



PROGRAM KREATIVITAS MAHASISWA

**MEMPELAJARI PENGARUH REAKSI PENCOKLATAN
ENZIMATIS PADA BUAH DAN SAYUR**

**BIDANG KEGIATAN :
PKM Artikel Ilmiah**

Diusulkan oleh :

Zulfahnur	(F24060265) / 2006
Rd Rina Nurapriani	(F24061109) / 2006
Tito Tegar	(F24062873) / 2006
Dewi Askanovi	(F24070039) / 2007

**INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2009**

HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul Kegiatan : **Mempelajari Pengaruh Reaksi Pencoklatan Enzimatis Pada Buah Dan Sayur**
2. Bidang Kegiatan : (X) PKM-AI () PKM-GT
3. Ketua Pelaksana Kegiatan
 - a. Nama Lengkap : Zulfahnur
 - b. NIM : F24060265
 - c. Jurusan : Ilmu dan Teknologi Pangan
 - d. Universitas/Institut/Politeknik : Institut Pertanian Bogor
 - e. Alamat Rumah dan No.Tel./HP : Wisma the Village Balebak dalam-Darmaga Bogor/ 08567601033
 - f. Alamat Email : rivendell_1109@yahoo.co.id
4. Anggota Pelaksana Kegiatan/Penulis : 3 orang
5. Dosen Pendamping
 - a. Nama Lengkap dan Gelar : Dian Herawati, STP
 - b. NIP : 132. 324. 489
 - c. Alamat Rumah dan No.Tel./HP : Perumahan IPB Alam Sinarsari,
 - d. JL Kemangi Blok D19 Cibereum/ 081513046290

Bogor, 6 April 2009

Menyetujui,
Ketua Departemen

Ketua Pelaksana Kegiatan

Dr.Ir. Dahrul Syah, M.Sc.Agr
NIP. 131878503

Zulfahur
NIM. F24060265

Wakil Rektor
Bidang Akademik dan Kemahasiswaan

Dosen Pendamping

Prof.Dr.Ir.H. Yonny Koesmaryono, MS.
NIP. 131.473.999

Dian Herawati, STP
NIP. 132. 324. 489

MEMPELAJARI PENGARUH REAKSI PENCOKLATAN ENZIMATIS PADA BUAH DAN SAYUR

ABSTRAK

Reaksi pencoklatan dapat dibagi menjadi dua reaksi utama yaitu pencoklatan enzimatis yang disebabkan oleh enzim fenolase dan pencoklatan non-enzimatis yang terdiri dari karamelisasi dan reaksi Mailard. Pencoklatan enzimatis merupakan reaksi pencoklatan utama yang dapat mempengaruhi mutu dari buah, sayur, dan makanan laut(seafood). Pencoklatan enzimatis dipicu oleh enzim oksidase (1,2 benzenediol; oxygen oxidoreductase, EC1.10.3.1) yang dikenal sebagai phenoloxidase, phenolase, monophenol oxidase, diphenol oxidase and tyrosinase. Dalam jaringan tanaman, phenolase dan substrat fenoliknya terpisah oleh struktur sel. Pemotongan, penyikatan, dan perlakuan lain dapat menyebabkan kerusakan integritas jaringan tanaman. Hal ini menyebabkan enzim dapat kontak dengan substratnya yang biasanya merupakan asam amino tirosin dan komponen fenolik seperti katekin, asam kafeat, dan asam klorogenat. Sehingga substrat fenolik pada tanaman akan dihidroksilasi menjadi 3,4-dihidroksifenilalanin (dopa) dan dioksidasi menjadi kuinon oleh enzim phenolase.

Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui cara-cara mencegah reaksi pencoklatan enzimatis sehingga dapat mempertahankan mutu buah. Sampel yang dipilih untuk percobaan adalah pir, pisang, dan kentang. Ketiga sampel yang dipilih merupakan sampel yang mudah mengalami reaksi pencoklatan enzimatis dan memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Prinsip dari percobaan ini adalah dengan membandingkan intensitas warna pencoklatan (pigmen melamin) sampel yang disebabkan oleh polyphenol oxidase dengan beberapa metode dan perlakuan. Metode yang digunakan dapat diterapkan secara komersial untuk menghindari pencoklatan enzimatis berdasarkan prinsip inaktivasi enzim, penghambatan reaksi substrat dengan enzim, penggunaan chelating agents, oksidator, blansir, dan inhibitor enzimatis.

Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan pada pir, pisang, dan kentang dapat disimpulkan bahwa larutan anti pencoklatan yang paling efektif dalam mencegah reaksi pencoklatan enzimatis adalah larutan metabisulfit 0,5 M

Keywords: pencoklatan enzimatis, inhibitor enzim, oksidator, dan poliphenol oksidase

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Reaksi pencoklatan dapat dialami oleh buah-buahan dan sayur-sayuran yang tidak berwarna. Reaksi ini disebut reaksi pencoklatan karena menyebabkan warna makanan berubah menjadi coklat. Ada beberapa hal yang menyebabkan terjadinya reaksi pencoklatan, salah satunya adalah keberadaan enzim. Reaksi pencoklatan ini dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu reaksi pencoklatan enzimatis dan reaksi pencoklatan non-enzimatis.

Reaksi pencoklatan enzimatis adalah proses kimia yang terjadi pada sayuran dan buah-buahan oleh enzim polifenol oksidase yang menghasilkan pigmen warna coklat (melanin). Proses pencoklatan enzimatis memerlukan enzim polifenol oksidase dan oksigen untuk berhubungan dengan substrat tersebut. Enzim-enzim yang dikenal yaitu fenol oksidase, polifenol oksidase, fenolase/polifenolase, enzim-enzim ini bekerja secara spesifik untuk substrat tertentu (Winarno, 1995). Reaksi ini dapat terjadi bila jaringan tanaman terpotong, terkupas, dan karena kerusakan secara mekanis. Reaksi ini banyak terjadi pada buah-buahan atau sayuran yang banyak mengandung substrat senyawa fenolik seperti catechin dan turunannya yaitu tirosin, asam kafeat, asam klorogenat, serta leukoantosianin.

Reaksi pencoklatan enzimatis pada bahan pangan ini memiliki dua macam dampak yaitu dampak yang menguntungkan dan juga dampak yang merugikan. Dampak yang menguntungkan misalnya saja pada teh hitam, teh oolong dan teh hijau. Reaksi pencoklatan enzimatis bertanggung jawab pada warna dan flavor yang terbentuk. (Fennema, 1996). Begitu juga yang terjadi pada produk pangan lain seperti misalnya kopi. Polifenol oksidase juga bertanggung jawab pada karakteristik warna coklat keemasan pada buah-buahan yang telah dikeringkan seperti kismis, buah prem, dan buah ara.

Reaksi pencoklatan enzimatis ini juga memiliki kerugian yaitu hilangnya nilai gizi pada produk pangan dan dapat merusak flavor dari bahan pangan itu sendiri. Dalam industri pangan perlu dilakukan langkah-langkah untuk meminimalisasi adanya penurunan mutu produk yaitu dengan mengendalikan reaksi pencoklatan enzimatis. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan yakni blansir, pendinginan, pembekuan, mengubah pH, dehidrasi, iradiasi, HPP (High Pressure Processing), penambahan inhibitor, ultrafiltrasi, dan juga ultrasonikasi.

Tujuan

Percobaan ini bertujuan untuk mengamati faktor-faktor yang dapat mempercepat dan menghambat terjadinya pencoklatan enzimatis serta membandingkan pengaruh masing-masing faktor tersebut berdasarkan warna yang tampak pada buah dan sayuran tersebut.

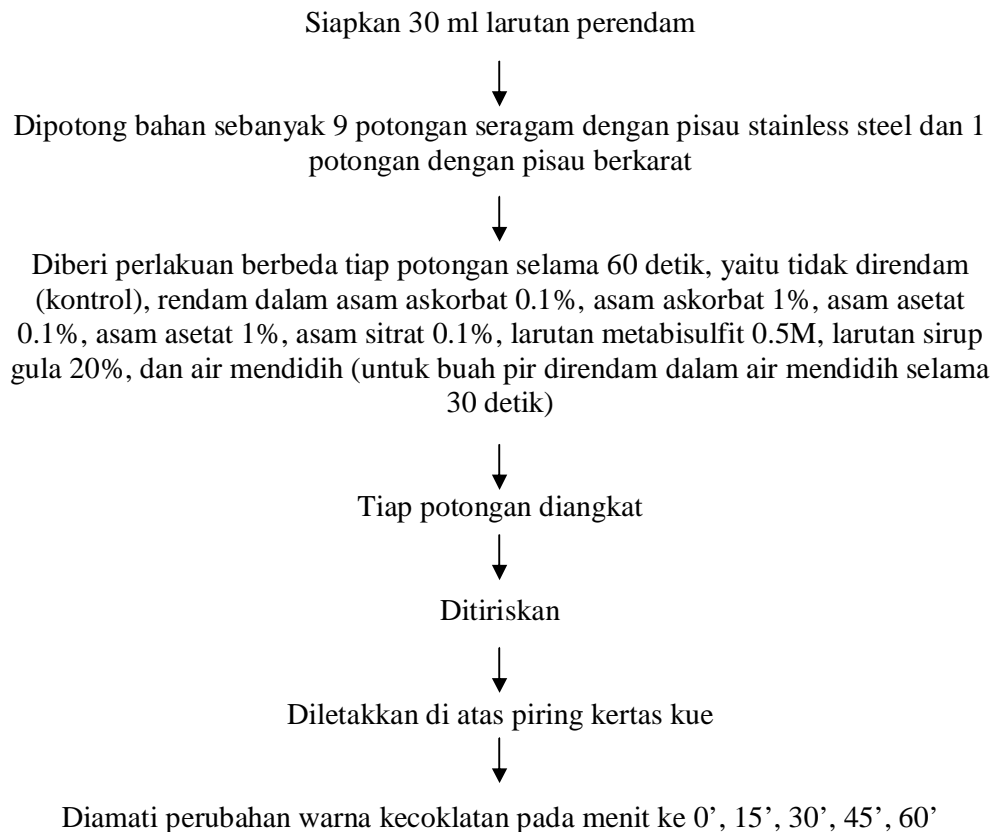
BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan adalah pisau stainless steel, pisau karat (tidak stainless steel), piring kue kertas, gelas aqua untuk wadah merendam potongan bahan, talenan, dan gelas pengaduk.

Bahan-bahan yang digunakan adalah buah pir, pisang, kentang, larutan asam askorbat 0.1% dan 1.0%, asam sitrat 0.1%, asam asetat 0.1% dan 1.0%, larutan metabisulfit 0.5M, larutan sirup gula 20%, dan air.

Metode Percobaan



HASIL PENGAMATAN

Tabel 1. Hasil pengamatan intensitas warna kecoklatan irisan buah pisang pada menit ke-0, 15, 30, 45, 60 ulangan 1 dan ulangan 2

Perlakuan	Menit ke-									
	0'		15'		30'		45'		60'	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Kontrol	-	+	++	+	++ +	++	+++	++	+++	++
Pisau karat	-	-	++	++	++ +	+++	+++	+++	+++	+++
Asam askorbat 0.1%	-	-	+	+	++	+	+++	++	+++	++
Asam askorbat 1%	-	-	-	+	+	+	++	++	++	++
Asam asetat 0.1%	-	-	++	+	++	+	+++	++	+++	++
Asam asetat 1%	-	-	+	+	+	+	+++	++	+++	++
Asam sitrat 0.1%	-	-	++	+	++	+	++	++	++	++
Larutan metabisulfit 0.5M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Larutan sirup gula 20%	-	-	+	+	+	+	++	++	++	++
Air mendidih	-	-	++	++	++	++	++	+++	++	+++

Tabel 2. Hasil pengamatan intensitas warna coklat irisan kentang pada menit ke-0, 15, 30, 45, 60

Perlakuan	Menit ke-									
	0'		15'		30'		45'		60'	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Kontrol	-	-	++	+	++	++	+++	++	+++	+++
Pisau karat	-	-	+	+	++	+	+++	++	++	++
Asam askorbat 0.1%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Asam askorbat 1%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Asam asetat 0.1%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Asam asetat 1%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Asam sitrat 0.1%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Larutan metabisulfit 0.5M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Larutan sirup gula 20%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Air mendidih	-	-	-	-	-	+	-	+	++	++

Tabel 3. Hasil pengamatan intensitas warna kecoklatan irisan buah pir pada menit ke-0, 15, 30, 45, 60 ulangan 1 & 2

Perlakuan	Menit ke-									
	0'		15'		30'		45'		60'	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Kontrol	-	-	++	+	+++	+	+++	++	+++	+++
Pisau karat	-	-	+	+	++	++	++	++	++	++
Asam askorbat 0.1%	-	-	+	+	+	+	+	++	++	+++
Asam askorbat 1%	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+
Asam asetat 0.1%	-	-	+	+	++	+	++	++	++	++
Asam asetat 1%	-	-	+	-	+	-	+	+	+	++
Asam sitrat 0.1%	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+
Larutan metabisulfit 0.5M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Larutan sirup gula 20%	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
Air mendidih	-	-	-	-	-	-	+	+	+	++

Keterangan intensitas warna kecoklatan :

- = tidak berwarna coklat
- + = mulai berwarna coklat
- ++ = hampir separuh berwarna coklat
- +++ = hampir seluruhnya berwarna coklat

PEMBAHASAN

Reaksi pencoklatan (browning) dapat dibedakan menjadi reaksi pencoklatan enzimatis dan reaksi pencoklatan non-enzimatis. Selain itu, reaksi pencoklatan dapat juga diklasifikasikan atas empat tipe reaksi yaitu reaksi Maillard, reaksi karamelisasi, reaksi oksidasi asam askorbat, dan reaksi enzim polifenol oksidase.

Pencoklatan enzimatis yang melibatkan enzim polifenol oksidase ini membentuk melanin sehingga menyebabkan warna coklat. Reaksi yang menyebabkan warna coklat ini merupakan suatu reaksi kimia yang dikenal sebagai oksidatif enzimatis dengan oksigen sebagai katalisator dalam reaksi tersebut. Jadi reaksi pencoklatan enzimatis ini membutuhkan tiga agen utama yaitu oksigen (dibantu katalis Cu^+), enzim (polifenolase/ PPO) serta komponen fenolik. Secara normal, sel memisahkan enzim dari komponen fenolik, tapi ketika buah atau sayuran dipotong atau memar, enzim dan fenol bereaksi dengan kehadiran oksigen membentuk produk yang kecoklatan.

Mekanisme reaksi pembentukan melanin dapat dijelaskan sebagai berikut: Reaksi pertama merupakan pengubahan p-cresol menjadi 4-methylcatechol. Hasilnya yaitu 4-methylcatechol yang tidak stabil dan mengalami oksidasi non-enzimatis oleh oksigen dan terpolimerisasi membentuk melanin. Reaksi kedua adalah catechol menjadi o-benzoquinone. Hasilnya yaitu o-benzoquinone bereaksi dengan grup amino dari residu lisin protein (http://www.penpages.psu.edu/penpages_reference/12101/121011267.HTML).

Aktivitas PPO berada pada pH 5 sampai 7. Pada pH mendekati 3, enzim akan terinaktivasi secara *irreversible*. Suhu optimum enzim ini adalah 21-30⁰C. Nilai pH akan mempengaruhi konformasi enzim, sisi aktif yang dikenali, dan konformasi substrat. Enzim ini relatif stabil terhadap panas dan dapat dihambat oleh asam, halida, asam fenolat, sulfit, *chelating agent*, *reducing agent* (asam askorbat), quinon, contohnya adalah sistin. Selain itu, enzim ini juga dipengaruhi oleh faktor ionik, aktivitas air, lokasi substrat, dan konsentrasi substrat.

Pada percobaan ini akan dilakukan beberapa perlakuan yang dapat menghambat dan mempercepat terjadinya reaksi pencoklatan enzimatis diantaranya: perendaman dengan asam askorbat (0.1% dan 1.0%), asam asetat (0.1% dan 1.0%), asam sitrat 0.1%, larutan metabisulfit 0.5 M, larutan sirup gula 20%, air mendidih, serta pisau berkarat.

Hasil pengamatan intensitas warna kecoklatan pada irisan buah pir ulangan 1 dan ulangan 2 memperlihatkan sedikit perbedaan. Pada irisan kontrol (irisiran pir yang tidak direndam) belum menunjukkan warna kecoklatan dalam menit ke-0. Pada menit-menit selanjutnya terjadi kenaikan intensitas warna kecoklatan. Namun irisan kontrol pir ulangan 1 lebih cepat berwarna coklat dibandingkan irisan pir ulangan 2 karena irisan pir ulangan 1 lebih tipis dibanding irisan ulangan 2 sehingga oksigen yang diserap daging buah lebih banyak.

Asam askorbat dalam percobaan ini merupakan senyawa pereduksi kuat yang bersifat asam di alam, membentuk garam netral dengan basa, dan memiliki kelarutan air yang tinggi (Martin, 1994). Asam askorbat dan garam-garam netral serta turunannya merupakan antioksidan yang digunakan pada buah-buahan dan

sayuran dan juga pada jus buah untuk pencoklatan dan reaksi oksidatif lainnya. Asam askorbat bertindak sebagai antioksidan karena oksigen akan mengoksidasi askorbat bukan senyawa fenolik sehingga dapat menghambat atau menurunkan terjadinya reaksi pencoklatan. Dalam percobaan ini digunakan dua macam konsentrasi asam askorbat yaitu asam askorbat dengan konsentrasi 0.1% dan asam askorbat dengan konsentrasi 1.0 %. Buah pir yang direndam dengan asam askorbat konsentrasi 0.1 % sudah mulai tampak kecoklatan pada menit ke-15 sedangkan buah pir yang direndam dengan asam askorbat 1.0 % baru tampak kecoklatan pada menit ke-45. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi asam askorbat yang digunakan maka makin efektif penghambatan pencoklatannya. Bila dibandingkan dengan kontrol, penggunaan asam askorbat 0.1% tidak efektif karena sama-sama mulai coklat pada menit ke-15. Namun, penggunaan asam askorbat 1.0% terbukti efektif karena seperti telah diketahui pencoklatan baru mulai terjadi pada menit ke-45. Kenaikan intensitas pencoklatan pada ulangan 1 lebih lambat dibanding ulangan 2 karena ulangan 2 merendam irisan pir dengan asam askorbat yang terlalu banyak (lebih dari 30 ml).

Asam asetat merupakan asam organik kuat. Asam asetat menghambat pencoklatan dengan cara menurunkan pH lingkungan sampai pH-nya di bawah 3, sementara pH optimum PPO pada buah pir adalah sekitar 5-7. Oleh sebab itu PPO tersebut menjadi inaktif. Asam asetat yang digunakan juga ada dua macam yaitu asam asetat dengan konsentrasi 0.1% dan 1.0%. Buah pir yang direndam dengan asam asetat 0.1% lebih cepat mengalami pencoklatan dibandingkan dengan buah pir yang direndam pada asam asetat 1.0%. Buah pir yang direndam dengan asam asetat 0.1% mulai coklat pada menit ke-15 sedangkan buah pir yang direndam dengan asam asetat 1.0% baru coklat pada menit ke-45. Dapat disimpulkan bahwa konsentrasi asam asetat dapat mempengaruhi keefektifan penghambatan pencoklatan pada buah pir. Sedangkan apabila dibandingkan dengan potongan buah pir yang menjadi kontrol (tidak diberi perlakuan sama sekali) asam asetat dengan konsentrasi 0.1% tidak efektif dalam menghambat pencoklatan karena sama seperti buah pir yang menjadi kontrol yang sudah mulai terjadi pencoklatan pada menit ke-15. Namun, ini tidak berlaku pada penggunaan asam asetat 1.0% karena mampu menghambat pencoklatan sehingga pencoklatan baru mulai terjadi pada menit ke-45. Kenaikan intensitas pencoklatan pada ulangan 1 lebih cepat dibanding ulangan 2 karena irisan pir ulangan 1 lebih tipis dibanding irisan ulangan 2 sehingga oksigen yang diserap daging buah pir lebih banyak.

Asam sitrat merupakan senyawa intermediet dari asam organik yang berbentuk kristal atau serbuk putih. Sifat-sifat asam sitrat antara lain: mudah larut dalam air, spiritus, dan ethanol, tidak berbau, rasanya sangat asam, serta jika dipanaskan akan meleleh kemudian terurai yang selanjutnya terbakar sampai menjadi arang. Asam sitrat merupakan agen pengkelat. Asam sitrat menghambat terjadinya pencoklatan karena dapat mengkompleks ion tembaga yang dalam hal ini berperan sebagai katalis dalam reaksi pencoklatan. Selain itu, asam sitrat juga dapat menghambat pencoklatan dengan cara menurunkan pH seperti halnya pada asam asetat sehingga enzim PPO menjadi inaktif (Winarno, 1997). Pada percobaan ini, larutan asam sitrat yang digunakan hanya satu macam konsentrasi yaitu 1.0%. Hasil dari perendaman buah pir dengan asam sitrat mulai tampak

berwarna coklat pada menit ke-45. Dapat disimpulkan bahwa asam sitrat merupakan inhibitor yang cukup efektif untuk reaksi pencoklatan karena pada buah pir yang menjadi kontrol, pencoklatan sudah mulai tampak pada menit ke-15. Pada tabel terlihat bahwa intensitas warna kecoklatan ulangan 2 mulai terjadi pada menit ke-45 sedangkan pada ulangan 1 tidak terjadi reaksi pencoklatan. Hal ini mungkin disebabkan karena pengamatan intensitas warna setiap orang berbeda.

Penambahan larutan metabisulfit 0.5 M sebagai senyawa *antibrowning* bekerja dengan cara membentuk ikatan disulfida dengan enzim PPO sehingga menghambat pengikatan dengan oksigen. Selain itu sulfit juga dapat bereaksi dengan quinon yang dihasilkan dari oksidasi senyawa fenolik sehingga menghambat polimerisasi quinon membentuk pigmen melanin (coklat). Dengan adanya metabisulfit buah dan bahan pangan tampak lebih segar, cerah, dan lambat sekali mengalami pencoklatan (Margono, 1993). Berdasarkan tabel pengamatan terlihat bahwa larutan ini paling baik dalam menghambat reaksi pencoklatan karena hingga menit ke-60 tidak terjadi reaksi pencoklatan buah pir pada kedua kelompok.

Larutan sirup gula juga dapat berfungsi untuk menghambat terjadinya pencoklatan enzimatik karena larutan gula dapat memberikan lapisan atau mantel sehingga mencegah permukaan buah dapat kontak dengan oksigen. Cara ini merupakan cara tertua yang digunakan untuk mencegah reaksi pencoklatan (http://www.umaine.edu/NSFGK_12/images/PDFs/browning2.pdf). Di samping itu, larutan gula dapat menurunkan pH lingkungan sehingga enzim PPO ini menjadi inaktif. Semakin tinggi konsistensi pemanis dalam suatu larutan menyebabkan pH menurun, hal ini disebabkan karena gula mempunyai sifat *cooling effect* (Winarno, 1997).

Pada percobaan ini, larutan sirup gula yang digunakan adalah larutan sirup gula dengan konsentrasi 20%. Berdasarkan perbandingan antara buah pir kontrol dengan buah pir yang direndam dengan larutan sirup gula 20%, dapat disimpulkan bahwa larutan sirup gula efektif untuk menghambat pencoklatan karena buah pir yang direndam dengan larutan sirup gula baru mulai berwarna kecoklatan pada menit ke-45 sedangkan buah pir yang menjadi kontrol sudah mulai tampak coklat pada menit ke-15. Pada ulangan 1 dan 4 tidak terlihat perbedaan, intensitas warna coklat mulai terlihat pada waktu yang sama yaitu menit ke-45.

Perendaman buah pir dengan menggunakan air mendidih juga dapat mencegah terjadinya reaksi pencoklatan. Proses ini disebut dengan blansir. Air mendidih ini menyebabkan protein pada enzim PPO sehingga menyebabkan PPO terdenaturasi dan menjadi inaktif. Pada suhu 80⁰C setengah dari aktivitas total fenolase hilang kemudian pada suhu 90⁰C hampir keseluruhan aktivitas fenolase hilang. Pada percobaan ini, air mendidih menghambat terjadinya reaksi pencoklatan sehingga warna kecoklatan baru mulai tampak pada menit ke-45 sedangkan buah pir yang bertindak sebagai kontrol sudah mulai menampilkan warna kecoklatan pada menit ke-15. Pada ulangan 1 dan 4, reaksi pencoklatan mulai terjadi pada menit ke-45 tetapi pada ulangan 2 sudah terjadi kenaikan intensitas warna coklat menjadi hampir separuh permukaan daging buah setelah menit ke-60. Perbedaan ini disebabkan karena kesalahan ulangan 2 yang

langsung memasukkan irisan pir lebih cepat 30 detik setelah air mendidih dibandingkan ulangan 1.

Perlakuan pemotongan buah pir dengan menggunakan pisau karat dapat mempercepat reaksi pencoklatan karena terdapat senyawa logam Fe pada karat yang akan mengkatalisis reaksi dengan oksigen. Pada tabel dapat dilihat bahwa intensitas warna coklat pada ulangan 1 dan 4 mengalami kenaikan yang sama seiring dengan penambahan waktu.

KESIMPULAN

Pencoklatan enzimatik dapat terjadi pada buah yang terpotong atau terekspos udara, dimana awal reaksi dikatalisis oleh enzim. Enzim yang berperan dalam reaksi ini adalah enzim polifenol oksidase dengan substrat senyawa fenolik. Untuk mencegah pencoklatan enzimatik dapat digunakan asam askorbat 0.1% dan 1.0%, asam sitrat 0.1%, asam asetat 0.1% dan 1.0%, larutan metabisulfit 0.5M, larutan sirup gula 20%, dan air. Sampel yang digunakan adalah pisang, pir, dan kentang. dari beberapa perlakuan dan metode yang dilakukan, diketahui bahwa larutan metabisulfit 0,5 M paling efektif dalam mencegah pencoklatan enzimatik.

DAFTAR PUSTAKA

- Fennema, Owen R. 1996. *Food Chemistry*. Marcel Dekker Inc, New York
- Margono, T dkk. 1993. *Buku Panduan Teknologi Pangan*. Pusat Informasi Wanita dalam Pembangunan PDII-LIPI, Jakarta
- Martin, P. 1994. *Food Science and Technology*. Instructional Materials Laboratory, Columbia
- Muchtadi, Tien R. 1997. *Petunjuk Laboratorium Teknologi Proses Pengolahan Pangan*. Pusat Antar Universitas (PAU) Pangan dan Gizi, Bogor
- Murano Peter S., 2003. *Food Science and Technology*. Thomson Learning Inc., Texas USA
- Naz, Shahina. 2002. *Enzymes and Food*. Oxford University Press, Oxford
- Hartoyo, A. S ,dkk. 2008. *Penuntun Praktikum Kimia dan Biokimia Pangan*. Dept. ITP IPB, Bogor
- http://www.penpages.psu.edu/penpages_reference/12101/121011267.HTML
- <http://www.umaine.edu/NSFGK12/images/PDFs/browning2.pdf>
- Winarno, F.G. 1997. *Kimia Pangan dan Gizi*. Gramedia, Jakarta