



# VISI

Volume 25

Nomor 2

Juni 2017

**Penanganan Reaksi Enzimatis Pencoklatan  
Pada Buah dan Sayur Serta Produk Olahannya  
Erika Pardede**

**Interpretasi dan Analisis Fraunliebe Und Leben Karya Robert Schumann  
Hendrik L. Simanjuntak<sup>1)</sup> dan Kartini RM Manalu<sup>2)</sup>**

**Strategi Komunikasi Pemasaran Dinas Kebudayaan dan Pariwisata Kota Medan  
dalam Memasarkan Kota Medan Sebagai Kota Wisata  
Indah Cindy Simamora**

**Sangkan Paran Demokrasi Pancasila dalam Pilkada  
Melvin M. Simanjuntak**

**The Effect of Learning Genre in Identifying English Texts  
by The Third Students in English Departement of Nommensen University  
Fenty Debora Napitupulu**

**Pendidikan Agama Kristen Yang Memberdayakan  
(Studi Tentang Model Pendidikan Konsientisasi Paulo Freire)  
Sunggul Pasaribu**

**Pengukuran Tahanan Pembumian Peralatan Rumah Tangga di Kota Medan  
Leonardus Siregar**

**Upaya Meningkatkan Hasil Belajar dengan Penerapan  
Model Pembelajaran Kooperatif Tipe Stad**

**Di Kelas X SMA Budi Murni 1 Medan Tahun Pembelajaran 2016/2017  
Kartini Bangun**

**Improving Students Listening Comprehension Through Multimedia Application  
Andromeda Valentino Sinaga**

**Pengaruh Implementasi Kebijakan Undang-Undang No.11 Tahun 2016  
Tentang Pengampunan Pajak Terhadap Efektivitas Penerimaan Pajak  
di Kantor Pelayanan Pajak Pratama Rantau Prapat  
Monang Sitorus**

**Pengaruh Pemberian Kulit Pisang Raja Terhadap Performan Kambing Kacang  
Magdalena Siregar dan Julianto Simbolon**

Majalah Ilmiah  
Universitas HKBP Nommensen

## PENANGANAN REAKSI ENZIMATIK PENCOKLATAN PADA BUAH DAN SAYUR SERTA PRODUK OLAHANNYA

Erika Pardede

Dosen Program Studi Teknologi Hasil Pertanian

Fakultas Pertanian

Universitas HKBP Nommensen

### *Abstract.*

*Color plays an important role in appearance and acceptability of fruits and vegetables. Changes in color of fruits and vegetables take place through enzymatic mechanism in which polyphenol oxidases (PPOs) catalyze the oxidation of phenolic compounds to quinones, which subsequently produce brown pigments through spontaneous non-enzymatic polymerization. Browning coloration of many fruits and vegetables may develop during ripening, handling, storage and processing, when tissue are wounded by cutting, bruising, or during peeling, slicing or pulping of raw material while on preparation. Therefore, it is important to control the browning process as it affects appearance, nutritional quality and quantity of marketable produces. This paper focuses on the nature of browning enzymatic in fruits and vegetables, and its controlling methods.*

*Key words: fruit and vegetables, browning enzymatic, polyphenol oxidases, phenolic compounds*

### 1. PENDAHULUAN

Salah satu bentuk kerusakan komoditi buah dan sayur adalah terbentuknya warna coklat pada daging buah baik yang terlihat di bagian permukaan yang terluka atau terpotong, atau di bagian dalam akibat benturan. Banyak jenis buah dan sayuran tropik dan subtropik yang peka terhadap reaksi pencoklatan, seperti pir, nenas, kentang, terong, apel. Warna coklat tersebut dihasilkan oleh pigmen yang terbentuk melalui reaksi kimia yang dikatalisis oleh enzim-enzim polifenoloksidase (*polyphenol oxidase/PPO*).

Meskipun bagian yang mengalami pencoklatan tidak berbahaya dari segi keamanan pangan, akan tetapi dari segi penampilan menyebabkan buah dan sayur menjadi tidak menarik. Tidak hanya perubahan warna menjadi tidak menarik, reaksi ini juga diikuti dengan pelembehan jaringan serta kehilangan flavor (cita-rasa) pada buah dan sayur. Dengan penurunan atribut mutu yang terjadi maka umur simpan pun akan semakin pendek.

Bukan hanya pada buah utuh segar, tetapi pada bahan baku berupa buah dan sayur yang membutuhkan pengupasan, pengecilan ukuran melalui pemotongan atau pengirisan, pengambilan daging buah (*pulping*) serta penghancuran daging buah perubahan sangat rentan mengalami pencoklatan. Perubahan warna menjadi coklat mengakibatkan penampilan produk yang tidak disukai bahkan tidak memenuhi kriteria warna, sebagai contoh pada produk jus buah reaksi pencoklatan menyebabkan warna yang tidak cerah dan tidak menarik.

Kehilangan mutu dapat menyebabkan ketersediaan bahan serta kerugian secara ekonomi yang sangat signifikan. Reaksi pencoklatan enzimatis pada buah dan sayur serta produk olahannya merupakan masalah penting yang banyak dikaji atau pun diteliti. Meskipun demikian, pada beberapa produk seperti buah kurma kering, buah anggur kering (*raisin*) dan pisang sale warna coklat justru diinginkan.

## 2. PENCOKLATAN ENZIMATIK

Pencoklatan enzimatis merupakan suatu proses yang sangat kompleks yang melibatkan reaksi oksidasi senyawa-senyawa fenolik yang dikatalisir oleh enzim-enzim polifenoloksidase (*polyphenol oxidase/PPO*) atau oleh peroksidase (*peroxidase /POD*). Reaksi ini mengakibatkan perubahan warna jaringan buah dan sayur akibat terbentuknya pigmen berwarna coklat. Baik enzim PPO maupun POD tersebar secara luas di dalam jaringan tanaman. Pada jaringan tanaman yang hidup, reaksi ini sesungguhnya merupakan bagian mekanisme pertahanan diri terhadap patogen dan serangga yang herbivorik melalui pembentukan suatu penghalang fisik.

Meskipun secara umum disebut sebagai reaksi pencoklatan, warna yang terbentuk dapat bervariasi dari kuning, coklat kemerahan, abu-abu kebiruan hingga kehitaman. Variasi warna yang terbentuk tersebut tergantung pada jenis senyawa fenolik yang terlibat dalam reaksi. Senyawa fenolik yang secara alami terdapat pada buah dan sayur sangat beragam dan tidak semuanya dapat berperan sebagai substrat pada reaksi pencoklatan enzimatis. Beberapa diantara senyawa yang aktif sebagai substrat pada reaksi pencoklatan adalah: asam klorogenat, katekol, katekin, asam kafeinat, dan dihidroksifenilalanin (3,4-dihydroxyphenylalanine ; DOPA).

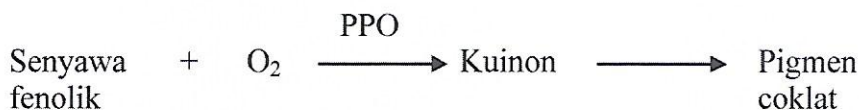
Tabel 1. Senyawa-senyawa fenolik pada buah dan sayur:

| Senyawa fenolik                          | Buah dan sayur   |
|--|--|
| Chlorogenic acid                         | Apel, aprikot, alpukat, terong, anggur, mangga, peach, pir, plum |
| Isochlorogenic acid                      | Aprikot  |
| Catechol                                 | Apel, aprikot, alpukat, anggur, mangga, peach, pir               |
| Catechin                                 | Apel, aprikot, anggur, mangga, peach, pir, plum                  |
| Epicatechin                              | Aprikot  |
| Caffeic acid                             | Apel, aprikot, alpukat, terong, anggur, mangga, peach, pir, plum |
| 3,4-dihydroxyphenylalanine (DOPA)        | Apel, alpukat, anggur, mangga, pir, plum                         |
| 3,4-dihydroxy benzoic acid               | Apel, pir  |
| p-cresol                                 | Apel, aprikot, mangga, pir                                       |
| 4-methyl catechol                        | Apel, alpukat, mangga, peach                                     |
| Leucocyanidin                            | Apel, pisang   |
| Leucodelphinidin                         | Pisang   |
| p-coumaric acid turunannya               | Apel, terong   |
| Turunan p-coumaric acid                  | Aprikot  |
| Flavanol                                 | Aprikot, anggur  |
| Flavanol glycosides                      | Apel   |
| Pyrogallol                               | Aprikot, alpukat, peach  |
| 3,4-dihydroxyphenylethylamine (Dopamine) | Alpukat, Pisang, mangga, peach                                   |
| Dopamine-HCl                             | Mangga   |
| Turunan cynamic acid                     | Terong   |
| Tannin                                   | Anggur   |
| Protocatechuic acid                      | Anggur   |
| Resorcinol                               | Anggur   |
| Hydroquinone                             | Anggur   |
| Phenol                                   | Anggur   |
| Tyrosine                                 | Mangga   |
| Gallic acid                              | Peach  |

Disarikan dari Lozano (2006)

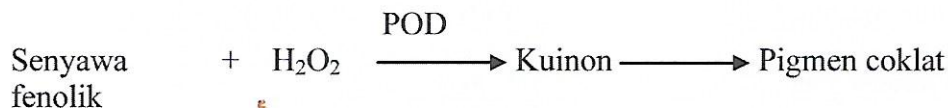
Reaksi pencoklatan terjadi dengan prekursor utama enzim PPO, yang terdapat pada plastida yakni salah satu kompartmen dalam sel, sementara kompartmen lainnya yakni vakuola ditempati oleh senyawa-senyawa fenolik. PPO memiliki dua buah atom Cu pada bagian aktifnya. Ketika sel mengalami kerusakan atau pecah, baik PPO maupun senyawa fenolik keluar dari kompartmen sehingga memiliki kesempatan untuk bereaksi. Dengan kehadiran oksigen, PPO mengkatalisir reaksi oksidasi

senyawa-senyawa fenolik menjadi kuinon (*quinones*). Reaksi pembentukan kuinon ini diawali dengan reaksi hidroksilasi monofenol menjadi difenol, dan diikuti dengan reaksi oksidasi *o*-difenol menjadi *o*-kuinon. Kuinon yang bersifat sangat reaktif bergabung secara spontan melalui reaksi polimerisasinya dengan sesamanya, atau dengan senyawa fenolik lainnya membentuk pigment berwarna coklat yakni melanin (Queiroz, 2008; Ionita, 2013). Senyawa lain yang dapat bereaksi dengan kuinon antara lain group amino pada protein, amina, senyawa tiol atau asam askorbat.

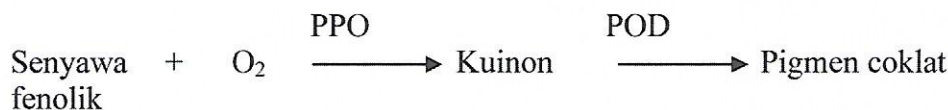


Keterlibatan oksigen dalam reaksi ini adalah mutlak, sehingga pencoklatan enzimatis pada buah dan sayur terjadi ketika jaringan terpapar terhadap oksigen baik yang ada di dalam jaringan sendiri maupun yang ada di udara. Jaringan buah atau sayur yang mengalami luka atau tekanan biotik menghasilkan suatu signal kimiawi yang mendorong aktifitas enzim fenilalanin ammonia lipase (*phenylalanine ammonia lyase /PAL*) yang merupakan enzim kunci dalam mengontrol pembentukan senyawa fenolik. Hal ini menyebabkan terakumulasinya senyawa fenolik di bagian jaringan yang terluka, yang siap teroksidasi dengan bantuan PPO, yang selanjutnya menghasilkan pigment coklat.

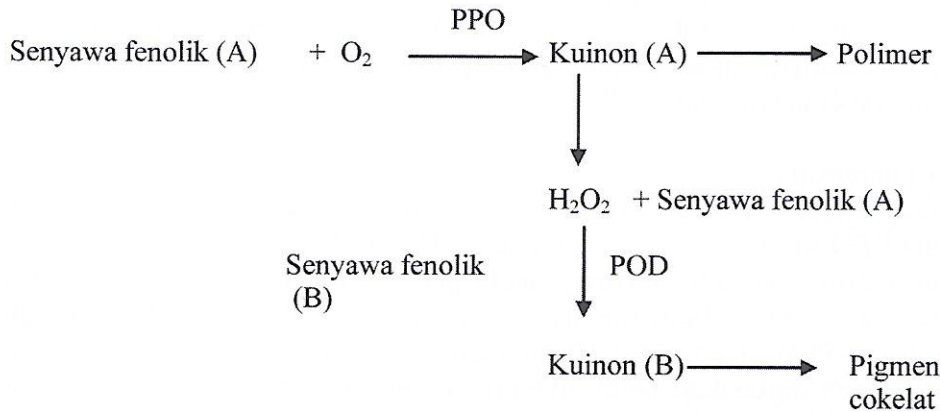
Jalur reaksi lainnya adalah reaksi antara senyawa fenolik dengan hidrogen peroksida dengan bantuan enzim peroksidase (POD) yang menghasilkan kuinon dan selanjutnya menghasilkan pigment coklat sebagai berikut:



Kehadiran enzim peroksidase (POD) selain mengkatalisis reaksi fenolik dengan peroksida, juga dapat mengkatalisis pembentukan pigment coklat dari senyawa kuinon.



Kehadiran oksigen dan hidrogen peroksida secara bersama-sama juga menambah kompleksnya jalur pembentukan pigmen coklat seperti yang digambarkan pada skema berikut.



Dengan demikian pencoklatan enzimatik dapat terjadi lewat beberapa alternatif jalur reaksi. Reaksi ini dipengaruhi atau tergantung kepada jumlah senyawa fenolik yang ada, aktifitas enzim PPO dan POD, serta ketersediaan oksigen.

### 3. PENGHAMBATAN PENCOKLATAN ENZIMATIK

Berbagai teknik dikembangkan untuk mencegah atau mengurangi reaksi pencoklatan, baik secara fisik maupun kimia. Begitu pigmen coklat terbentuk maka reaksi tidak dapat dibalikkan lagi (*irreversible*). Pada prinsipnya adalah dengan mengeliminasi faktor-faktor yang terlibat dalam reaksi untuk dapat mengontrol atau menghambat keberlangsungan reaksi, seperti oksigen, enzim, tembaga (Cu) dan substrat polifenol. Dalam prakteknya kombinasi kimia dan fisik sering dilakukan secara simultan untuk mendapatkan hasil terbaik.

#### 3.1. Penghambatan dengan bahan kimia

Penggunaan bahan kimia untuk menghambat reaksi pencoklatan ditujukan untuk menghambat pembentukan pigmen coklat. Karena begitu pigmen coklat terbentuk maka reaksi tidak dapat dibalikkan lagi (*irreversible*). Berbagai bahan kimia yang digunakan mengontrol reaksi pencoklatan, baik senyawa yang bereaksi langsung dengan enzim, atau dengan substrat, atau

dengan produk antara dalam reaksi sebelum pigmen coklat terbentuk. Berdasarkan mekanisme kerja penghambatannya, senyawa tersebut dapat dikelompokkan menjadi bahan pengasam (*acidulants*), bahan pereduksi (*reducing agents*), bahan pengkelat (*chelating agents*), atau kelompok lain yang menghambat enzim maupun yang membentuk senyawa kompleks (Iyegar dan Mc.Evily, 1992). Beberapa jenis bahan kimia yang digunakan sebagai penghambat pencoklatan antara lain sulfit, asam askorbat, posfat asam askorbat, natrium askorbat, asam sitrat, asam benzoat, natrium benzoat, natrium klorida, kalsium klorida, zink klorida, asam sinamat, natrium sinamat, sistein, glutation,  $\beta$ -cyclodektrin dan kombinasinya (Lozano de Gonzales dkk. 1993).

### ***Bahan pengasam***

Aktifitas enzim PPO dipengaruhi oleh tingkat kemasaman pada media, dimana PPO sangat aktif dalam rentang pH netral hingga asam. PPO pada melon memiliki aktifitas tertinggi pada pH 7 – 7,5 tergantung varietasnya (Chisari dkk., 2008). Pada kondisi sangat masam, yakni pada pH di bawah 3,5 aktifitas PPO sangat kecil. Bahan pengasam seperti asam sitrat dan asam malat banyak digunakan untuk mengontrol pH dalam rangka menghambat reaksi pencoklatan enzimatis.

### ***Bahan pereduksi***

Seperti yang dijelaskan sebelumnya reaksi awal pencoklatan adalah reaksi oksidasi yang dikatalisis oleh PPO yang menghasilkan *o*-kuinon yang tidak berwarna. Penambahan bahan pereduksi akan mereduksi kembali *o*-kuinon menjadi senyawa fenolik. Selama bahan pereduksi tersedia reaksi polimerisasi *o*-kuinon dapat dicegah. Ketika senyawa pereduksi habis terpakai reaksi polimerisasi *o*-kuinon akan berlangsung karena senyawa pereduksi telah teroksidasi secara irreversibel. Dengan demikian perlindungan yang diberikan oleh bahan pereduksi bersifat sementara. Ketika senyawa tersebut habis terpakai sementara reaksi oksidasi pencoklatan yang dikatalisir PPO masih terjadi, *o*-kuinon yang dihasilkan lewat proses polimerisasi akan membentuk pigmen coklat.

Bahan pereduksi yang banyak digunakan adalah kelompok antioksidan seperti sulfit dan turunannya, asam askorbat dan turunannya, hexylresorcinol, erythorbic acid, N-acetyl cysteine, cysteine hydrochlorid dan glutation (Ionita, 2013; Lozano de Gonzales dkk. 1993). Sulfit banyak digunakan khususnya pada produk buah kering, jus serta minuman anggur. Adanya pelarangan penggunaan sulfit di beberapa negara, yang dihubungkan dengan problem kesehatan yang diasosiasikan dengan efek alergi bagi sebagian konsumen yang sensitif, sebagai pemicu asma,

menyebabkan papor sulfit berkurang dan mendorong pencarian alternatif terhadap sulfit sebagai bahan anti pencoklatan.

Bahan pereduksi yang sangat potensial setelah sulfit adalah asam askorbat, yang juga dikenal sebagai vitamin C. Asam askorbat memberikan efek ganda, yakni sebagai pengasam dapat menurunkan pH sekaligus berperan sebagai bahan pereduksi. Kelemahan asam askorbat adalah mudahnya senyawa ini teroksidasi menjadi asam dehidro askorbat yang tidak lagi memiliki aktifitas sebagai bahan pereduksi. Pardede (1994) menggunakan larutan asam askorbat sebagai bahan anti browning untuk daging buah *custard apple* yang telah disimpan beku, dan menemukan bahwa daging buah *custard apple* yang disimpan beku selama 1 bulan yang dicelupkan ke dalam larutan 4% asam askorbat mampu menahan pencoklatan selama 4 jam selama proses *thawing* (pencairan), dan menahan pencoklatan selama 2 jam untuk yang dibekukan selama 3 bulan. Sementara pada potongan mangga segar, Gonzaler-Aquilar dkk. (2008) menemukan bahwa kecerahan warna potongan mangga menurun sejalan dengan waktu penyimpanan pada 5°C. Dalam penelitian tersebut, juga ditemukan bahwa asam askorbat menjadi pelindung paling efektif terhadap perubahan warna mangga dibandingkan dengan perlindungan yang diberikan oleh pengemasan dengan atmosfer termodifikasi maupun penggunaan pelapis.

Penggunaan glutathione sebagai anti browning untuk jamur dilakukan oleh Xia (2013), dimana ditemukan glutathione hingga konsentrasi 0,08% dapat menurunkan aktifitas PPO hingga 98%. Laju penghambatan sangat tinggi hingga konsentrasi hingga 0,06%, dan berangsur melambat hingga 0,08%, sementara di atas 0,08% tidak menghasilkan penghambatan lanjutan.

#### ***Bahan pengkelat***

PPO memiliki logam tembaga (Cu) pada bagian aktifnya, yang tanpa keberadaannya enzim tidak dapat melakukan aktifitasnya sebagai katalis. Kehadiran senyawa yang dapat mengikat atau memerangkap logam Cu ini dapat menghambat reaksi pencoklatan. Kelompok senyawa demikian dikategorikan sebagai bahan pengkelat. Bahan pengkelat, seperti EDTA (*Ethylenediamine tetraacetic acid*), dapat menghambat reaksi pencoklatan dengan cara mengkelat (*chelate*) logam tembaga (Cu) yang terikat pada bagian aktif PPO. Asam sitrat berperan sebagai bahan pengkelat disamping sebagai bahan pengasam. Disamping itu senyawa resorsinol seperti 4-hexyresorsinol dan asam polifosfat dan turunannya juga merupakan bahan pengkelat yang baik.



### 3.2. Penghambatan dengan cara fisik

#### *Pengurangan ketersediaan oksigen*

Reaksi oksidasi enzimatis dapat dikontrol dengan mengurangi atau menghambat kontak antara substrat dengan oksigen. Pada buah dan sayur yang harus melalui proses pemotongan/pengirisan dapat direndam di dalam air atau dalam cairan sirup sebelum diolah lebih lanjut. Hal ini ditujukan untuk menurunkan kontak oksigen dengan substrat fenolik yang terakumulasi pada permukaan potongan. Kelemahan teknik ini adalah reaksi oksidasi segera berlangsung secara cepat begitu bahan terpapar kembali dengan oksigen.

Pengurangan ketersediaan oksigen juga dilakukan dengan cara pengemasan yang termodifikasi dan pengemasan yang terkontrol. Titik kritis pada penyimpanan ini adalah bahwa ketiadaan oksigen sama sekali pada kemasan buah dan sayur segar dapat berakibat berlangsungnya respirasi anaerob yang tidak diinginkan. Modifikasi atmosfer dapat dicapai dengan sendirinya oleh bahan selama pengemasan, atau lewat modifikasi aktif selama pengemasan.

Teknik lain dalam pengurangan oksigen adalah dengan teknik pelapisan. Penggunaan pelapis yang dapat dimakan (*edible coating*) semakin mendapat perhatian dewasa ini, khususnya untuk produk berupa potongan buah dan sayur segar (*fresh-cut*). Selain memperlambat respirasi, perlindungan yang diberikan oleh pelapis akan menggantikan peran pelapis alami bahan serta mengurangi kehilangan air, mempertahankan warna dan tekstur serta mengurangi perkembangan mikroorganisma. Bahan pelapis yang dapat dimakan dikembangkan dari material berbasah dasar lipid seperti lilin (*wax*), berbasah dasar polisakarida seperti ekstrak rumput laut, ekstrak lidah buaya, berbasah dasar protein seperti protein kedelai, protein jagung, maupun material yang merupakan komposit ketiganya seperti dapat dilihat pada table berikut (Lin and Zhao, 2007).

#### *Pengelolaan suhu (pendinginan dan pemanasan)*

Sebagaimana reaksi kimia lainnya, reaksi pencoklatan enzimatis dipengaruhi oleh suhu. Pada suhu rendah, baik suhu dingin maupun beku, bukan hanya laju reaksi metabolisme tetapi termasuk aktifitas enzim juga melambat. Penyimpanan dingin buah dan sayur menurunkan laju reaksi pencoklatan. Dalam studinya, Chisari dkk (2008) menemukan bahwa pada dua cultivar melon Charentais' and 'Amarillo', yang disimpan pada 60°C menunjukkan aktifitas PPO yang paling maksimum, dan terjadi pengurangan aktifitas hingga 50% ketika suhu penyimpanan antar pada kisaran 45°C, dan pada 5°C sangat terhambat dimana hanya menunjukkan

aktifitas pada kisaran 15 hingga 16 %. Trend yang sama ditemukan pada aktifitas POD dimana pada penyimpanan 5°C menunjukkan aktifitas yang menurun hingga 25 – 31%.

Akan halnya suhu tinggi, pemanasan juga dapat menonaktifkan enzim. Struktur alami enzim yang merupakan protein sangat sensitif terhadap panas, dimana panas dapat merusak struktur protein sehingga kehilangan karakteristik aslinya. Reaksi ini dikenal dengan denaturasi. Demikian halnya ketika suatu produk yang mengandung PPO mengalami pemanasan, PPO menjadi nonaktif karena strukturnya terdenaturasi oleh panas. Blansir menonaktifkan enzim pada buah dan sayur. Proses blansir dilakukan sebagai perlakuan pendahuluan pada pengolahan buah dan sayur sebelum proses lanjutan seperti pada pembekuan, pengalengan maupun pengeringan.

Blansir dapat membuat warna buah atau sayur nampak lebih cerah, dalam hal ini diakibatkan tercucinya kotoran pada permukaan bahan dan juga keluarnya udara yang terperangkap pada permukaan bahan. Keduanya dapat mengakibatkan panjang gelombang warna yang direfleksikan berubah. Disamping itu, dalam buah dan sayur terdapat juga pigmen-pigmen yang berbeda kepekaannya terhadap panas. Sehingga blansir juga dapat berakibat kerusakan pigment tergaantung kekuatan panas yang diberikan. Untuk mengantisipasi kerusakan akibat proses lanjutan misalnya pengeringan dan pembekuan, proses blansing dapat dikombinasikan dengan pemberian antioksidan.

Metoda blansir dapat berupa pencelupan dalam air panas, pemaparan bahan pada atmosfer berisi uap panas, dan metoda yang dewasa ini juga dikembangkan adalah dengan mikrowave. Sering juga pembansiran ini dikombinasikan dengan penggunaan bahan kimia. Dalam penelitiannya Sims and Bates (1994) membuktikan bahwa pemanasan puree pisang sebelum dijadikan jus merupakan cara yang efektif untuk menonaktifkan PPO, bahkan jika pemanasan dilakukan terhadap pisang utuh berkulit PPO pada jus juga sudah tidak aktif. Sedangkan Kadam dkk. (2008) menemukan pencoklatan bunga kol menurun secara nyata sejalan dengan lamanya proses blansir, dan meningkat sejalan dengan lama penyimpanan. Hal ini berlaku pada proses pembansiran tanpa- maupun dengan kalium metabisulfit (0,5 – 1,5%) sebagai bahan antioksidan, dan lama penyimpanan bunga kol kering selama enam bulan.

### *Microwave*

Efek panas dalam menonaktifkan enzim juga didapat melalui penggunaan gelombang mikro dalam menghasilkan panas. Sánchez-Hernández, dkk.

(1999) menemukan bahwa sisa aktifitas enzim PPO pada ekstrak jamur kancing yang sangat kecil ketika dipaparkan dengan gelombang mikro 2450MHz, sekaligus dapat mempertahankan nilai gizi jamur. Hal ini berbeda nyata dengan jamur yang mendapatkan panas lewat pemanasan secara konvensional menggunakan air panas. Peningkatan laju pencoklatan juga yang sangat tinggi dan lebih dini juga ditemukan pada penggunaan air panas, sedangkan jamur yang menerima gelombang mikro menunjukkan aktifitas pencoklatan yang bertambah secara berangsur dan lebih lambat. Hal ini dikaitkan dengan kinetika panas yang berbeda antara microwave dengan pemanasan konvensional, dimana peningkatan suhu terjadi lebih cepat pada microwave, sehingga pengaruhnya dalam menonaktifkan aktifitas enzim lebih cepat berlangsung dibanding pada proses penggunaan air yang dipanaskan.

Cávez-Reyes dkk (2013) juga menemukan bahwa penggunaan gelombang mikro 478 Watt dengan alat microwave oven dengan variasi waktu hingga 300 detik, atau setara dengan 0,17 – 0,57 kJ/gr, dapat menurunkan aktifitas PPO. Semakin tinggi energi yang diberikan semakin kecil aktifitas PPO pada bahan, bahkan dengan energi 0,38 kJ/gr PPO total menjadi tidak aktif. Hal ini juga ditandai dengan tingginya integritas dari senyawa fenolik yang terdapat pada buah *loquat* dibanding pada buah segar.

#### ***Iradiasi***

Iradiasi adalah pemaparan suatu bahan secara langsung terhadap gelombang elektromagnetik berkas elektron, seperti sinar gamma yang berasal dari radioaktif Kobalt (Co) dan Cs, sinar-X, dan berkas elektron benergi tinggi yang berasal dari akselerator elektron. Iradiasi dengan dosis rendah digunakan untuk memperpanjang masa simpan buah dan sayur, mencegah pertunasan pada produk berbentuk umbi-umbian. Ditemukan oleh Zhang dkk. (2006), bahwa iradiasi dengan dosis 1,0 kGy dapat memperpanjang masa simpan lettuce hingga 9 hari, dan dosis yang sama juga dapat menurunkan aktifitas PPO hingga 73% selama penyimpanan 3 hari pada suhu pendinginan 4oC, tetapi kemudian berangsur naik kembali setelah 9 hari penyimpanan meskipun masih 25% di bawah aktifitas PPO pada lettuce yang tidak diiradiasi.

#### ***Tekanan hidrostatik tinggi (High Hydrostatic Pressure; HHP)***

Proses dengan tekanan hidrostatik tinggi adalah proses pemaparan suatu produk terhadap tekanan tinggi, 400 – 600 Mpa (Penchalaraju dan Shireesha, 2013; Rastogi, 2010). Teknik ini telah sukses digunakan untuk mengawetkan bahan pangan karena dapat menghambat dan memusnahkan

mikroorganisme pembusuk dan patogen. Meskipun demikian tidak semua produk cocok untuk diproses dengan HHP.

Perubahan dalam struktur serta konfigurasi molekul protein dapat juga terjadi oleh tekanan. Prinsip ini lah yang mendasari aplikasi HHP dalam menonaktifkan enzim yang merupakan suatu protein. Perubahan konfigurasi struktur terutama pada bagian aktif protein menyebabkan enzim kehilangan fungsionalitasnya termasuk dalam mengkatalisir reaksi (Rastogi, 2010). Dengan demikian kombinasi besarnya tekanan dan lama aplikasi dapat digunakan untuk mengontrol reaksi pencoklatan enzimatik pada buah dan sayur.

Perlakuan HPP berhasil menonaktifkan PPO pada jus apel (Bayindirli dkk., 2006). Effect HPP terlihat pada kekuatan 450Mpa, dimana aktifitas PPO sudah mengalami penurunan dimulai setelah 30 menit proses berlangsung. Penurunan aktifitas PPO ini berkorelasi dengan tingkat pencoklatan yang terjadi. Ketika HPP dilakukan di bawah kondisi 450Mpa dan suhu 50°C selama 60 menit, tidak terjadi pencoklatan sama sekali pada jus apple, sedang pada suhu 25°C selama 60 menit terjadi sedikit pencoklatan. Hal ini menunjukkan bahwa HPP dapat lebih efektif ketika dikombinasikan dengan suhu tinggi.

#### **PENUTUP**

Tersedianya beberapa metoda pengontrolan dan penghambatan reaksi pencoklatan enzimatis pada buah dan sayur sangat bermanfaat dalam mengurangi kerusakan produk dan kehilangan ekonomi yang diakibatkannya. Disamping teknik terbaru seperti microwave dan HHP, masih terdapat teknik lainnya yang sedang dalam pengembangan seperti *ohmic heating* maupun radiasi ultra-violet.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Adam, J.B. 2010. Effect of enzymatic reaction on colour of fruits and vegetables, *di dalam* Enzymes in Fruit and Vegetable Processing: Chemistry and engineering application. Bayindirli, A. (Ed.). CRC Press: Boca Raton
- Bayindirli, A., Alpas, H., Bozoglu, F. Dan Hizal, M. 2006. Efficiency of high pressure treatment on inactivation of pathogenic microorganisms and enzymes in apple, orange, apricot and sour cherry juices. *Food Control* 17: 52-58

- Cávez-Reyes, Y., Dorantes-Alvarez, L., Arrienta-Baez, D., Osorio-Esquivel, O. dan Ortiz-Moreno, A. 2013. Polyphenol oxidase inactivation by microwave oven and its effect on phenolic profile of loquat (*Eriobotrya javonica*) fruit. *Food and Nutrition Sci.* 4: 87-94
- Chisari, M, Barbagallo, N.R., dan Spagna, G. 2008. Characterization and role of polyphenol oxidase and peroxidase in browning of fresh cut melon. and *Jour. Agric. Food. Chem.*56: 132-138
- Gonzalez-Aquilar, G.A., Celis, J., Sotelo-Mundo, R.R., de la Rosa, R.A., Rodrigo-Garcia, J. dan Alvarez-Parilla, E. 2008. Physiological and biochemical changes of different fresh-cut mango cultivars stored at 5°C. *Int. Journal of Food Sci. and Tech.* 43:91-101
- Ionitã , E. 2013. Plant Polyphenol Oxidases. *Innovative Romanian Food and Biotechnology* 13: 1-10
- Iyengar, R dan McEvily, A.J. 1992. Anti-browning agents: alternatives to the use of sulfites in foods. *Trends in Food Science & Technology* 3: 60 - 63
- Kadam, D.M., Samuel, D.V.K., Chandra, P. Dan Sikarwar, H.S. 2008. Impact of processing treatments and packaging material on some properties of stored dehydrated cauliflower. *Int. Journal of Food Science and Technology* 43:1-14
- Lozano de Gonzales, P.G., Barrett, D.M., Wrolstad, R.E. dan Durst, R.W. 1993. Enzymatic browning inhibited in fresh and dried apple rings by pineapple juice. *J. Food. Science* 58(2):399-404
- Lozano, J.E. 2006. Fruit Manufacturing: Scientific basis, engineering properties, and deteriorative reactions of technological importance. Springer:USA
- Lin, D. and Zhao, Y. 2007. Innovation in the Development and Application of Edible Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits and Vegetables. *Comprehensive Reviews in Food science and Food Safety* Vol. 6: 60 -75
- Pardede, E., Buckle, K.A., dan Srzednicki, G. 1994. Control of browning during the thawing of custard apple pulp. *Food Australia* 46(5):205-206
- Penchalaraja, M. dan Shireesha, B. 2013. Preservation of food by high pressure processing. *Ind. J. Sci. Res. And Tech* 1(3): 30 - 38
- Queiroz, C., Lopes, MLM., Fialho, E., dan Valente-Mesquita, V.L. 2008. Polyphenol oxidase: Characteristics dan mechanisms of browning control. *Food Reviews International* 24:361-375
- Rastogi, N.K. Rhagavarao, K.S.M.S., Balasubramaniam, V.M., Niranjan, K. dan Knorr, D. 2010. Opportunities and challenges in high pressure processing of foods. *Critical reviews in Food Science and Nutrition* 47(1): 69-112

- Sánchez-Hernández, D., Devecce, C., Catalá, J.M., Rodríguez-López, J.N., Tudel, J., García-Cánovas, F. and de los Reyes, E. Enzyme Inactivation Analysis For Industrial Blansir Application Employing 2450 MHz Monomode Microwave Cavities. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 34:239-252
- Sims, C.A. dan Bates, R.P. 1994. Challenges to processing tropical fruit juices: Banana as an example. *Proc. Flo. State Hort. Soc.* 107:315-319
- Xia, Z. 2013. Anti-browning of mushroom (*Agaricus bisporus*) slices by glutathione during hot air drying. *Adv. Journal of Food Science and Technology* 5(8):1100-1104
- Zhang, L., Lu, Z., Lu, F. dan Bie, X. 2006. Preservation of  $\gamma$  irradiation on quality –maintaining of fresh-cut lettuce. *Food Control* 17:225-228