

Pencegahan Kerusakan Fisiologis Belimbing (*Avverhoa carambola*) dalam Rantai Pasok dengan Optimisasi Model Kombinasi Perlakuan Air Panas dan CaCl_2 Menggunakan *Response Surface Method*

(Physiological Damaged Prevention of Starfruit (*Avverhoa carambola*) in Supply Chain by Optimization of Combination of Hot Water and CaCl_2 Treatments Using Response Surface Methods)

Sutrisno*, Emmy Darmawati, Rokhani Hasbullah, Harli Prawaningrum

ABSTRAK

Buah belimbing merupakan buah eksotik tropika yang sedang naik popularitasnya di pasar domestik dan global karena bentuk dan rasanya yang unik, serta karena kandungan gizinya. Namun, buah ini mudah rusak dan umur simpannya singkat sehingga penanganan pascapanennya haruslah optimum. Tujuan penelitian ini adalah mengoptimisasi perlakuan kombinasi perlakuan air panas (HWT) dan perendaman dalam larutan CaCl_2 dengan metode permukaan respons (RSM), dalam rangka mempertahankan mutu buah selama penyimpanan. Dari beberapa parameter mutu yang diuji, susut bobot dan kekerasan memberikan respons terbaik. Parameter susut bobot menunjukkan respons maksimisasi dengan titik optimum suhu HWT 42 °C dengan perendaman 42 menit, dan pencelupan dalam CaCl_2 selama 38 menit memberikan respons susut bobot sebesar 3,74%. Parameter kekerasan memberikan respons minimisasi dengan titik optimum suhu HWT 48 °C dengan perendaman 35 menit dan pencelupan dalam larutan CaCl_2 selama 35 menit memberikan respons kekerasan sebesar 0,63 Newton. Tingkat kesukaan responden terhadap parameter mutu berturut-turut adalah warna, rasa, tekstur, dan aroma, dengan kombinasi perlakuan yang diterima oleh panelis adalah (45 °C, 65', 40'), (45 °C, 40', 15'), dan (45 °C, 40', 40').

Kata kunci: buah belimbing, CaCl_2 , HWT, kekerasan, RSM, susut bobot

ABSTRACT

Starfruits is one of exotic tropical fruits that have increasing its popularity both for domestic and global market due to its unique shape and taste, as well as their nutrition values. However, this fruit is considered perishable product with short self-life, thus the proper post harvest treatment should be done to prevent their quality after harvest. In general, the objective of this research was to determine optimum treatment of hot water treatment (HWT) and immersion period in CaCl_2 solution using response surface method (RSM) for post harvest handling of starfruits in order to maintain its quality during storage. Among quality parameters tested, weight loss and hardness were found as the most responsive to the combination treatment. Parameter of weight loss rate showed a maximization response with stationary point of HWT's temperature of 42 °C, expose period for 42 minutes, and immersion period in CaCl_2 solution for 38 minutes with respond point of weight loss was 3.74%. Meanwhile, the hardness parameter achievement was the minimum with stationary point of HWT's temperature of 48 °C, expose period for 35 minutes, and immersion period in CaCl_2 solution for 35 minutes resulted respond point of hardness of 0.63 Newton. Interest level from the panelist were color, taste, texture and aroma, respectively, whereas the treatment combination that accepted by panelist were (45 °C, 65', 40'), (45 °C, 40', 15'), and (45 °C, 40', 40').

Keywords: CaCl_2 , hardness, HWT, RSM, starfruit, weight loss

PENDAHULUAN

Belimbing adalah tanaman asli Indonesia dan Malaysia, yang kemudian menyebar ke berbagai negara Asia Tenggara. Saat ini Malaysia telah mengembangkannya secara komersial. Permintaan akan buah belimbing terus meningkat setiap tahun, dan diprediksi pertumbuhannya akan mencapai 8,9% (19 900 ribu ton) pada tahun 2010–2015 (Deptan 2009). Melihat peluang pasar yang masih terbuka, Indonesia saat ini mulai mengembangkan buah

belimbing secara komersial, misalnya di daerah DKI Jakarta. Di samping bentuk dan rasanya yang sangat unik, kandungan nutrisi buah belimbing juga menjadi pertimbangan konsumen untuk memilih buah ini.

Walaupun perlakuan kombinasi air panas (hot water treatment, HWT) dan perendaman dengan larutan CaCl_2 masih belum diterapkan untuk buah belimbing, perlakuan secara terpisah telah terbukti bermanfaat. Perlakuan HWT nyata dapat mengatasi permasalahan penyakit pascapanen pada buah-buahan, selain dapat mengurangi residu pestisida pada bagian kulit luar buah, mencegah pelunakan lebih cepat, kebusukan, kehilangan sukrosa, serta mencegah kerusakan komoditas selama pemberantasan hama penyakit dan jamur. Aplikasi pencelupan dalam larutan CaCl_2 dapat mempertahankan mutu

Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680.

* Penulis Korespondensi: E-mail: kensutrisno@yahoo.com

dengan menjaga tekstur (kekerasan) buah sehingga tampak renyah dan segar karena ada tambahan unsur kalsium pada buah.

Kombinasi perlakuan dalam penanganan pascapanen buah-buahan tropika banyak dilakukan guna mengoptimalkan pengaruhnya pada perubahan fisiologis dan mutunya. Aplikasi multiperlakuan akan mempersulit dalam analisis responsnya, sehingga diperlukan suatu metode yang menggabungkan analisis matematika dan statistika seperti metode permukaan respons (*response surface method*, RSM) untuk mencari nilai respons optimumnya (Iriawan & Astuti 2006). RSM ini merupakan teknik optimisasi yang banyak digunakan dalam berbagai bidang baik teknik maupun pertanian, misalnya untuk optimisasi formula makanan pendamping (Hadiningsih 2004), optimisasi pembuatan minyak kelapa metode pancing (Maulana 2006). Metode RSM dapat memberikan akurasi yang sangat tinggi. Berdasarkan hal tersebut, dirancang penelitian optimisasi kombinasi perlakuan HWT dan CaCl_2 terhadap perubahan mutu belimbing manis selama penyimpanan dingin, dengan menggunakan belimbing varietas Dewi. Secara umum penelitian ini bertujuan menentukan model optimisasi kombinasi HWT dan CaCl_2 dengan menggunakan RSM, guna mencari kondisi optimum kombinasi perlakuan HWT dan pencelupan pada larutan CaCl_2 terhadap parameter mutu, serta mengetahui perlakuan optimum yang dapat diterima secara organoleptik.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan adalah buah belimbing Dewi dengan bobot rata-rata 250–300 g, umur petik 40–45 hari, yang diperoleh dari Pusat Koperasi Pemasaran dan Olahan Belimbing, Sawangan, Depok. Buah dibawa ke laboratorium dan dikemas dalam kotak kardus dengan bahan pengisi koran, serta disimpan pada suhu ruang serta terlindung dari sinar matahari langsung. Bahan lain adalah larutan CaCl_2 dengan konsentrasi 4% dan akuades. Alat yang digunakan adalah penangas air (*water bath*) untuk perlakuan HWT, lemari pendingin untuk penyimpanan, rheometer model CR-300 untuk mengukur kekerasan, refraktometer *Atago* N-1 untuk mengukur total padatan terlarut (TPT) belimbing, *continuous gas analyzer* tipe IRA-107 untuk mengukur konsentrasi CO_2 , *portable oxygen tester* POT-101 untuk mengukur konsentrasi O_2 , dan *color reader* untuk menilai warna daging buah.

Setelah dibersihkan, buah belimbing disortasi keseragaman, kematangan, dan ukurannya, lalu dicelupkan ke dalam larutan Theobendazol 1 ppm selama 1 menit, dan ditiriskan. Perlakuan HWT dengan suhu dan lama perendaman sesuai dengan rancangan percobaan orde I dan II (30, 35, 45, 55, dan 60 °C selama 15', 20', 40', 60', 65'). Setelah itu, sampel dicelupkan ke dalam larutan 4% CaCl_2 sesuai dengan rancangan percobaan orde I dan II selama

15', 20', 40', 60', 65', dan sampel kemudian disimpan dalam refrigerator bersuhu 10 °C. Perubahan parameter mutu (laju respirasi, susut bobot, kekerasan, total padatan terlarut, *chroma* warna daging buah, dan organoleptik) sampel diamati setiap 3 hari selama 15 hari untuk semua perlakuan. Perlakuan dan kode perlakuan dapat dilihat Tabel 1. Rancangan percobaan orde I dan II terdapat pada Tabel 2 dan 3.

Beberapa parameter yang diukur secara objektif sebagai respons dari perlakuan yang diberikan, antara lain adalah: laju respirasi, susut bobot, kekerasan, total padatan terlarut (TPT), dan warna daging buah. Adapun parameter subjektif terkait penerimaan produk akibat beberapa perlakuan yang diberikan, diuji secara organoleptik terhadap warna, rasa, aroma, dan tekstur buah. Selain itu, dilakukan juga uji untuk mengetahui tingkat kepentingan dari penilaian sensori oleh panelis dengan skala dari 6 (sangat penting) hingga 1 (sangat tidak penting).

Rancangan percobaan yang digunakan adalah RSM pola faktorial model *Central Composite Design* dengan 3 peubah bebas, yaitu suhu ekspose (X_1), lama ekspose ke air panas (X_2), dan lama perendaman ke CaCl_2 (X_3). Peubah respons: laju penurunan susut bobot, kekerasan, TPT, dan *chroma* warna daging buah. Nilai peubah respons yang diperoleh dimasukkan ke dalam model matematis dan ditampilkan dalam bentuk plot kontur dan grafik 3-dimensi, sehingga diperoleh nilai optimum peubah respons yang diterapkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Optimum Kombinasi Perlakuan

Analisis dengan menggunakan RSM menghasilkan model orde pertama dan kedua. Model tersebut digunakan untuk memprediksi fungsi yang sebenarnya antara respons dan peubah bebasnya. Hasil analisis berbagai respons mutu yang menghasilkan model optimasi disajikan pada Tabel 4.

Tabel 1 Perlakuan dan kode perlakuan

Perlakuan	Kode perlakuan				
	-1.682	-1	0	+1	+1.682
X_1 (°C)	30	35	45	55	60
X_2 (menit)	15	20	40	60	65
X_3 (menit)	15	20	40	60	65

Tabel 2 Rancangan percobaan dengan sistem pengkodean orde I

Perlakuan	Kode Perlakuan				
	-1.682	-1	0	+1	+1.682
X_1 (°C)	30	35	45	55	60
X_2 (menit)	15	20	40	60	65
X_3 (menit)	15	20	40	60	65

Tabel 3 Rancangan percobaan dengan sistem pengkodean orde II

No.	X ₁	X ₂	X ₃	Suhu ekspose X ₁ (°C)	Lama ekspose X ₂ (menit)	Lama perendaman X ₃ (menit)	Respons
K1	-1	-1	-1	35	20	20	
K2	+1	-1	-1	55	20	20	
K3	-1	+1	-1	35	40	20	
K4	+1	+1	-1	45	40	20	
K5	-1	-1	+1	35	20	60	
K6	+1	-1	+1	55	20	60	
K7	-1	+1	+1	35	60	60	
K8	+1	+1	+1	45	40	40	
K9	-1.682	0	0	30	40	40	
K10	1.682	0	0	60	40	40	
K11	0	-1.682	0	45	15	40	
K12	0	1.682	0	45	65	40	
K13	0	0	-1.682	45	40	15	
K14	0	0	1.682	45	40	65	
K15	0	0	0	45	40	40	
K16	0	0	0	45	40	40	
K17	0	0	0	45	40	40	

Tabel 4 Hasil optimisasi berbagai respons mutu

Respons	Laju penurunan susut bobot hari ke-3
Model optimisasi	$\hat{y} = -17.6964 + 0,5660X_1 + 0,2323X_2 + 0,2083X_3 - 0,0040X_1^2 - 0,0012X_2^2 - 0,0019X_3^2 - 0,0034X_1X_2 - 0,0021X_1X_3 + 0,0007X_2X_3$
R ² (%)	78,60
Lack of fit	0,445
Bentuk optimisasi	Maksimisasi
Titik stasioner	42 °C, 42', 38'
Nilai respons	3,74%.
Respons	Kekerasan hari ke-3
Model optimisasi	$\hat{y} = 4.76831 - 0,13380X_1 - 0,01888X_2 - 0,02715X_3 + 0,00139X_1^2 + 0,00029X_2^2 + 0,00022X_3^2 - 0,00013X_1X_2 + 0,00020X_1X_3 + 0,00009X_2X_3$
R ² (%)	57,60
Lack of fit	0,404
Bentuk optimisasi	Minimisasi
Titik stasioner	48 °C, 35', 35'
Nilai respons	0,629 Newton
Respons	TPT hari ke-15
Model optimisasi	$\hat{y} = 8.26267 + 0,15887X_1 - 0,14081X_2 - 0,07834X_3 - 0,00279X_1^2 + 0,00094X_2^2 + 0,00046X_3^2 + 0,00094X_1X_2 + 0,00044X_1X_3 + 0,00072X_2X_3$
R ² (%)	86,40
Lack of fit	0,143
Bentuk optimisasi	Saddlepoint
Titik Stasioner	-
Nilai Respons	-
Respons	Chroma hari ke-9
Model optimisasi	$\hat{y} = -27.8078 + 1.2937X_1 + 1.4693X_2 - 0,1677X_3 - 0,0103X_1^2 - 0,0111X_2^2 + 0,0007X_3^2 - 0,0149X_1X_2 + 0,0005X_1X_3 + 0,0022X_2X_3$
R ² (%)	90,10
Lack of fit	0,266
Bentuk optimisasi	Saddlepoint
Titik stasioner	-
Nilai respons	-

Laju Penurunan Susut Bobot

Berdasarkan analisis data, laju penurunan susut bobot hari ke-3 menunjukkan hasil optimisasi yang tidak berbentuk *saddle point* dengan hasil analisis regresi model orde kedua ditunjukkan pada Tabel 4. Penggambaran respons permukaan berupa laju penurunan susut bobot hari ke-3 terhadap peubah bebas dan konturnya dapat dilihat pada Gambar 1a dan 1b.

Dari gambar kontur sebagai akibat dari 2 perlakuan yang diberikan, beberapa titik respons yang berbeda bergantung pada kombinasi perlakuannya. Tujuan dari optimisasi laju penurunan susut bobot adalah maksimisasi dengan pengertian bahwa laju penurunan susut bobot maksimum yang masih dapat diterima dari perlakuan yang diberikan untuk tetap menjaga mutunya. Pada daerah optimum diperoleh titik prediksi yang memungkinkan terbentuknya respons maksimum yang masih dapat diterima, yaitu suhu HWT 42 °C, lama ekspose 42 menit, dan lama perendaman 38 menit, yang akan menghasilkan laju penurunan susut bobot maksimum sebesar 3,74%. Syarief dan Halid (1991) mengemukakan bahwa salah satu penyebab susut bobot adalah proses respirasi dan transpirasi; transpirasi adalah faktor lebih dominan yang sangat dipengaruhi oleh suhu dan kelembapan. Kecepatan transpirasi dipengaruhi oleh 2 faktor, yaitu faktor internal komoditas buah (sifat morfologi dan anatomi buah, nisbah luas permukaan dan volume buah, ada atau tidaknya cacat/luka, dan tingkat kematangan), dan faktor eksternal (suhu ruangan, kelembapan udara, sirkulasi udara, dan tekanan atmosfer). Perlakuan kombinasi berupa suhu HWT dan lama ekspose sangat berpengaruh pada proses pematangan dan kondisi epidermis kulit belimbing; pada proses transpirasi air akan dibebaskan dalam bentuk uap air melalui stomata, lentisel, dan bagian jaringan lain yang berhubungan dengan sel epidermis buah.

Selama penyimpanan terjadi peningkatan proses pemasakan dan penuaan buah yang menyebabkan menurunnya kondisi fisik, sehingga meningkatkan kelunakan dan mengurangi nilai penampakan buah. Kader (1992) mengemukakan transpirasi menurunkan kadar air buah sehingga terjadi susut bobot dari awal hingga akhir penyimpanan. Laju transpirasi tersebut dapat dikurangi dengan cara melapisi kulit buah dengan lilin (*waxing*) ataupun *edible film*. Pada perlakuan kombinasi ini, larutan CaCl_2 digunakan sebagai pelapis bagian epidermis kulit buah supaya rongga yang timbul dari proses pemanasan ringan dapat tertutup, sehingga kekerasannya dapat dipertahankan dan kehilangan air serta kadar air dalam buah dapat terjaga.

Kekerasan

Berdasarkan analisis regresi yang dilakukan pada tiap 3 hari penyimpanan diperoleh hasil seperti yang tertera pada Tabel 4. Pada persamaan model yang diperoleh, dapat dilihat bahwa peubah X_1 , X_2 , X_3 , dan interaksi X_1X_2 memberi pengaruh yang negatif atau

berbanding terbalik dengan respons; semakin tinggi suhu ekspose, semakin lama perendaman dalam larutan kalsium dan lama ekspose akan menghasilkan penurunan kekerasan yang semakin tinggi. Hal sebaliknya terlihat pada interaksi antara X_1X_3 dan X_2X_3 serta kuadratik dari peubah bebas masing-masing, yang sebanding dengan responsnya. Hal tersebut lebih jelas dapat dilihat gambar respons kontur dan permukaan yang dihasilkan dari model orde kedua terhadap respons kekerasan belimbing seperti dapat dilihat pada Gambar 2 a dan b.

Pada gambar kontur terlihat nilai interaksi berbagai perlakuan yang diberikan terhadap kekerasan sebagai responsnya yang minimum dengan nilai minimum yang terjadi berbeda untuk setiap kombinasi. Sama halnya dengan laju penurunan susut bobot, optimisasi numeriknya diberi bobot yang sama untuk setiap peubah bebas sehingga tidak dilakukan reduksi persamaan dari peubah bebas yang muncul pada persamaan. Nilai kritis berupa titik stasioner diperoleh pada suhu HWT 48 °C dengan ekspose selama 35 menit, dan 35 menit lama perendaman CaCl_2 dengan prediksi kekerasan belimbing pada penyimpanan hari ke-3 adalah 0,629 Newton.

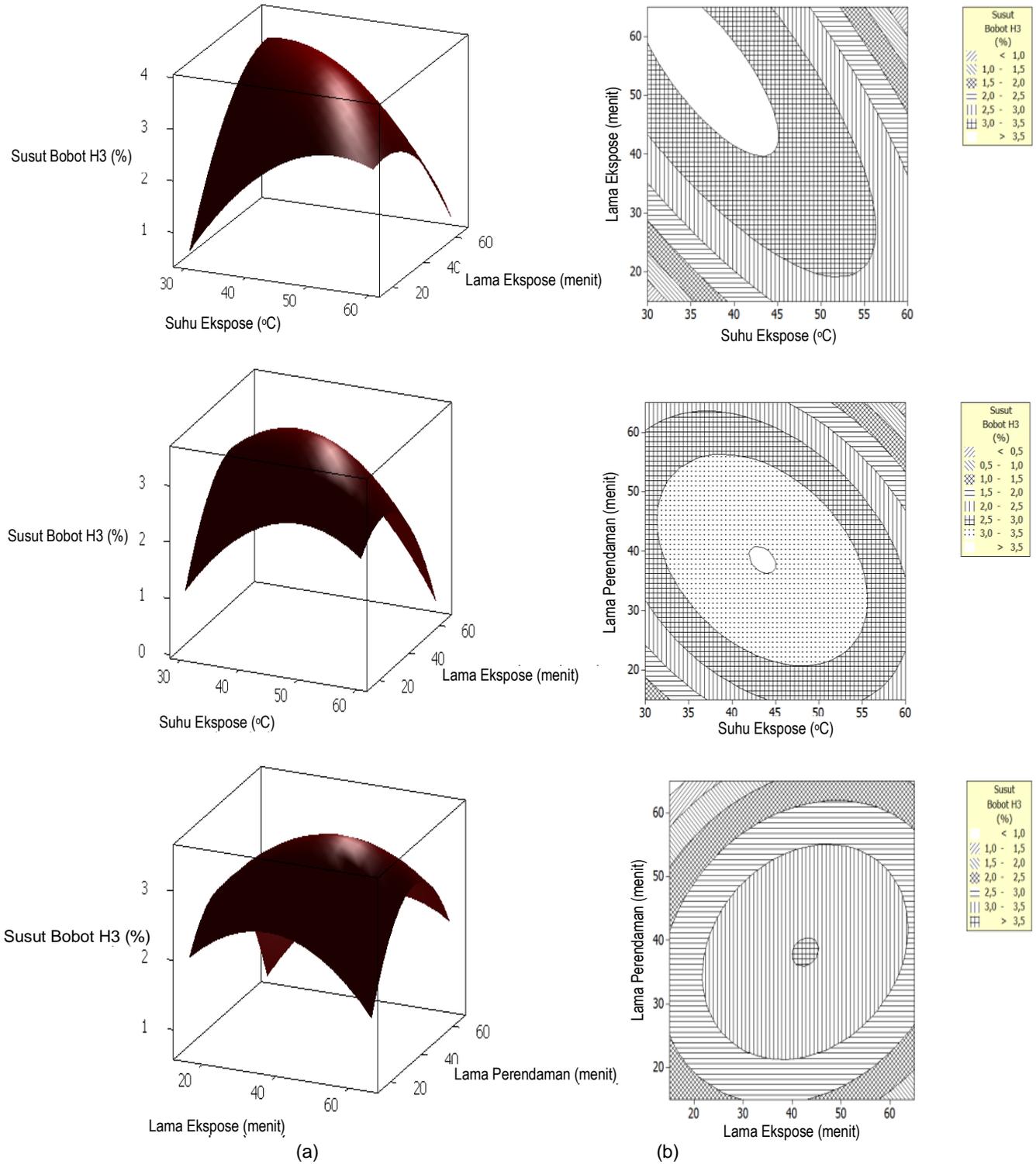
Pemanasan dengan range suhu 30–40 °C dengan penambahan kalsium pada awal penyimpanan mampu mempertahankan kekerasannya dengan baik kemudian pada hari penyimpanan ke-12 dan ke-15 terjadi perubahan akibat berubahnya karbohidrat yang meliputi konversi pati menjadi gula, terdegradasinya hemiselulosa dan protopektin yang taklarut pada dinding sel, sehingga jumlahnya menurun dan terbentuk pektin yang terlarut (Pantastico 1986). Lunaknya buah disebabkan oleh perombakan protopektin yang taklarut menjadi pektin yang larut atau hidrolisis zat pati atau lemak. Penurunan kekerasan juga dihubungkan dengan susut bobot; ikatan antarsel di dalam buah menjadi lebih lemah dan jaraknya meregang sehingga air bebas yang terdapat di dalam buah menjadi mudah teruapkan (Pantastico 1986).

Total Padatan Terlarut dan Warna Daging Buah

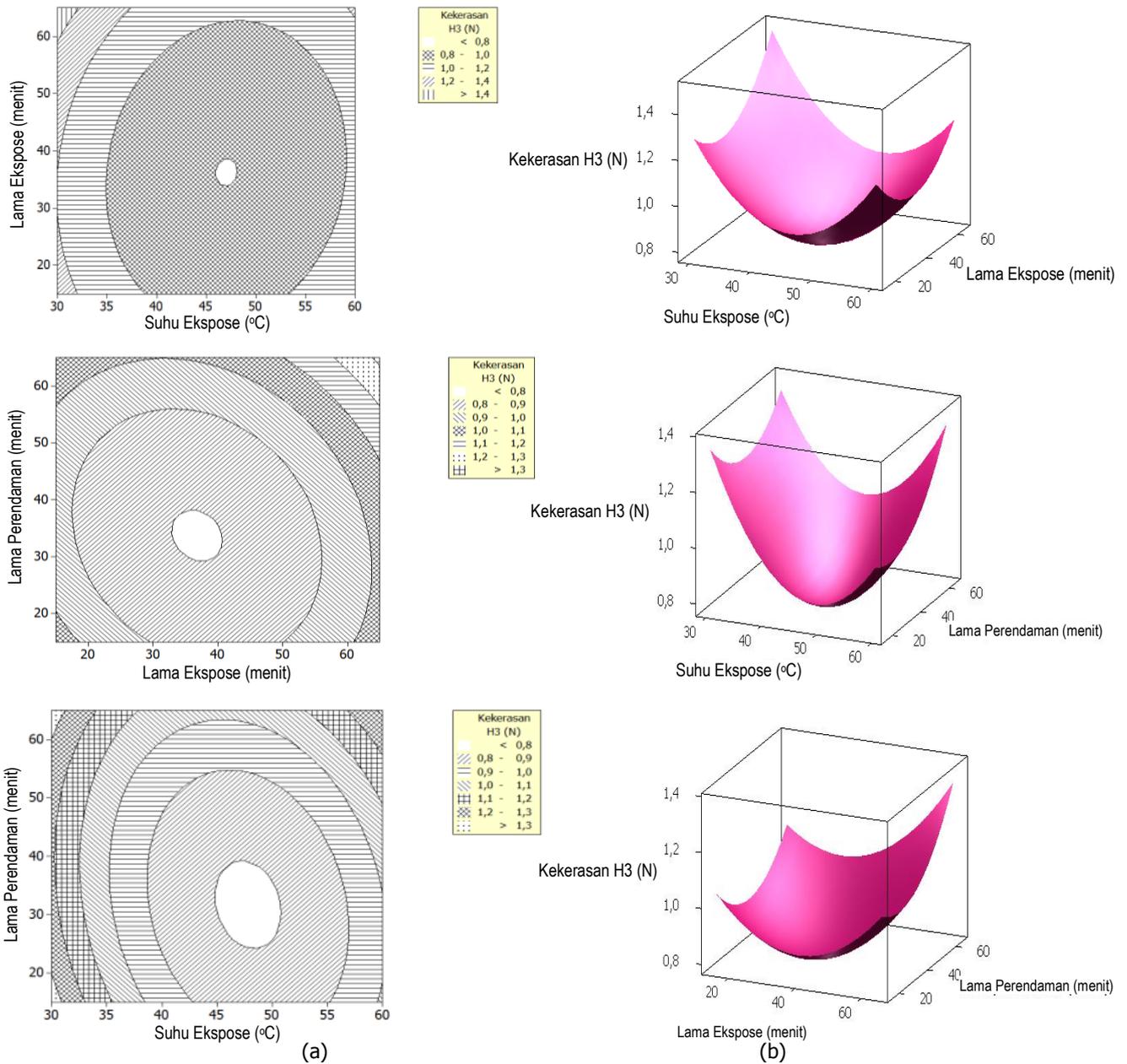
Hasil analisis yang dilakukan terhadap TPT dan warna daging buah sampai penyimpanan berakhir, hampir semuanya menghasilkan model optimasi *saddlepoint*, sehingga TPT hari ke-15 memiliki nilai koefisien determinasi lebih tinggi bila dibandingkan yang lainnya dengan model persamaan yang ada pada Tabel 4. Jika melihat perolehan persamaan yang terbentuk, hanya peubah bebas berupa lama ekspose, lama perendaman larutan kalsium, dan kuadratik dari suhu ekspose memberikan hasil yang berkebalikan terhadap respons. Bila melihat peubah bebas yang lain pada persamaan akan menghasilkan respons TPT dan warna daging buah yang meningkat bila nilainya ditingkatkan. Dengan metode yang sama seperti pada penurunan susut bobot dan kekerasan, hal tersebut juga dapat digambarkan dengan grafik kontur dan permukaan dengan metoda RSM ini, hanya saja untuk parameter ini semua berupa bentuk

saddle point. Wilayah minimum tersebut belum dapat dikatakan wilayah optimum, disebabkan hampir semua wilayah dari kisaran perlakuan percobaan yang ada masuk dalam daerah minimum tersebut, sehingga area minimum yang dihasilkan terlalu melebar dan menyebabkan tidak ada batasan pe-

ntuan nilai *stasioner*. Titik-titik prediksi yang mempengaruhi model untuk memperoleh nilai optimumnya tidak dapat dicari karena semua nilai maksimum dan minimum terkumpul pada satu area stasioner. Jadi, pada model ini tidak dapat ditemukan area optimum.



Gambar 1 Permukaan respons (a) dan kontur (b) laju penurunan susut bobot hari ke-3 terhadap perlakuan.



Gambar 2 Kontur (a) dan respons permukaan (b) kekerasan hari ke-3 terhadap perlakuan.

Total Padatan Terlarut dan Warna Daging Buah

Hasil analisis yang dilakukan terhadap TPT dan warna daging buah sampai penyimpanan berakhir, hampir semuanya menghasilkan model optimasi *saddlepoint*, sehingga TPT hari ke-15 memiliki nilai koefisien determinasi lebih tinggi bila dibandingkan yang lainnya dengan model persamaan yang ada pada Tabel 4. Jika melihat perolehan persamaan yang terbentuk, hanya peubah bebas berupa lama ekspose, lama perendaman larutan kalsium, dan kuadrat dari suhu ekspose memberikan hasil yang berkebalikan terhadap respons. Bila melihat peubah bebas yang lain pada persamaan akan menghasilkan respons TPT dan warna daging buah yang meningkat bila nilainya ditingkatkan. Dengan metode yang sama seperti pada penurunan susut bobot dan kekerasan, hal tersebut juga dapat digambarkan dengan grafik kontur dan permukaan dengan metoda RSM ini,

hanya saja untuk parameter ini semua berupa bentuk *saddle point*. Wilayah minimum tersebut belum dapat dikatakan wilayah optimum, disebabkan hampir semua wilayah dari kisaran perlakuan percobaan yang ada masuk dalam daerah minimum tersebut, sehingga area minimum yang dihasilkan terlalu melebar dan menyebabkan tidak ada batasan penentuan nilai *stasioner*. Titik-titik prediksi yang mempengaruhi model untuk memperoleh nilai optimumnya tidak dapat dicari karena semua nilai maksimum dan minimum terkumpul pada satu area stasioner. Jadi, pada model ini tidak dapat ditemukan area optimum.

Perlakuan yang diberikan pada belimbing berupa suhu pemanasan ringan, lama ekspose, dan lama perendaman larutan CaCl₂ secara keseluruhan belum mampu memberikan hasil yang nyata pada respons kedua parameter ini. Hal ini sama seperti hasil

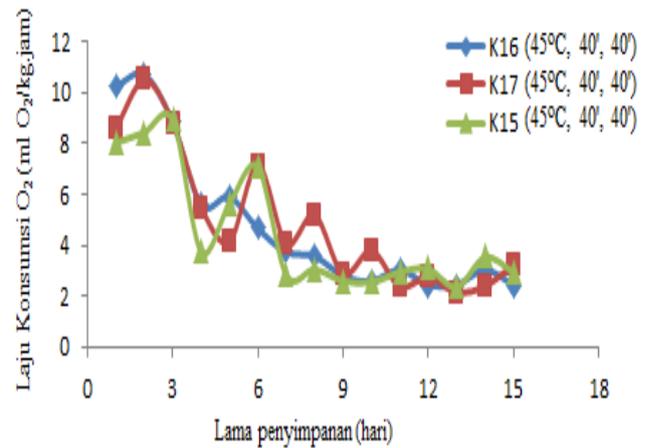
penelitian Broto (1989), bahwa perlakuan CaCl_2 pada mangga arumanis tidak berbeda nyata terhadap total padatan terlarut.

Pada proses penyimpanan terjadi perubahan kimiawi dan fisiologis yang erat hubungannya dengan perubahan warna buah belimbing. Untuk bagian daging buah, perubahan warna yang terjadi hanya pada gradasi warna kuning yang biasanya terjadi karena degradasi karotenoid. Pada dasarnya ada 2 jenis karotenoid, yaitu karotena dan xantofil. Dalam buah-buahan, jenis karotenoid yang ada adalah xantofil, walaupun karotena kadarnya relatif tinggi. Selama proses pematangan, jumlah xantofil akan menurun dan jumlah karotena akan meningkat misalnya pada jeruk. Setelah panen, karotenoid menjadi lebih penting peranannya dibandingkan klorofil. Sintesis karotenoid tidak terjadi setelah panen, malahan setelah panen terjadi penurunan karotenoid. Degradasi klorofil lebih cepat bila dibandingkan dengan karotenoid (Winarno & Wiranatakusuma 1981). Bila dibandingkan dengan warna kulit buah belimbing, warna daging buahnya akan lebih lambat berubah. Muchtadi dan Sugiono (1989) menyatakan bahwa selama pemasakan buah akan terjadi degradasi klorofil sehingga kandungan klorofilnya menjadi rendah dan muncul warna lain sehingga buah berubah menjadi warna kuning, oranye, atau merah.

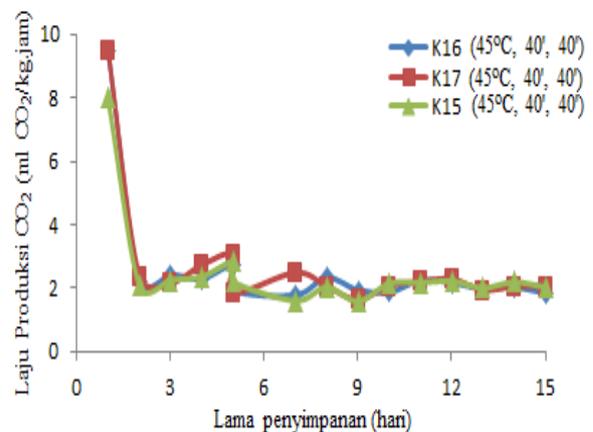
Laju Respirasi Buah pada Perlakuan Kombinasi Optimum

Penurunan gas O_2 merupakan indikasi bahwa buah mengalami respirasi yang akan menghasilkan gas CO_2 . Kisaran perlakuan mendekati kombinasi optimum yang dipakai adalah suhu ekspose pemanasan ringan antara 44 dan 50 °C, lama ekspose 32–40 menit, dan lama perendaman larutan CaCl_2 29–39 menit sehingga digunakan perlakuan K15, K16, dan K17 sebagai perlakuan mendekati kombinasi optimum yang masuk pada kisaran tersebut. Pada perlakuan K15, K16, dan K17, suhu ekspose pemanasan ringan 45 °C, lama ekspose 40 menit, dan lama perendaman larutan CaCl_2 40 menit. Grafik laju konsumsi O_2 dan laju produksi CO_2 dapat dilihat Gambar 3 dan 4.

Kecenderungan konsumsi O_2 pada perlakuan yang diberikan adalah bahwa pada suhu HWT 30–35 °C, konsumsi O_2 lebih tinggi dengan kombinasi berbagai lama ekspose dan perendaman CaCl_2 , kemudian dilanjutkan HWT 45 °C dengan berbagai kombinasi lama ekspose dan perendaman CaCl_2 , dan untuk konsumsi O_2 paling rendah ada pada perlakuan dengan HWT 55–60 °C dengan berbagai kombinasi lama ekspose dan perendaman CaCl_2 . Pada kombinasi lama ekspose, semakin lama ekspose, semakin rendah konsumsi O_2 yang dihasilkan. Begitu pula pada pelapisan berupa perendaman CaCl_2 , semakin lama perendaman, semakin rendah nilai konsumsi O_2 . Hal tersebut karena pelapisan yang lama akan membantu untuk melindungi pelapis alami yang ada pada buah itu sendiri, sehingga dengan



Gambar 3 Laju konsumsi O₂.



Gambar 4 Laju produksi CO₂.

mempertahankan lapisan alami tersebut laju respirasinya menjadi rendah. Untuk lama ekspose, semakin lama ekspose, semakin matang buah, karena keaktifan sel buah yang matang sangat rendah dan menghasilkan laju respirasi rendah pula.

Pada awal penyimpanan, produksi CO_2 tinggi, karena suhu buah pada awal penyimpanan masih tinggi sebab belum menyesuaikan dengan kondisi ruang penyimpanan, suhu awal buah ditambah dengan dari panas lapangan menyebabkan produk memiliki kecepatan respirasi yang tinggi. Seiring dengan lamanya waktu penyimpanan laju produksi CO_2 nya akan menurun sampai mendekati nol. Faktor fisik yang dihasilkan dari pemanasan ringan dan pelapisan dengan perendaman larutan CaCl_2 berhubungan dengan permeabilitas kulit untuk gas. Buah muda mempunyai epidermis yang disalut oleh suatu lapisan kutikula tipis, yang terutama terdiri atas lilin padat. Bila buah menjadi masak kutikulanya menjadi tebal, dan makin lama makin banyak mengandung lilin cair dan minyak. Oleh karena itu, permeabilitasnya menurun dengan bertambahnya umur dan faktor yang mempercepat pematangan.

Tingkat Penerimaan Panelis terhadap Perlakuan Kombinasi Optimum

Dalam uji hedonik, panelis dimintakan tanggapan pribadinya tentang kesukaan atau sebaliknya ketidak-sukaan. Di samping mengemukakan tanggapan senang, suka, atau sebaliknya, panelis juga mengemukakan tingkat kesukaannya. Tingkat-tingkat kesukaan inilah yang disebut skala hedonik yang dipresentasikan pada Gambar 5.

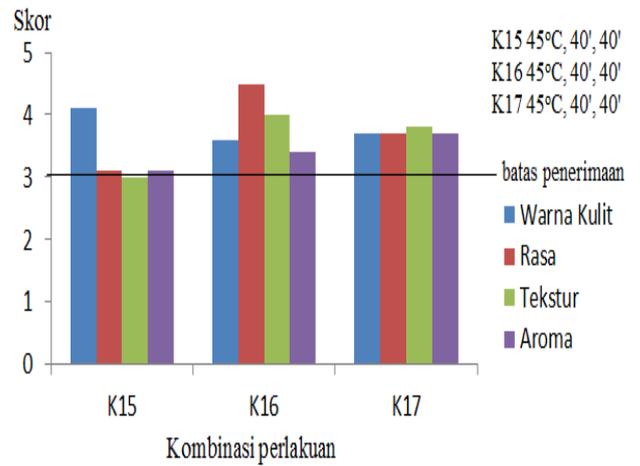
Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa dari setiap parameter (warna kulit, rasa, tekstur, dan aroma dari pada kondisi optimum), penyimpanan hari ke-3 dengan perlakuan mendekati kombinasi optimum berupa perlakuan K15, K16, dan K17 menunjukkan skor penerimaan yang dapat dikategorikan diterima oleh panelis dari batas skor minimal penerimaan adalah 3. Adapun penerimaan secara organoleptik dari kombinasi perlakuan yang diberikan pada belimbing yang dinilai oleh panelis disajikan pada Gambar 6.

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa selain perlakuan mendekati kombinasi optimum, terdapat pula perlakuan kombinasi yang masih dapat diterima panelis. Kombinasi yang masih diterima ialah perlakuan dengan notasi K12, K13, dan K16 yang masih diterima panelis sampai hari penyimpanan ke-12, sebab pada hari penyimpanan ke-12 mulai timbul bercak cokelat dan hitam yang disebabkan oleh kapang. Guna mengetahui seberapa penting parameter sensori yang ada sesuai dengan tingkat kepentingan panelis dari skala 1–6, lihat Gambar 7.

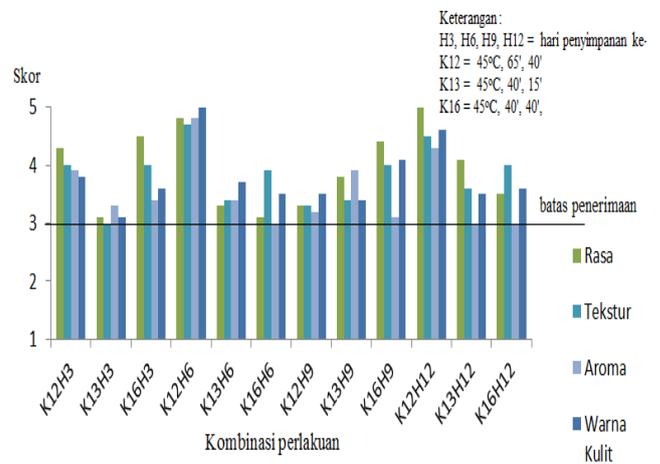
Menurut tingkat kepentingan panelis, secara berurutan parameter warna, rasa, tekstur, dan aroma adalah urutan yang mempengaruhi tingkat kesukaan panelis terhadap bahan yang menandakan masih layak ataupun tidak layak untuk dikonsumsi. Selama 15 hari penyimpanan, belimbing yang mendapat perlakuan mengalami penurunan mutu akibat proses metabolisme dan adanya kerusakan oleh mikroba. Pada hari ke-12, buah belimbing mulai memunculkan bercak cokelat. Menurut Kalie (1999), bercak ini disebabkan oleh kapang sejenis *Colletotrichum*. Gejala awalnya ialah timbul bercak-bercak cokelat kecil pada kulit buah yang telah masak kemudian membesar, menjadi lunak, dan membusuk berwarna cokelat gelap. Pembusukan ini akan menjalar ke seluruh bagian dalam buah dan akan mengubah warna daging buah menjadi cokelat gelap kemudian hitam dan terbentuk cekungan di daerah yang ada bercak cokelatnya.

KESIMPULAN

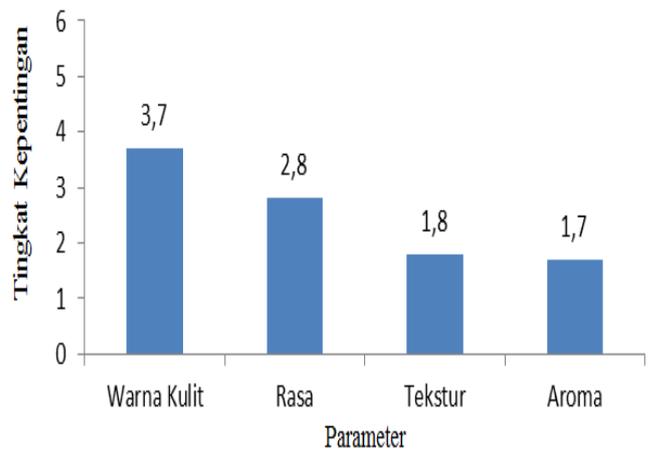
Parameter mutu yang diuji menunjukkan bahwa laju penurunan susut bobot dan kekerasan adalah parameter yang dipengaruhi oleh suhu HWT, lama ekspose, dan lama perendaman dalam larutan CaCl₂. Model yang sesuai dengan maksimisasi laju penurunan susut bobot adalah model orde kedua dari RSM dengan R² sebesar 78,6%. Adapun yang sesuai



Gambar 5 Skor organoleptik perlakuan mendekati kombinasi optimum.



Gambar 6 Skor organoleptik kombinasi perlakuan yang masih diterima panelis.



Gambar 7 Tingkat Kepentingan Panelis.

dengan minimisasi kekerasan adalah model orde kedua dari RSM dengan R² sebesar 57,6%.

Untuk maksimisasi laju penurunan susut bobot diperoleh kombinasi perlakuan optimum suhu HWT 42 °C, lama ekspose 42 menit, dan lama perendaman dalam larutan CaCl₂ 38 menit dengan nilai respons

sebesar 3,7%. Adapun untuk minimisasi kekerasan diperoleh kombinasi optimum suhu HWT 48 °C, lama ekspose 35 menit, dan lama perendaman larutan CaCl₂ 35 menit dengan nilai respons sebesar 0,629 Newton.

Berdasarkan uji organoleptik, belimbing yang diberi perlakuan mendekati kombinasi optimum, yaitu kombinasi (45 °C, 40', 40') menunjukkan hasil penerimaan oleh panelis terhadap belimbing dengan skor penerimaan di atas 3. Selain itu, kombinasi perlakuan yang masih diterima panelis adalah (45 °C, 65', 40'), (45 °C, 40', 15'), dan (45 °C, 40', 40'), sedangkan tingkat kepentingan dari panelis secara berurutan ialah warna, rasa, tekstur, dan aroma.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti berterima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan atas seluruh biaya penelitian ini melalui program Penelitian Strategis Nasional tahun 2012.

DAFTAR PUSTAKA

- [DEPTAN] Departemen Pertanian. 2009. Pusat Data Pertanian.
- Broto W. 1989. Menunda kematangan mangga arumanis dengan perlakuan CaCl₂. *Penel Hort.* 47(3): 64–68.
- Hadiningsih N. 2004. Optimasi Makanan Pendamping ASI dengan menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM). [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Iriawan N, Astuti SP. 2006. *Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab* 14. Yogyakarta (ID): Andi.
- Kader AA. 1992. Postharvest biology and technology: an overview. In: Kader AA. (ed), *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Publication 3311, pp. 15–20.
- Kalie B. 1999. *Mengatasi Buah Rontok, Busuk, dan Berulat*. Jakarta (ID): Penebar Swadaya.
- Lurie S. 1998. Review: Postharvest heat treatments. *Postharvest Biol Technol.* 14(3): 257–269.
- Martaspica RS. 2011. Metode *Response Surface* pada percobaan factorial 2^k [Skripsi]. Semarang (ID): Universitas Diponegoro.
- Maulana B. 2006. Optimasi Pembuatan Minyak Kelapa Metode Pancing dengan Teknik RSM (*response surface methodology*). [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Muchtadi TR, Sugiono. 1989. *Ilmu Pengetahuan Bahan Pangan*. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Pantastico EC, Subramanyam H. 1986. Penyimpanan dan operasi penyimpanan secara komersial. Di dalam: Pantastico Er. B. *Fisiologi Pascapanen Penanganan dan Pemanfaatan Buah-buahan dan Sayur-sayuran Tropika dan Subtropika*. Terjemahan. Yogyakarta (ID): Gajah Mada University Pr.
- Seftina H. 2002. Pengaruh Pelapisan Lilin dan Lama Penyimpanan terhadap Kualitas Buah Belimbing (*Averrhoa carambola* L.) pada Penyimpanan Suhu Ruang [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Syarief R, Halid H. 1991. *Teknologi Penyimpanan Pangan*. Jakarta (ID): Arcan.
- Wills RBH, Tirmazi SIH. 1981. Retardation of ripening of mangoes by postharvest application of calcium. *Trop Agr.* 58(2): 137–139.
- Winarno FG, Wiranatakusuma AM. 1981. *Fisiologi Lepas Panen*. Jakarta (ID): Sastra Hudaya.