

Pencoklatan Enzimatis dan Pencegahannya pada Produk Potong Segar

Nafi Ananda Utama

Pendahuluan

Industri produk potong-segar merupakan salah satu industri makanan yang berkembang pesat di Amerika dan negara2 Eropa serta beberapa negara Asia seperti Korea, Thailand dan Jepang. Perkembangannya selama dua dekade terakhir ini akibat dari meningkatnya permintaan bahan pangan yang segar, bergizi, dan praktis.

Asupan gizi yang didapat dari mengkonsumsi buah dan sayuran segar telah banyak diketahui. Produk buah dan sayuran segar merupakan sumber antioksidan penting seperti vitamin A, vitamin C, vitamin E, karotenoid, dan flavonoid, serta berbagai macam mineral. Beberapa penelitian terakhir menunjukkan bahwa memasukkan produk segar dalam menu makanan dapat mengurangi resiko beberapa penyakit kronis (Cooper DA, 2004). Disamping itu, produk potong-segar memiliki keuntungan dibanding produk utuh dalam hal pengelolaan limbah, pengiriman, pengurangan biaya tenaga kerja, dan lain-lain.

Produk potong-segar merupakan produk sayuran dan buah yang diproses secara minimal dan masih dalam keadaan segar. Proses minimal ini antara lain meliputi pengupasan, pemotongan, pencucian, sanitasi, pengeringan, dan pengemasan produk, sehingga produk akhir dapat langsung dikonsumsi. Produk potong-segar dapat dikenali sebagai buah atau sayuran dalam kemasan yang sudah diiris, dikupas menjadi produk yang dapat langsung dimanfaatkan. Tidak adanya tahap pematian mikrobial dalam proses minimal dan rawannya jaringan tanaman terhadap pertumbuhan mikrobial akan berakibat mudahnya terjadi kontaminasi dan pembusukan sehingga akan mempersingkat umur simpan produk potong-segar. Dengan demikian, standar kualitas dan keamanan pangan yang tinggi sangat penting untuk menjaga pertumbuhan industri produk potong-segar.

Pencoklatan enzimatis merupakan reaksi pewarnaan yang banyak terjadi pada buah dan sayuran, sebagai akibat interaksi oksigen, senyawa fenol, dan enzim polifenol oksidase (PPO). Pencoklatan biasanya diawali dengan oksidasi enzimatis monofenol menjadi *o*-difenol dan kemudian *o*-difenol

menjadi kuinon, yang selanjutnya akan mengalami polimerisasi non-enzimatis sehingga terbentuk pigmen berwarna coklat. Pencoklatan enzimatis akan menurunkan kualitas buah dan sayuran potong-segar, meskipun disisi lain proses ini justru menguntungkan pada beberapa produk perkebunan seperti teh, kopi, dan kakao. Beberapa varietas buah dan sayuran seperti apel, pir, pisang, persik, selada, dan kentang, sangat peka terhadap pencoklatan enzimatis selama pemrosesan dan penyimpanan. Pencoklatan tidak hanya berpengaruh terhadap tampilan produk potong segar, tetapi akan berpengaruh pula terhadap kualitas sensoris lainnya seperti rasa, aroma, tekstur, dan kandungan gizi (Jiang Y. 2004). Tidak seperti produk makanan olahan pada umumnya, produk potong-segar terdiri dari jaringan yang masih hidup dan akan mengalami kerusakan jaringan pada saat proses pengolahannya . Pencoklatan enzimatis tidak terjadi dalam sel tanaman yang utuh karena senyawa phenol yang tersimpan di dalam vakuola sel terpisah dengan enzim PPO yang terdapat dalam sitoplasma. Namun, apabila jaringan mengalami kerusakan akibat pengirisan, pemotongan, atau pengupasan, akan terjadi pencampuran enzim PPO dan senyawa phenolic yang mengakibatkan pencoklatan secara cepat. Pencoklatan enzimatis produk potong-segar akan mengakibatkan kerugian ekonomis, terutama bila pencoklatan terjadi pada awal penyimpanan, setelah biaya pemrosesan, pengepakan, dan penyimpanan dikeluarkan. Pemahaman terhadap pencoklatan dan pengendaliannya sejak dari panen sampai produk dikonsumsi merupakan hal yang sangat penting penting untuk meminimalkan kerugian dan mempertahankan keuntungan dalam industri buah dan sayuran segar potong.

Polifenol Oksidase (PPO) dan Senyawa Fenol

PPO (1,2-benzenediol: oxygen oxidoreductase; EC 1.10.3.1) dikenal pula sebagai catechol oxidase, catecholase, diphenol oxidase, *o*-diphenolase, phenolase, tyrosinase dan cresolase. Enzim ini bermuatan tembaga (Co) pada sisi aktifnya, yang berperan penting dalam aktivitasnya. PPO mengkatalisasi dua reaksi dasar yaitu 1) Hidroksilasi senyawa fenol pada posisi-*O* berdekatan dengan gugus hidroksil (aktivitas monofenol oksidase) dan 2) Oksidasi difenol menjadi

benzokuinon-0 (aktivitas difenol oksidase). Kedua reaksi tersebut memerlukan molekul oksigen sebagai ko-substrat (Qiang He and Yaguang Luo, 2007)

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa proses pencoklatan enzimatis pada buah dan sayuran segar potong melibatkan pula enzim peroksidase (POD) dan Fenilalanin Amonia Liase (PAL). Dalam dunia tanaman, POD merupakan enzim oksidatif penting disamping PPO. Enzim ini akan mengkatalisa senyawa fenol dengan kehadiran hidrogen peroksida. Dengan adanya pembentukan hidrogen peroksida sebagai hasil oksidasi senyawa fenol yang dikatalisa oleh PPO, akan menginduksi terjadinya sinergi antara PPO dan POD serta menunjukkan keterlibatan POD dalam proses pencoklatan enzimatis (Subramanian *et.al.* 1999). Sedangkan PAL yang merupakan enzim yang berperan dalam metabolisme fenil propanoid akan menentukan konsentrasi senyawa fenol dalam tanaman atau bagian. Semakin tinggi aktivitas PAL akan semakin tinggi pula konsentrasi senyawa fenol yang merupakan substrat dari PPO dan POD. Hisamoto *et.al.* (2001) menunjukkan adanya hubungan yang erat antara proses pencoklatan dan aktivitas PAL pada selada potong selama penyimpanan, penghambatan terhadap aktivitas PAL akan mencegah terjadinya pencoklatan pada selada potong segar. Cantos *et.al.* (12), melaporkan bahwa terjadi kenaikan secara bersama-sama aktivitas enzim PPO, POD dan PAL pada kentang yang diproses secara minimal bersamaan dengan kenaikan kandungan senyawa fenol. Kang dan Saltveit (2003) menemukan bahwa luka yang terjadi pada jaringan selada selama proses penyiapan produk potong segar akan memacu peningkatan enzim PAL yang mengakibatkan terjadinya sintesis dan akumulasi senyawa fenol. Akumulasi senyawa ini akan meningkatkan pula terjadinya pencoklatan.

Buah dan sayuran memiliki kandungan senyawa-senyawa yang berbeda dan bervariasi tergantung pada spesies, varietas, kemasakan dan kondisi fisiologis tanaman yang lain. Secara struktural, senyawa fenol mengandung cincin aromatis yang mengikat satu atau lebih gugus hidroksil, Senyawa-senyawa fenol dan PPO pada umumnya bertanggungjawab langsung terhadap reaksi pencoklatan enzimatis pada produk potong segar yang rusak selama penanganan dan pemrosesan pasca panen. Substrat spesifik bagi PPO bervariasi tergantung pada sumber enzimnya. Penelitian Robards *et.al.* (1999) terhadap senyawa fenol dan perannya dalam proses

oksidatif serta pencoklatan menunjukkan bahwa pencoklatan pada buah persik dan apel berkorelasi positif dengan kandungan asam khlorogenat. Meskipun demikian, tidak ada korelasi nyata antara laju atau derajat pencoklatan dengan kandungan PPO, POD atau total kandungan senyawa fenol pada kentang potong segar.

Pengendalian pencoklatan enzimatis

Faktor-faktor terpenting yang menentukan laju pencoklatan enzimatis pada buah dan sayuran adalah kandungan PPO dan senyawa-senyawa fenol, pH, temperatur dan ketersediaan O₂ dalam jaringan. Pemahaman pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap pencoklatan enzimatis sangat diperlukan untuk pengendaliannya. Sampai saat ini, berbagai teknik dan mekanisme untuk pengendalian pencoklatan enzimatis pada buah dan sayuran potong segar telah banyak diteliti, dan secara teoritis teknik-teknik tersebut ditujukan untuk mengurangi satu atau lebih komponen utama yang terlibat dalam reaksi pencoklatan enzimatis seperti O₂, enzim, tembaga atau substrat. Metode yang biasa digunakan untuk mempertahankan warna asli dari buah dan sayuran potong segar antara lain pencelupan dalam larutan “anti-browning”, pengemasan dengan atmosfer termodifikasi (MAP), perlakuan pemanasan dan penyimpanan pada suhu rendah.

Perendaman dalam Larutan “Anti-browning”

Saat ini, pemberian senyawa pereduksi seperti asam askorbat dan turunannya, sistein dan glutation pada buah dan sayuran segar potong merupakan metode yang paling efektif untuk mengendalikan pencoklatan enzimatis, bahkan kalsium askorbat telah digunakan secara komersial dalam industri produk potong segar. Senyawa-senyawa pereduksi ini berperan penting dalam mengendalikan pencoklatan melalui kemampuannya untuk mereduksi *o*-kuinon menjadi difenol yang tidak berwarna atau bereaksi dengan *o*-kuinon untuk membentuk produk yang tidak berwarna. Sulfit merupakan senyawa yang diketahui sangat efektif dalam mengendalikan pencoklatan, meskipun demikian pemberian senyawa ini pada produk potong segar tidak dibenarkan oleh USFDA (Badan POM Amerika Serikat) karena menyebabkan alergi pada sebagian

orang. Asam askorbat dan turunannya merupakan senyawa antioksidan yang diketahui aman digunakan untuk mengendalikan pencoklatan dan beberapa reaksi oksidatif pada produk potong segar. Pada umumnya, peran senyawa ini adalah mereduksi *o*-kuinon sebagai hasil kerja enzim PPO, kembali menjadi substrat/senyawa fenol. Disamping itu, asam askorbat diketahui pula memiliki efek kelat ('chelating effect') terhadap gugus prostetik tembaga pada enzim PPO. Beberapa senyawa "anti-browning" yang telah digunakan secara luas pada dalam industry produk potong segar antara lain adalah "NatureSeal SA1" dan "NatureSeal SA5". Untuk meningkatkan efektifitas pencegahan terhadap pencoklatan enzimatik dan mempertahankan kekerasan buah, pemberian senyawa "anti-browning" biasanya dikombinasikan dengan penyimpanan produk dalam pengemas dengan atmosfer termodifikasi (MAP).

Beberapa senyawa yang mengandung thiol seperti sistein dan glutation diketahui dapat mereduksi *o*-kuinon kembali menjadi fenol, sehingga efektif sebagai penghambat proses pencoklatan enzimatik. Menurut Eissa et.al. (2006) dalam Qiang He dan Yaguang Luo (2007), senyawa-senyawa ini lebih efektif menghambat pencoklatan enzimatik pada apel potong dibanding asam askorbat. Penghambatan senyawa-senyawa ini karena kemampuannya dalam membentuk konjugasi thiol dengan *o*-kuinon yang tidak berwarna. Meskipun demikian penggunaan senyawa-senyawa ini berpengaruh negatif terhadap rasa apel potong segar.

Menurut Qiang He and Yaguang Luo (2007), gugus ion dalam struktur protein enzim PPO, POD dan PAL sangat dipengaruhi oleh pH lingkungan. Gugus ini harus berada dalam bentuk ionik yang sesuai sehingga enzim dapat aktif mengikat substrat atau mengkatalisa reaksi pencoklatan. Perubahan status ionisasi enzim pada umumnya bersifat dapat balik ("reversible"), meskipun demikian pada kondisi pH yang ekstrim dapat terjadi inaktivasi enzim yang bersifat tetap ("irreversible"). Di sisi lain, stabilitas senyawa fenol dipengaruhi pula oleh pH, dan pada kondisi pH lingkungan yang ekstrem senyawa fenol ini dapat mengalami kerusakan. PPO dapat dibuat tidak aktif dengan cara mengatur pH sedikit dibawah pH optimum dengan memberikan asidulan seperti asam sitrat, asam malat dan asam fosfat.

Asam sitrat merupakan salah satu asidulan yang paling banyak digunakan dalam industri produk segar potong. Asam sitrat biasanya digunakan bersama-sama dengan agen anti pencoklatan yang lain seperti asam askorbat . Untuk pencegahan pencoklatan pada produk potong segar, asam sitrat digunakan dengan dosis 0,5% sampai 2% . Disamping mampu menurunkan pH, asam sitrat mampu pula berperan sebagai agen khelat bagi senyawa tembaga pada sisi aktif enzim PPO sehingga meningkatkan penghambatan terhadap aktivitas enzim PPO. Jing et.al (2004) menemukan bahwa pemberian asam sitrat dengan konsentrasi sangat rendah dapat memacu enzim PPO, tetapi pada konsentrasi 0,1 M atau lebih tinggi dapat menghambat aktivitas enzim PPO dan memperpanjang umur simpan 'water chestnut' potong segar. Yurong Ma et.al (2010) melaporkan bahwa pemberian campuran asam sitrat+kalsium klorida+ekstrak bawang putih mampu memperpanjang umur simpan selada potong segar dengan menghambat aktivitas enzim PPO dan klorofilase.

Agen Khelat seperti seperti asam askorbat, asam polikarboksilat (sitrat, malat, tartarat, oksalat dan suksinat), dan polifosfat yang memiliki kemampuan menon-aktifkan enzim melalui pengikatan terhadap ion logam pada kompleks ion-logam telah banyak diaplikasikan pada berbagai industri makanan. Enzim PPO mengandung ion tembaga pada sisi aktifnya dan penghilangan ion tembaga melalui pengikatan dengan agen khelat akan menon-aktifkan PPO. Aplikasi kombinasi ""agen anti-browning" pada produk potong segar biasanya terdiri dari senyawa pereduksi, asidulan dan agen kelat.

Pengemasan dengan Modifikasi Atmosfer (MAP)

Pertumbuhan industri produk potong segar dalam kemasan sangat dipengaruhi oleh perkembangan teknologi MAP. Dengan menggunakan MAP, keseimbangan oksigen (O_2) dan karbondioksida (CO_2) yang diinginkan diciptakan dengan mengendalikan transmisi O_2 dan CO_2 melalui bahan pengemas dan mengendalikan laju respirasi produk. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa menurunkan aras O_2 dan meningkatkan aras CO_2 dalam atmosfer mampu memperlambat reaksi pencoklatan enzimatis. Kelompok peneliti yang dipimpin oleh Tian telah

banyak memberikan sumbangan tentang pengendalian pencoklatan enzimatis melalui penyimpanan dalam atmosfer terkendali. Kelompok ini telah meneliti pengaruh berbagai konsentrasi O_2 dan CO_2 terhadap fisiologi, kualitas dan kerusakan buah Lechi yang disimpan pada suhu $2^{\circ}C$ dan menemukan bahwa CA ("Control Atmosphere") lebih efektif dalam menghambat aktivitasnya enzim PPO, mencegah pencoklatan daging buah dan mengurangi kerusakan (pembusukan) dibanding penggunaan MAP (Tian et.al, 2002). CA dengan konsentrasi O_2 70% mampu mengurangi kandungan etanol dalam daging buah, mempertahankan pH rendah mencegah pencoklatan pada kulit buah Lechi. CA dengan konsentrasi CO_2 15% secara signifikan mampu mengurangi kerusakan buah dan memperpanjang umur simpan. Dilaporkan pula bahwa CA dengan konsentrasi O_2 5% dan konsentrasi CO_2 10% secara signifikan menghambat aktivitas enzim PPO dan POD, mengurangi kandungan malondialdehid, mencegah pencoklatan daging buah, mengurangi kebusukan dan memperpanjang umur simpan buah. Cheri. Dalam penelitian selanjut, Tien et.al membuktikan bahwa enzim PPO, POD, antosianin dan total senyawa fenol berperan dalam proses pencoklatan buah Lechi dan perlakuan CA secara efektif mampu mengurangi kandungan total senyawa fenol, menghambat dekomposisi antosianin, mencegah pencoklatan daging buah dan mengurangi kebusukan buah Lechi. Wang et.al (2005), meneliti pengaruh berbagai konsentrasi O_2 dan CO_2 dalam atmosfer terhadap aktivitas lipoksigenase, POD, superoksidase dismutase (SOD), katalase, kandungan malonaldehid, dan integritas membran buah persik. Mereka menemukan bahwa CA dengan konsentrasi O_2 5% dan CO_2 5% mampu menghambat reduksi SOD, katalase dan menghambat aktivitas POD yang menghasilkan penghambatan pencoklatan daging buah secara lebih efektif.

Bahan pengemas dan pelapis yang dapat dikonsumsi ("edible film and coating") berperan penting pula dalam mempertahankan kualitas produk potong segar. Bahan pengemas dapat berperan sebagai penghalang 'semi permeabel' yang didesain untuk memperpanjang umur simpan melalui pengurangan migrasi air dan larutan, pertukaran gas, laju respirasi dan reaksi oksidasi, serta menekan kerusakan fisiologis pada buah potong segar. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengkaji aplikasi bahan pengemas yang dikombinasikan dengan senyawa "anti-browning" untuk mempertahankan warna produk potong segar. Melalui modifikasi CO_2 , O_2 dan transmisi

etilen, bahan pelapi atau pengemas berpotensi untuk mencegah kehilangan air, membentuk penghalang pertukaran O₂ dan mengendalikan pelepasan atau hilangnya senyawa "anti-browning" dari permukaan produk potong segar. Penggunaan pelapis edible dapat dikombinasikan dengan metode lain seperti suhu rendah untuk meningkatkan efektifitasnya dalam mengendalikan pencoklatan pada buah dan sayuran segar potong.

McHugh dan Senesi (2000) mengembangkan pelapis edible yang tersusun dari 61% pure apel, 23% lilin lebah, 7% pektin, 7% gliserol 1 % asam askorbat dan 1% asam sitrat yang mampu mencegah pencoklatan pada apel segar potong. Lee et.al (35) melaporkan bahwa laju respirasi apel segar potong menurun sebesar 5% dengan pelapisan karagenan dan menurun 20% dengan pelapisan protein yang diekstrak dari gandum (whey protein). Mereka menemukan pula bahwa kombinasi "edible coating" dengan beberapa senyawa "anti-browning" seperti asam askorbat, asam sitrat dan asam oksalat secara efektif mampu memperpanjang umur simpan apel potong segar selama 2 minggu. Meskipun beberapa pelapis edible diketahui mampu mencegah pencoklatan, masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui jenis pelapis edible yang tidak banyak berpengaruh terhadap kualitas rasa produk potong segar.

"Heat shock" dan Pendinginan

Perlakuan pemanasan merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk menstabilkan makanan karena kemampuannya untuk membunuh mikroorganisme dan menon-aktifkan enzim. Pencoklatan enzimatik pada buah dan sayuran kaleng atau beku pada umumnya dikendalikan secara efektif dengan perendaman dalam air panas atau pemberian uap panas dengan suhu 70 sampai 105°C. Meskipun demikian, metoda ini tidak sesuai digunakan untuk pengendalian pencoklatan buah dan sayuran potong segar karena akan menyebabkan kerusakan pada jaringan produk yang "hidup" dan menurunkan kualitas "kesegaran" produk tersebut, sehingga perlakuan pemanasan biasanya dilakukan pada kisaran suhu sedang.

Pemanasan produk dengan kisaran suhu 45 sampai 60°C dilakukan untuk menginduksi pembentukan "Heat Shock Protein (HSP)" yang mampu memberikan berbagai keuntungan pada produk potong segar mulai dari penghambatan pencoklatan sampai perlindungan terhadap

patogen. Loaiza-Verlande et.al. (2003) melaporkan bahwa proses minimal pada seledri akan memacu aktivitas enzim PAL, dan perlakuan "Heat shock" pada suhu 50°C selama 90 detik akan mengurangi aktivitas PAL secara signifikan dan selanjutnya akan mengurangi pencoklatan. PAL merupakan enzim pertama yang bertanggung jawab pada jalur utama pembentukan senyawa fenol dan aktivitasnya akan mengendalikan laju pembentukan senyawa fenol melalui jalur utama. Asam amino fenilalanin bereaksi dengan sinamate dan coumarat untuk menghasilkan asam kafeat, yang selanjutnya berkonjugasi dengan asam kuitat untuk menghasilkan asam khlorogenat dan asam isokhlorogenat, serta berkonjugasi dengan asam tartarat untuk menghasilkan kafeotartarat dan dikafeotartarat. Keempat senyawa fenol ini terakumulasi pada permukaan selada dan seledri potong segar dan berasosiasi dengan proses pencoklatan jaringan selanjutnya.

Perlakuan proses minimal yang pada dasarnya merupakan perlakuan terhadap jaringan akan menginduksi sintesis dan selanjutnya akumulasi senyawa-senyawa fenol yang menyebabkan terjadinya pencoklatan jaringan. Perlakuan "Heat Shock" pada seledri atau selada potong segar menyebabkan perubahan arah sintesis protein yaitu tidak lagi menghasilkan enzim induksi-luka yang berperan dalam metabolisme senyawa fenol tetapi membentuk protein enzim HSP yang menguntungkan. Apabila jaringan tanaman dikenakan pada suhu 10°C di atas suhu normal untuk pertumbuhan, maka suhu tersebut akan menginduksi sintesis satu set protein khusus yang disebut HSP. Peristiwa ini terjadi pada semua tanaman sebagai bentuk perlindungan jaringan tanaman terhadap stress akibat suhu tinggi. Sintesis HSP berkaitan dengan penghambatan sintesis protein normal termasuk penghambatan sintesis enzim PAL pada seledri dan selada potong segar. Penelitian Murata et.al (2004) menunjukkan bahwa perlakuan Heat shock dengan suhu 50°C selama 90 detik pada selada potong segar mampu menekan aktivitas enzim PAL, mengurangi akumulasi senyawa fenol, dan mencegah pencoklatan selama penyimpanan. Murata menemukan pula bahwa perlakuan tersebut tidak berpengaruh terhadap kandungan asam askorbat, dan kualitas sensoris produk yang diberi perlakuan jauh lebih tinggi daripada produk yang tidak dikenakan Heat Shock.

Penyimpanan pada suhu rendah sangat diperlukan untuk mencegah pencoklatan buah dan sayuran potong segar selama distribusi dan penjualan karena suhu rendah sangat efektif dalam menurunkan aktivitas enzim penyebab pencoklatan. Laju reaksi yang dikatalisis oleh enzim sangat tergantung atau dikendalikan oleh suhu. Untuk setiap penurunan suhu sebesar 10°C , maka laju reaksi yang dikatalisis oleh enzim akan menurun dua kali lipat. Penurunan suhu akan menyebabkan turunnya energi kinetik molekul-molekul yang bereaksi dan selanjutnya akan menurunkan mobilitas dan "tumbukan" yang diperlukan membentuk kompleks enzim-substrat. Meskipun demikian, suhu penyimpanan tidak boleh terlalu rendah sehingga mengakibatkan terjadinya 'chilling injury' terutama pada buah yang bersal dari daerah tropis.

Penghambatan pencoklatan dan inaktivasi patogen

Penanganan produk segar memerlukan waktu yang panjang yaitu sejak dari lahan sampai produk tersebut berada di meja makan. Dalam kisaran waktu tersebut sangat mungkin terjadi kontaminasi oleh patogen yang menyebabkan penyakit pada manusia, baik saat produk masih di lahan (terbawa oleh hewan atau air penyiraman), saat pemanenan, pengangkutan, pengemasan maupun distribusi. Tidak seperti buah dan sayuran utuh, produk potong segar tidak lagi memiliki penghalang fisik dan kimiawi karena hilangnya epidermis pada saat proses penyiapan (pengupasan atau pemotongan). Hilangnya pelindung ini memungkinkan patogen atau mikroorganisme penyebab penyakit kontak langsung dengan bagian produk yang dapat dimakan sehingga meningkatkan terjadinya pembusukan dan kontaminasi penyebab penyakit. Luka yang terjadi selama penyiapan produk potong segar akan menyebabkan keluarnya cairan sel yang merupakan bahan makanan bagi patogen sehingga dapat tumbuh dan berkembang dengan cepat. Dengan demikian, keamanan produk merupakan hal yang harus diperhatikan pada industri produk potong segar. Industri produk potong segar biasanya menggunakan khlorin dan khlorin dioksida sebagai bahan sanitasi, meskipun demikian, bahan sanitasi tersebut umumnya tidak sesuai dengan senyawa anti-browning karena bahan sanitasi cenderung sebagai senyawa pengoksidasi sedangkan senyawa anti-browning cenderung sebagai senyawa pereduksi. Penggunaan kedua bahan tersebut secara bersama akan mengakibatkan terjadinya pengaruh "saling meniadakan" sehingga manfaat yang diharapkan dari kedua bahan tersebut akan hilang.

Untuk mempertahankan kualitas dan keamanan produk potong segar, diperlukan bahan sanitasi yang sesuai dengan senyawa anti-browning yang sering digunakan atau lebih baik lagi, senyawa yang dapat berfungsi sebagai pencegah pencoklatan sekaligus berfungsi sebagai pencegah pertumbuhan mikrobia. Penelitian akhir-akhir ini menunjukkan bahwa sodium khlorit yang berfungsi sebagai bahan anti mikrobia, dapat menghambat pencoklatan pada apel potong segar melalui penghambatannya terhadap aktivitas enzim PPO (Lu S, et.al 2007). Meskipun demikian, masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menerapkan pemanfaatan senyawa tersebut dalam industri produk potong segar.

Kesimpulan

Pencoklatan merupakan kerusakan fisiologis yang menyebabkan kerugian secara ekonomi karena menurunkan kualitas sensoris sehingga mengurangi minat konsumen untuk membeli buah dan sayuran potong segar. Kebutuhan terhadap pengendalian pencoklatan pada produk potong segar telah menjadi fokus penelitian pada saat ini dan beberapa metoda serta teknologi telah diaplikasikan dengan hasil yang memuaskan. Meskipun demikian, masih sedikit ditemukan bahan yang mampu menghambat pencoklatan secara efektif sekaligus mampu menjamin keamanan pangan serta mempunyai harga yang layak sehingga dapat diaplikasikan pada industri produk potong segar. Sasaran dalam bidang produk potong segar di masa datang adalah menemukan senyawa baru dari sumber alami yang aman bagi konsumen dan efektif untuk mengendalikan pencoklatan pada produk potong segar. Beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pemberian kombinasi perlakuan akan memberikan hasil yang lebih baik karena tidak ada perlakuan tunggal yang efektif dalam mencegah pencoklatan, mempertahankan kualitas produk, memperpanjang umur simpan produk potong segar dan tetap aman bagi konsumen. Rekayasa genetik merupakan salah satu upaya untuk mencegah pencoklatan pada buah dan sayuran. Penemuan produk yang tidak memerlukan pemberian anti-browning akan meringankan masalah dalam menemukan bahan sanitasi yang tidak bertentangan dengan senyawa penghambat pencoklatan, sehingga akan lebih mudah untuk menyediakan produk potong segar yang aman dan berkualitas tinggi.

Senarai Pustaka

Cantos E, Tudela JA, Gil MI and Espin JC (2002). Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(10): 3015–3023

Cooper DA (2004). Carotenoids in health and disease: Recent scientific evaluations, research recommendations and the consumer. <http://jn.nutrition.org/content/134/1/221S.full>

Eissa HA, Fadel HHM, Ibrahim GE, Hassan IM and Elrashid AA (2006). Thiol containing compounds as controlling agents of enzymatic browning in some apple products. *Food Research International* 39(8): 855–863.

Hisaminato H, Murata M and Homma S (2001). Relationship between the enzymatic browning and phenylalanine ammonia-lyase activity of cut lettuce, and the prevention of browning by inhibitors of polyphenol biosynthesis. <http://www.aseanfood.info/Articles/11013714.pdf>

Jiang Y. (2004). Advances in understanding of enzymatic browning in harvested litchi fruit. *Food Chemistry* 88: 443–446.

Jiang YM, Pen L and Li J (2004). Use of citric acid for shelf life and quality maintenance of fresh-cut Chinese water chestnut. *Journal of Food Engineering* 63(3): 325–328.

Kang HM and Saltveit ME (2003). Wound-induced increases in phenolic content of fresh-cut lettuce is reduced by a short immersion in aqueous hypertonic solutions. <http://ucce.ucdavis.edu/files/datastore/234-2270.pdf>

Loaiza-Velarde JG, Mangrich ME, Campos-Vargas R and Saltveit ME (2003). Heat shock reduces browning of fresh-cut celery petioles. *Postharvest Biology and Technology* 27(3): 305–311

Lu S, Luo Y, Turner E and Feng H (2007). Efficacy of sodium chlorite as an inhibitor of enzymatic browning in apple slices. *Food Chemistry* 104(2): 824–829.

McHugh TH and Senesi E (2000). Apple Wraps: A novel method to improve the quality and extend the shelf life of fresh-cut apples. <http://lib3.dss.go.th/fulltext/Journal/Journal%20of%20food%20science/2000%20v.65/no.3/jfsv65n3p0480-0485ms19990716%5B1%5D.pdf>

Murata M, Tanaka E, Minoura E and Homma S (2004). Quality of cut lettuce treated by heat shock: prevention of enzymatic browning, repression of phenylalanine ammonia-lyase activity, and improvement on sensory evaluation during storage. www.aseanfood.info/Articles/11013528.pdf

Qiang He and Yaguang Luo (2007). Enzymatic browning and its control in fresh-cut produce. *Steward Postharvest Review* 6:3.

Robards K, Prenzler PD, Tucker G, Swatsitang P and Glover W (1999). Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. www.citeulike.org/user/ikeanyaogu/article/10780906

Subramanian N, Venkatesh P, Ganguli S and Sinkar VP (1999). Role of polyphenol oxidase and peroxidase in the generation of black tea theaflavins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47(7): 2571–2578.

Tian SP, Xu Y, Jiang AL and Gong QQ (2002). Physiological and quality responses of longan fruits to high-O₂ or high-CO₂ atmospheres in storage. *Postharvest Biology and Technology* 24: 335–340.

WangYS, Tian SP and XuY (2005). Effect of high oxygen concentration on pro- and anti-oxidant enzymes in peach fruits during postharvest periods. <http://europepmc.org/abstract/AGR/IND43775196>

Yurong Ma, Qingguo Wang, Gyunghoon Hong and Marita Cantwell (2010). Reassessment of treatments to retard browning of fresh-cut Russet potato with emphasis on controlled atmospheres and low concentrations of bisulphate. <http://ucce.ucdavis.edu/datastore/234-1649.pdf>