaleksin) terhadap mikroba (Wisniewski dkk., 2003). Namun mekanisme pertahanan ini akan semakin melemah seiring dengan proses pematangan produk tersebut. Pembusukan oleh mikroorganisme dapat mempercepat respirasi jaringan produk, produksi panas dan peningkatan produksi etilen yang secara bersama-sama mempengaruhi kerusakan dan kelayuan produk segar (Niklis dkk., 1993). Suhu yang tinggi juga dapat mempercepat penurunan kualitas buah melalui percepatan proses fisiologis seperti respirasi dan produksi etilen (Thompson dkk., 2002). Sementara penyebaran mikroorganisme patogen penyebab kerusakan buah dan sayur dipengaruhi oleh kondisi fisiologis dan penyimpanan selama pasca panen, khususnya di negara tropis (Kusumaningrum dkk., 2015).

Jamur merupakan kelompok agens penyebab pembusukan pasca panen yang paling penting, yang menyebabkan penurunan kualitas dan kehilangan ekonomi selama periode pasca panen (Antunes dan Cavaco, 2010). Kerusakan pasca panen yang disebabkan oleh jamur tidak hanya menurunkan nutrisi buah, tetapi juga menyebabkan bahaya bagi kesehatan karena adanya mikotoksin yang diproduksi oleh golongan jamur tertentu (Sonker, 2016; Kiaya, 2014). Beberapa spesies jamur patogen dapat menyebabkan infeksi laten yang terjadi sejak buah masih belum dipanen dalam kondisi komoditas belum optimal bagi perkembangan mikroorganisme (Lee dan Bostock, 2007). Infeksi laten merupakan suatu kondisi dimana patogen bersifat dorman pada jaringan tumbuhan, dan kemudian menjadi aktif menunjukkan gejala penyakit dimana kondisi ini umum terjadi setelah panen, masa penyimpanan, transportasi dan pemasaran (Prusky dkk., 2013). Patogen berada pada kondisi laten dalam jaringan buah yang belum matang dan akan kembali aktif ketika buah mulai matang sehingga dapat menimbulkan kerusakan pada buah (Bukar dkk., 2009). Jika kondisi lingkungan cocok, kejadian infeksi laten akan memperbesar resiko perkembangan penyakit pascapanen (Michailides dkk., 2009). Beberapa jamur patogen seperti *Colletotrichum gloeosporioides* pada alpukat (Miyara dkk., 2012) dan *Botrytis cinerea* penyebab busuk pada strawberry juga tergolong ke dalam pathogen dengan infeksi laten yang menyebabkan kerusakan pasca panen yang signifikan selama penyimpanan (Moorman, 2014).

pH pada produk hortikultura merupakan faktor utama dalam prevalensi serangan mikroorganisme. Secara umum, jamur lebih

dominan menyerang buah, sedangkan bakteri lebih dominan menyerang sayur-sayuran. Kondisi ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan pH yang mana buah memiliki pH yang lebih rendah dibandingkan sayuran (Snowdon, 1990). Jamur lebih dominan menyerang buah karena toleransinya yang tinggi terhadap lingkungan asam. Di sisi lain, sayuran akan lebih rentan terhadap serangan bakteri karena pH nya yang tinggi.

Sumber inokulum dan kontaminasi patogen dapat berasal dari lingkungan tempat buah ditanam, alat transportasi, gudang pengemasan, ruang penyimpanan dan ruang pendingin. Buah busuk yang tidak disortir juga dapat mengkontaminasi gudang penyimpanan. Penyimpanan suhu rendah dapat memperpanjang umur simpan produk segar dengan menekan laju perubahan fisiologis dan mencegah perkembangan mikroorganisme (Kusumaningrum dkk., 2015). Suhu rendah merupakan kunci untuk mengurangi penyakit pasca panen selama penyimpanan, karena dapat berdampak bagi pertumbuhan patogen dan ketahanan produk tersebut. Namun demikian, pendinginan harus dilakukan pada suhu yang tepat karena pendinginan yang tidak tepat justru dapat memicu pertumbuhan mikroba sehingga menyebabkan kerusakan pada produk segar (Yang dan Irudayaraj, 2003). Keberadaan air pada permukaan jaringan produk dan kelembaban relatif pada atmosfer penyimpanan merupakan faktor utama dari penyebaran penyakit, khususnya yang disebabkan oleh bakteri (Smith dkk., 2008).

Penggunaan pestisida dalam dosis yang tepat diketahui sangat bermanfaat dalam mengendalikan penyakit pasca panen, namun dapat membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan (Parveen dkk., 2016). Namun, kekhawatiran konsumen terhadap residu kimia dan resistensi patogen terhadap fungisida menstimulasi para ilmuwan untuk melakukan pencarian terhadap alternatif pengendalian yang lebih aman dan ramah lingkungan (Bautista-Baños, 2014; Feliziani dan Romanazzi, 2013; Mari dkk., 2014). Pelarangan mengenai penggunaan fungisida sintesis di banyak negara juga menstimulasi dilakukannya penelitian yang intensif untuk mencari alternatif selain pestisida kimia (Yan dkk., 2014). Beberapa senyawa alternatif pengganti fungisida tidak membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan, serta tidak memberikan dampak negatif pada kualitas buah (Romanazzi dkk., 2012). Senyawa alternatif pengganti fungisida sintesis ditandai dengan adanya aktivitas antimikrobal dalam mengendalikan patogen utama penyebab busuk buah pada pasca panen (Feliziani dkk., 2015).

EKSTRAK ALAMI SEBAGAI ALTERNATIF PENGENDALIAN PENYAKIT PASCA PANEN

Selama bertahun-tahun, fungisida sintesis digunakan dalam mengendalikan penyakit pascapanen pada buah dan sayuran (Sharma dkk., 2009). Namun saat ini konsumen semakin khawatir mengkonsumsi buah yang disemprot dengan fungisida, karena senyawa aktif dan formulanya seringkali dikaitkan dengan beberapa masalah kesehatan dan pencemaran lingkungan (Gupta dan Dikshit, 2010; Nicolopoulou-Stamati dkk., 2016). Meningkatnya kesadaran masyarakat akan kesehatan, dampak negative penggunaan pestisida kimia yang berlebihan dan munculnya resistensi patogen terhadap pestisida sintesis menyebabkan hadirnya aturan untuk membatasi penggunaan pestisida sintesis (Liu dkk., 2013) dan disertai dengan pencarian metode pengendalian alternatif yang lebih aman dan ramah lingkungan (Bautista-Baños, 2014; Feliziani dan Romanazzi, 2013; Mari dkk., 2014).

Senyawa metabolit sekunder yang diproduksi oleh tanaman, seperti karotinoid, fitosterin, saponin, senyawa fenolik, alkaloid, glikosinat dan terpen (Mari dkk., 2015) memiliki potensi yang besar sebagai sumber fungisida untuk mengendalikan patogen pasca panen. Senyawa fitokimia yang bersifat antimikrobal mengandung beberapa kelompok fenolik (Al-Zoreky, 2009) dan memiliki aktivitas fungisidal serta fungistatik pada patogen yang mampu menciptakan kondisi yang tidak disenangi oleh patogen untuk berkembang biak pada inangnya (Scheuerell dan Mahaffee, 2002). Senyawa fenolik merupakan senyawa fitokimia yang bersifat bioaktif dan bertindak sebagai pertahanan alami tumbuhan dalam melawan patogen (Das dkk., 2010). Tumbuhan memproduksi senyawa fenolik seperti flavon, flavonoid dan flavonol sebagai respon terhadap infeksi mikrobial. Senyawa antimikrobalnya telah diketahui efektif dalam melawan serangan mikroorganisme dalam jangkauan yang luas secara *in vitro*. Ekstrak dan minyak esensial dari keseluruhan tubuh tumbuhan atau dari bagian tumbuhan seperti akar, batang, daun, bunga, buah dan biji mengandung senyawa antimikrobal yang secara signifikan mampu melawan pathogen (Gurjar dkk., 2012).

Minyak esensial merupakan metabolit sekunder yang sangat kompleks dari kombinasi ratusan senyawa yang tidak larut dalam air, bersifat volatile dan bioaktif dalam fase uap, diproduksi oleh berbagai organ tanaman dan menunjukkan aktivitas langsung terhadap fitopatogen karena memiliki sifat antibakterial, antifungal, antiviral, insektisidal dan antioksidan serta dapat meningkatkan mekanisme

pertahanan tanaman terhadap serangan mikroorganisme (Yahyazadeh dkk., 2009; Bautista-Baños dkk., 2013; Talibi dkk., 2014). Minyak esensial dari tanaman telah digunakan selama bertahun-tahun untuk produk pangan dan obat-obatan karena mengandung senyawa antifungal (Bajpai dkk., 2012). Beberapa bahan aktif utama dalam minyak esensial antara lain cinnamaldehyde, citral, eugenol, limonene, atau thymol yang aman untuk dikonsumsi manusia (de Aquino dkk., 2015) dan diklasifikasikan sebagai senyawa GRAS (*Generally Recognized as Safe*) dalam penggunaannya sebagai biopestisida untuk mengendalikan penyakit pasca panen dan menyediakan pangan yang aman. Sifat volatil minyak esensial dan biodegradabilitasnya yang tinggi menjadikannya efektif sebagai antifungal pada penyakit pascapanen dengan tingkat residu yang rendah (Talibi dkk., 2014).

Kemampuan antifungal dan antimikrobal senyawa alami tidak hanya disebabkan oleh satu atau dua jenis senyawa, namun lebih dikategorikan sebagai sinergisme antara berbagai macam senyawa yang saling bekerja sama dalam melawan serangan patogen (Bagamboula dkk., 2004). Sinergisme antara senyawa-senyawa ini dapat digunakan melindungi produk segar dari serangan penyakit pasca panen (Tripathi dan Dubey, 2004). Selain itu, efektivitas ekstrak tanaman dalam menekan perkembangan penyakit pasca panen sangat dipengaruhi oleh karakteristik inang seperti spesies dan kultivar serta kondisi fisik dan fisiologis buah ketika diberi perlakuan, khususnya kondisi kulit buah dan tingkat kematangannya (Palou dkk., 2016).

Penggunaan ekstrak alami atau minyak esensial dalam mengendalikan penyakit pasca panen telah dilaporkan dalam banyak kajian. Penelitian secara *in vitro* merupakan uji pendahuluan yang penting dilakukan untuk menentukan dosis yang paling efektif dalam menghambat pertumbuhan patogen sebelum melakukan uji secara *in vivo*. Beberapa studi terkait penggunaan ekstrak tanaman dilaporkan telah berhasil mengendalikan berbagai penyakit pasca panen. Ekstrak biji *Chinese quince* pada taraf 1.5% menunjukkan kemampuan menghambat pertumbuhan miselium *C. gloeosporioides* pada mangga hingga 82.59% secara *in vitro* (Angraeni dkk., 2019). Sebelumnya, pengendalian *C. gloeosporioides* juga telah dilaporkan berhasil dilakukan dengan menggunakan ekstrak etanol oregano dan jarilla yang merupakan tumbuhan lokal daerah Meksiko (Avila-Sosa dkk., 2011), ekstrak biji dan buah *Jatropha curcas* (Rahman dkk., 2011) dan ekstrak jambu biji 30% (Susanti dkk., 2017). Studi lain terkait penggunaan ekstrak tanaman

juga dilaporkan berhasil dalam mengendalikan antraknos (*Colletotrichum musae*) pada pisang menggunakan ekstrak *Acacia albida* 20% dan *Prosopis juliflora* 20% (Bazie dkk., 2014), busuk lunak *Alternaria alternata* pada tomat ceri dengan menggunakan ekstrak daun *Capsicum annuum* (Pane dkk., 2016) dan busuk buah ceri manis dengan menggunakan ekstrak tanaman *Sanguisorba minor* (Gatto dkk., 2016).

Sebelumnya, serangan *Penicillium* spp. pada buah-buahan seringkali dikendalikan dengan menggunakan fungisida sintesis pra dan pasca panen seperti imazalil, tiabendazol, pirimetanil dan fludioxonil (Berk, 2016). Namun beberapa studi membuktikan bahwa ekstrak kulit delima kaya akan antioksidan dan senyawa antimikrobal yang mampu menjadi alternatif penggunaan fungisida sintesis dalam menghambat perkecambahan konidia *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum* dan *Penicillium expansum* serta menunda perkembangan pembusukan pada anggur, apel dan lemon (Li Destri Nicosia dkk., 2016; Pangallo dkk., 2017; Tayel dkk., 2016); dan kombinasi ekstrak *Candida utilis* dan *Eugenia caryophyllata* dalam menekan kejadian penyakit *Penicillium digitatum* pada jeruk (Sukorini dkk., 2013).

Studi lain bahkan melaporkan ekstrak *Mormodica charantia* mampu menekan keparahan penyakit busuk hitam pada nanas (*Chalara paradoxa*) setara dengan kemampuan fungisida Acibenzolar-S-methyl dalam menekan penyakit pasca panen tersebut (de Souza dkk., 2015).

Serupa dengan ekstrak tanaman, minyak esensial diketahui menunjukkan aktivitas antifungal dalam spektrum yang luas dan secara langsung dapat mempengaruhi kontaminasi produk segar oleh mikotoksin (Mari dkk., 2015). Minyak esensial dari *Boswellia carterii* dilaporkan dapat menekan perkembangan *Aspergillus flavus* sekaligus menekan pembentukan aflatoksin (Prakash dkk., 2014). Selain itu, menambahkan minyak esensial ke dalam cairan *coating* juga terbukti efektif dalam mengurangi inokulum patogen pada permukaan buah, memperpanjang masa simpan produk segar karena minyak esensial melepaskan aktivitas antimikrobal secara bertahap serta menekan laju respirasi pada buah (Sanchez-Gonzalez dkk., 2011; Nair dkk., 2018). Beberapa penelitian menunjukkan kemampuan minyak esensial yang diaplikasikan sebagai edible *coating* untuk memperpanjang masa simpan buah-buahan yang rentan terhadap kontaminasi jamur patogen. Apel yang dicelupkan dalam minyak oregano, minyak kayu manis dan minyak cengkeh menunjukkan kemampuan dalam menekan perkembangan dari 12 jenis *Penicillium* spp. yang diinokulasikan secara artifisial

(Frankova dkk., 2016). Nair dkk. (2018) melaporkan penggunaan ekstrak kulit delima yang dipadukan dengan kitosan dan alginate dapat meningkatkan kualitas dari buah guava, mempertahankan nutrisi buah dengan menghambat laju respirasi dan menunda penuaan serta pelayuan buah.

Meski minyak esensial diketahui dapat menekan patogen pasca panen pada buah, namun ada beberapa kondisi yang kurang menguntungkan seperti variabilitas komponen kimia minyak esensial yang disebabkan kondisi ekologi dan geografi yang berbeda, umur tanaman, waktu panen dan perbedaan metode ekstraksi; kemungkinan sinergisme antara komponen bioaktif minyak esensial yang berbeda yang sulit untuk diidentifikasi; beberapa minyak esensial menimbulkan dampak negatif pada rasa dan aroma buah bahkan pada konsentrasi yang rendah serta sifat minyak esensial yang mudah menguap yang terkadang berpotensi mengakibatkan kerugian selama pengaplikasiannya (Prakash dkk., 2015). Disamping itu, keberhasilan uji *in vitro* seringkali tidak selalu memberikan hasil yang sama pada uji *in vivo* (Palou dkk., 2016). Namun demikian, studi yang dilakukan oleh El Shafie dkk. (2015) melaporkan keberhasilannya dalam menguji efektivitas minyak esensial thyme (*Thymus vulgaris*) dan vervain (*Verbena officinalis*), dalam mengendalikan busuk pada buah persik yang disebabkan oleh jamur patogen *Monilinia laxa*, *Monilinia fructigena*, and *Monilinia fructicola* secara *in vivo* dengan secara signifikan menghambat diameter lesio busuk pada buah. Studi lain juga melaporkan keberhasilannya dalam mengendalikan penyakit pasca panen secara *in vivo* dan *in vitro* yaitu pengendalian *Penicillium italicum* pada buah jeruk dengan menggunakan ekstrak *Inula viscosa* (Askarne dkk., 2012) dan *Geotrichum citri-aurantii* dengan menggunakan metanol ekstrak dari berbagai spesies tumbuhan Cistaceae (Karim dkk., 2016).

KESIMPULAN

Ekstrak tanaman dan minyak esensial merupakan senyawa metabolit sekunder seperti karotinoid, fitosterin, saponin, senyawa fenolik, alkaloid, glikosinat dan terpen memiliki aktivitas antimikrobal yang berpotensi sebagai sumber fungisida untuk mengendalikan patogen pasca panen. Ekstrak tanaman menunjukkan spektrum yang luas terhadap pengendalian patogen penyebab penyakit pasca panen dan dikategorikan aman bagi kesehatan dan lingkungan serta mampu menjaga kualitas dan masa simpan produk sehingga cenderung digunakan sebagai agens antimikrobal untuk

produk segar dalam beberapa tahun terakhir. Beberapa ekstrak tanaman seperti ekstrak biji *Chinese quince*, ekstrak biji *Jatropha curcas*, ekstrak kulit delima serta minyak esensial seperti minyak oregano, minyak kayu manis dan minyak cengkih diketahui mampu menekan perkembangan beberapa penyakit pasca panen pada buah dan sayur. Ekstrak tanaman memberikan suatu terobosan bagi pertanian berkelanjutan karena sifatnya yang aman bagi lingkungan. Efektivitas penggunaan ekstrak tanaman dapat ditingkatkan dengan melakukan penanganan pasca panen yang tepat untuk menekan kerusakan produk. Meskipun tergolong menunjukkan hasil yang positif, namun pengujian harus terus dilakukan untuk memahami aktivitas biologis senyawa tersebut pada jaringan buah untuk menentukan formulasi yang tepat bagi tercapainya aktivitas pengendalian yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Zoreki, NS. (2009). Antimicrobial Activity of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Fruit Peels. *Int. J. Food Microbiol.* 134: 244-248.
- Angraeni L., Hamauzu Y., Thongdeesoontorn W. dan Naradisorn M. (2019). Control of Mango Anthracnose by Using Chinese Quince (*Pseudocystodonia sinensis*) Seed Extract. *Food and Applied. Biosci. J.* 7 (Special Issue on Agriculture and Agro-Industry): 72-89.
- Antunes, MDC. dan Cavaco, AM. (2010). The Use of Essential Oils for Postharvest Decay Control. A Review. *Flavour Fragr. J.* 25: 351-366.
- Askarne L., Talibi I., Boubaker H., Boudyach E.H., Msanda F., Saadi B., Serghini M.A. dan Ait Ben Aoumar A. (2012). *In Vitro* and *In Vivo* Antifungal Activity of Several Moroccan Plants against *Penicillium italicum*, The Causal Agent of Citrus Blue Mold. *Crop Prot.* 40: 53-58.
- Avila-Sosa R., Gastélum-Reynoso G., García-Juárez M., Meneses-Sánchez MDLC., Navarro-Cruz AR. dan Dávila-Márquez RM. (2011). Evaluation of Different Mexican Plant Extracts to Control Anthracnose. *Food Bioprocess Technol.* 4: 655-659.
- Bagamboula C.F., Uyttendaele M. dan Debevere J. (2004). Inhibitory Effect of Thyme and Basil Essential Oils, Carvacol, Thymol, Estragol, Linalool and p-Cymene towards *Shigella sonnei* and *S. flexneri*. *Food Microbiol.* 21: 33-42.

- Barth M., Hankinson TR., Zhuang H. dan Breidt F. (2009). Microbiological Spoilage of Fruits and Vegetables." *Compendium of The Microbiological Spoilage of Foods and Beverages*. Springer, New York, NY. 135-183.
- Bautista-Baños S., Sivakumar D., Bello-Pérez A., Villanueva-Arce R. dan Hernández- López M. (2013). A Review of The Management Alternatives for Controlling Fungi on Papaya Fruit during The Postharvest Supply Chain. *Crop Prot.* 49: 8-20.
- Bautista-Baños S. (2014). Postharvest Decay. Control Strategies. Elsevier, London, UK.
- Bazie S., Ayalew A. dan Woldetsadik K. (2014). Integrated Management of Postharvest Banana Anthracnose (*Colletotrichum musae*) through Plant Extracts and Hot Water Treatment. *Crop Protection* 66: 14-18.
- Berk Z. (2016). Postharvest Changes. In Berk Z. (Ed.). Citrus Fruit Processing. San Diego: Academic Press. 95-105.
- Bukar A, Mukhtar MD. dan Adamu S. (2009). Isolation and Identification of Postharvest Spoilage Fungi Associated with Sweet Oranges (*Citrus chinensis*) Traded in Kano Metropolis. *Bayero J of Pure and Appl Sci.* 2(1):122-124.
- Burt S. (2004). Essential Oils: Their Antibacterial Properties and Potential Applications in Foods, A Review. *International Journal of Food Microbiology.* 94: 223-253.
- Buyts EM. dan Nortje GL. (1997). HACCP and Its Impact on Processing and Handling of Fresh Red Meats', *Food Industries of South Africa*, October Issue.
- Das K., Tiwari RKS. dan Shrivastava DK. (2010). Techniques for Evaluation of Medicinal Plant Products as Antimicrobial Agent: Current Methods and Future Trends. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(2): 104-111.
- de Aquino AB., Blank AF. dan de Aquino Santana LCL. (2015). Impact of Edible Chitosan-Cassava Starch Coatings Enriched with *Lippia gracilis* Schauer Genotype Mixtures on The Shelf Life of Guavas (*Psidium guajava* L.) during Storage at Room Temperature. *Food Chem.* 171: 108-116.
- de Souza WCO., do Nascimento LC., Vieira DL., dos Santos TS. dan de Assis Filho FM. (2015). Alternative Control of *Chalara paradoxa*, Causal Agent of Black Rot of Pineapple by Plant Extract of *Mormodica charantia*. *Eur. J. Plant Pathol.* 142: 481-488.
- El Shafie HS., Mancini E., Camele I., De Martino L. dan De Feo V. (2015). In Vivo Antifungal Activity of Two Essential Oils from Mediterranean Plants against Postharvest Brown Rot Disease of Peach Fruit. *Industrial Crops and Products* 66: 11-15.
- Feliziani E. dan Romanazzi G. (2013). Preharvest Application of Synthetic Fungicides and Alternative Treatments to Control Postharvest Decay of Fruit. *Stewart Postharvest Rev.* 9(3): 1-6.
- Feliziani E., Landi L. dan Romanazzi, G. (2015). Preharvest Treatments with Chitosan and Other Alternatives to Conventional Fungicides to Control Postharvest Decay of Strawberry. *Carbohydrate polymers* 132: 111-117.
- Frankova A., Smid J., Bernardos A., Finkousova A., Marsik P., Novotny D., Legarova V., Pulkrabek J. dan Kloucek P. (2016). The Antifungal Activity of Essential Oils in Combination with Warm Air Flow against Postharvest Phytopathogenic Fungi in Apples. *Food Control.* 68: 62-68.
- Gahukar RT. (2012). Evaluation of Plant-Derived Products against Pests and Diseases of Medicinal Plants: A Review. *Crop Prot.* 42: 202-209.
- Gatto MA., Ippolito A., Linsalata V., Cascarano NA., Nigro F., Vanadia S. dan di Venere, D. (2011). Activity of Extracts from Wild Edible Herbs against Postharvest Fungal Diseases of Fruit and Vegetables. *Postharvest Biol. Tec.* 61: 72-82.
- Gatto MA., Sergio L., Ippolito A. dan Di Venere D. (2016). Phenolic Extracts from Wild Edible Plants to Control Postharvest Diseases of Sweet Cherry Fruit. *Postharvest Biology and Technology* 120: 180-187.
- Gupta S. dan Dikshit AK. (2010). Biopesticides: An Eco-Friendly Approach for Pest Control. *J. Biopesticides* 3: 186-188.
- Gurjar MS., Ali S., Akhtar M., Singh KS. (2012). Efficacy of Plant Extracts in Plant Disease Management. *Agricultural Sciences* 3(3): 425-433.
- Gustavsson J., Cederberg C., Sonesson U., van Otterdijk R. dan Meybeck A. (2011). Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention. Study Conducted for *The International Congress SAVE FOOD!* at Interpack 2011, Dusseldorf, Germany. Food and Agricultural Organisation of the United Nations, Rome.
- Lopez-Reyes JG., Spadaro D., Gullino ML. dan Garibaldi, A., (2010). Efficacy of Plant Essential Oils on Postharvest Control of Rot caused by Fungi on Four Cultivars of

- Apples In Vivo. *Flavour Frag. J.* 25: 171-177.
- Kaminski J. dan Christiansen L. (2014). Postharvest Losses in Sub-Saharan Africa: What do Farmers Say? *Policy Research Working Paper* 6907. World Bank, Washington DC, USA.
- Karim H., Boubaker H., Askarne L., Talibi I., Msanda F., Boudyach EH., Saadi B. dan Aoumar AAB. (2016). Antifungal Properties of Organic Extracts of Eight *Cistus* L. Species against Postharvest Citrus Sour Rot. *Letters in Applied Microbiology* 62: 16-22.
- Kiaya V. (2014). Post-Harvest Losses and Strategies to Reduce Them. *Technical Paper on Postharvest Losses, Action Contre la Faim (ACF)*, 25.
- Korsten, L. (2006). Advances in Control of Postharvest Diseases in Tropical Fresh Produce. *Int. J. Postharvest Technology and Innovation.* 1(1): 48-61
- Kusumaningrum D., Lee SH., Lee WH., Mo C. dan Cho BK. (2015). A Review of Technologies to Prolong The Shelf Life of Fresh Tropical Fruits in Southeast Asia. *Journal of Biosystems Engineering* 40(4): 345-358.
- Lee MH. Dan Bostock RM. (2007). Fruit Exocarp Phenols in Relation to Quiescence and Development of *Monilinia fructicola* Infections in *Prunus* spp.: A Role for Cellular Redox? *Phytopathology* 97(3): 268-277.
- Li Destri Nicosia MG., Pangallo S., Raphael G., Romeo FV., Strano MC., Rapisarda P., Droby S. dan Schena L. (2016). Control of Postharvest Fungal Rots on Citrus Fruit and Sweet Cherries using a Pomegranate Peel Extract. *Postharvest Biology and Technology* 114: 54-61.
- Liu J., Sui Y., Wisniewski M., Droby S. dan Liu Y. (2013). Review: Utilization of Antagonistic Yeasts to Manage Postharvest Fungal Diseases of Fruit. *Int. J. Food Microbiol.* 167(2): 153-160.
- Liu J., Sui Y., Wisniewski M., Xie Z., Liu Y., You Y., Zhang X., Sun Z., Li W., Li Y. dan Wang Q. (2017). The Impact of The Postharvest Environment on The Viability and Virulence of Decay Fungi. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 58(10): 1681-1687.
- Mahovic MJ., Tenney JD. dan Bartz JA. (2007). Applications of Chlorine Dioxide Gas for Control of Bacterial Soft Rot in Tomatoes. *Plant Dis.* 91(10): 1316-1320.
- Malik AA., Ahmed N., Babita CH. dan Gupta P. (2016). Plant Extracts in Post-Harvest Disease Management of Fruits and Vegetables - A Review. *J Food Process Technol.* 7(592): 2.
- Mari M., Di Francesco A. dan Bertolini P. (2014). Control of Fruit Postharvest Diseases: Old Issues and Innovative Approaches. *Stewart Postharvest Rev.* 1(1): 1.
- Mari M., Neri F. dan Spadoni A. (2015). Natural Compounds: An Alternative in Postharvest Disease Control." *III International Symposium on Postharvest Pathology: Using Science to Increase Food Availability* 1144.
- Michailides TJ., Morgan DP. dan Luo Y. (2009). Epidemiological Assesments and Postharvest Disease Incidence. *Postharvest Pathology.* Springer, Dordrecht. 69-88.
- Miyara I., Shafran H., Haimovich HK., Rollins J., Sherman A. dan Prusky D. (2008). Multi-Factor Regulation of Pectate Lyase Secretion by *Colletotrichum gloeosporioides* Pathogenic on Avocado Fruits. *Mol. Plant Pathol.* 9: 281-291.
- Moorman GW. (2014). Botrytis or Gray Mold. Fact Sheet. College of Agricultural Science. Penn, St. Univ. Ext. USA.
- Nair MS., Saxena A. dan Kaur C. (2018). Effect of Chitosan and Alginate Based Coatings Enriched with Pomegranate Peel Extract to Extend the Postharvest Quality of Guava (*Psidium guajava* L.). *Food chemistry* 240: 245-252.
- Nicolopoulou-Stamati P., Maipas S., Kotampasi C., Stamatis P. dan Hens L. (2016). Chemical Pesticides and Human Health: The Urgent Need for A New Concept in Agriculture. *Frontiers in Public Health* 4: 148.
- Niklis N, Sfakiotakis E. dan Thanassoupoulos CC. (1993). In *Cellular and Molecular Aspects of the Plant Hormone Ethylene*, J. C. Pech, C. Balague (Eds). Kluwer Academic: Amsterdam, The Netherlands. 255.
- Palou L., Ali A., Fallik E. dan Romanazzi G. (2016). GRAS, Plant and Animal - Derived Compounds as Alternatives to Conventional Fungicides for Che control of Postharvest Diseases of Fresh Horticultural Produce. *Postharvest Biology and Technology* 122: 41-52.
- Pane C., Fratianni F., Parisi M., Nazzaro F. dan Zaccardelli M. (2016). Control of *Alternaria* Post-Harvest Infections on Cherry Tomato Fruits by Wild Pepper Phenolic-Rich Extracts. *Crop Protection* 84: 81-87.
- Pangallo S., Li Destri Nicosia MG., Raphael G., Levin E., Ballistreri G., Cacciola SO., Rapisarda, P., Droby, S. dan Schena, L. (2017). Elicitation of Resistance Responses in Grapefruit and Lemon Fruits

- Treated with A Pomegranate Peel Extract. *Plant Pathology* 66(4): 633-640.
- Parfitt J., Barthel M. dan MacNaughton S. (2010). Food Waste within Food Supply Chains: Quantification and Potential for Change to 2050. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 365: 3065–3081.
- Parveen S., Wani AH., Bhat MY. dan Koka JA. (2016). Biological Control of Postharvest Fungal Rots of Rosaceous Fruits using Microbial Antagonists and Plant Extracts-- A Review. *Czech Mycology*, 68(1).
- Paull RE. (2014). Dragon Fruit: Postharvest Quality- Maintenance Guidelines. Department of Tropical Plant and Soil Sciences University of Hawaii at Manoa, Honolulu. Diakses melalui www.ctahr.hawaii.edu
- Prakash B., Mishra PK., Kedia A. dan Dubey NK. (2014). Antifungal, Antiaflatoxin and Antioxidant Potential of Chemically Characterized *Boswellia carterii* Birdw Essential Oil and Its *In Vivo* Practical Applicability in Preservation of *Piper nigrum* L. Fruit. *LWT-Food Science and Technology* 56(2): 240-247.
- Prakash B., Kedia A., Mishra PK. dan Dubey NK. (2015). Plant Essential Oils as Food Preservatives to Control Moulds, Mycotoxin Contamination and Oxidative Deterioration of Agri-Food Commodities – Potential and Challenges. *Food Contr.* 47: 381–391.
- Prusky D. (2011). Reduction of The Incidence of Postharvest Quality Losses, and Future. *Prospects Food Secur.* 3: 463-474.
- Prusky D., Alkan N., Mengiste T. dan Fluhr R. (2013). Quiescent and Necrotrophic Lifestyle Choice during Postharvest Disease Development. *Annual Review of Phytopathology*, 51: 155-176.
- Rahman M., Ahmad SH., Mohamed MTM. dan Rahman MZA. (2011). Extraction of *Jatropha curcas* Fruits for Antifungal Activity against Anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) of Papaya. *African Journal of Biotechnology*.10(48): 9796-9799.
- Ramos B., Miller FA., Brandão TRS. dan Teixeira P. (2013). Fresh Fruits and Vegetables - An Overview on Applied Methodologies to Improve Its Quality and Safety. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 20: 1-15.
- Romanazzi G., Lichter A., Gabler FM. dan Smilanick JL. (2012). Recent Advances on The Use of Natural and Safe Alternatives to Conventional Methods to Control Postharvest Gray Mold of Table Grapes. *Postharvest Biology and Technology* 63: 141–147.
- Sanchez-Gonzales L., Pastor P., Vargas M., Chiralt A., Gonzalez-Martínez C. dan Chafer M. (2011). Effect of Hydroxypropylmethylcellulose and Chitosan Coatings with and without Bergamot Essential Oil on Quality and Safety of Cold-Stored Grapes. *Postharvest Biol. Tech.* 60: 57-63.
- Scheuerell S. dan Mahaffee W. (2002). Compost Tea: Principles and Prospects for Plant Disease Control. *Compost Science & Utilization*, 10: 313-338.
- Sharma RR., Singh D. dan Singh R. (2009). Biological Control of Postharvest Diseases of Fruits and Vegetables by Microbial Antagonists: A Review. *Biol. Control* 50: 205-221.
- Sharma RR. dan Pongener, A. (2010). Natural Products for Postharvest Decay Control in Horticultural Produce: A Review. *Stewart Postharvest Review* 4: 1-9.
- Shinde SL., Junne SB. dan Wadje SS. (2011). Utilization of Medicinal Plants to Control Seed Borne Pathogens of Selected Seeds. *Asian J. Pharm. Health Sci.* 1: 79-82.
- Singh H., Fairs G. dan Syarhabil M. (2011). Anti-Fungal Activity of *Capsicum frutescence* and *Zingiber officinale* against Key Post-Harvest Pathogens in Citrus. In: *International Conference Biomedical Engineering Technology*, IPCBEE 11, IACSIT Press, Singapore.
- Sivakumar D. dan Bautista-Baños S. (2014). A Review on The Use of Essential Oils for Postharvest Decay Control and Maintenance of Fruit Quality during Storage. *Crop Prot.* 64: 27-37.
- Smith SM., Scott JW., Bartz JA. dan Sargent SA. (2008). Diallel Analysis of Fruit Water Absorption in Tomato, a Contributing Factor in Postharvest Decays. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 133(1): 55-60.
- Snowdon AL. (1990). *A Color Atlas of Post-harvest Diseases and Disorders of Fruits and Vegetables: General Introduction and Fruits, Vol. 1.* CRC Press, Boca Raton, FL, 302.
- Sonker N., Pandey AK. dan Singh P. (2016). Strategies to Control Post-Harvest Diseases of Table Grape: A Review. *Journal of wine research* 27(2): 105-122.
- Sukorini H., Sangchote S. dan Khewkhom N. (2013). Control of Postharvest Green Mold of Citrus Fruit with Yeasts, Medicinal Plants and Their Combination. *Postharvest Biol. Technol.* 79: 24-31.

- Susanti S., Kusmiadi R. dan Aini SN. (2017). Efficacy Testing The Extracts of Noni Leaf, Basil Leaf, and Guava Leaf in Inhibiting the Growth of *Colletotrichum gloeosporioides* in Papaya. *Agrosainstek* 1(1): 16-22
- Talibi I., Boubaker H., Boudyach EH. dan Ait Ben Aoumar A. (2014). Alternative Methods for The Control of Postharvest Citrus Diseases. *Journal of Applied Microbiology* 117(1): 1-17.
- Tayel AA., Moussa SH., Salem MF., Mazrou KE. dan El-Tras WF. (2016). Control of Citrus Molds using Bioactive Coatings Incorporated with Fungal Chitosan/ Plant Extracts Composite. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 96(4): 1306-1312.
- Thompson JF., Mitchell FG. dan Kasmire RF. (2002). Cooling Horticultural Commodities. In A.A. Kader (Ed.) *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, Regents of the University of California, CA, 97-112.
- Tripathi P. dan Dubey, NK. (2004). Exploitation of Natural Products as An Alternative Strategy to Control Postharvest Fungal Rotting of Fruit and Vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. 32(3): 235-245.
- Wang W., Ben-Daniel BH. dan Cohen Y. (2004). Control of Plant Diseases by Extracts of *Inula viscosa*. *Phytopathology*, 94: 1042-1047.
- Wilson CL., El-Ghaouth A. dan Wisniewski ME. (1999). Prospecting in Nature's Storehouse for Biopesticides. *Conferencia Magistral Revista Maxicana de Fitopatologia* 17: 49-53.
- Wisniewski ME., Basset CL., Artlip TS., Webb RP., Janisiewickz WJ., Norelli JL., Goldway M. dan Droby S. (2003). Characterization of A Defesin in Bark and Fruit Tissues of Peach and Antimicrobial Activity of a Recombinant Defesin in The Yeast, *Pichia pastoris* *Physiol. Plant.* 119(4): 563-572.
- Yahia EM., Ornelas-Paz JDJ. dan Elansari,A. (2011). Postharvest Technologies to Maintain The Quality of Tropical and Subtropical Fruits. In *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. Woodhead Publishing. 142-195.
- Yahyazadeh M., Zare R., Omidbaigi R., Faghih-Nasiri M. dan Abbasi M. (2009). Control of *Penicillium* Decay on Citrus Fruit using Essential Oil Vapours of Thyme or Clove inside Polyethylene and Nano-Clay Polyethylene Films. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 84(4): 403-409.
- Yan F., Xu S., Chen Y. dan Zheng X. (2014). Effect of Rhamnolipids on *Rhodotorula glutinis* biocontrol of *Alternaria alternata* Infection in Cherry Tomato Fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 97: 32-35.
- Yang H. dan Irudayaraj J. (2003). Rapid Detection of Foodborne Microorganisms on Food Surface using Fourier Transform Raman Spectroscopy. *Journal of Molecular Structure* 646: 35-43.