

POLA PENINGKATAN KEKERASAN KULIT BUAH MANGGIS SELAMA PENYIMPANAN DINGIN

Usman Ahmad¹, Sutrisno¹, I Wayan Budiastira¹, Aris Purwanto¹, dan Dwi Dian Novita²

¹Dosen pada Departemen Teknik Mesin dan Biosistem
Fakultas Teknologi Pertanian – Institut Pertanian Bogor

²Alumni Program Pascasarjana Teknologi Pascapanen pada Departemen Teknik Mesin dan Biosistem
Fakultas Teknologi Pertanian – Institut Pertanian Bogor
usmanahmad@ipb.ac.id

ABSTRAK

Pengerasan kulit merupakan indikator kerusakan pada penyimpanan buah manggis yang berkaitan dengan kandungan air pada kulit buah. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model kalibrasi NIR untuk memprediksi kadar air kulit buah manggis selama penyimpanan dan menentukan pola peningkatan kekerasan kulit buah manggis berdasarkan perubahan kadar air selama penyimpanan menggunakan reflektan NIR. Pada penelitian tahap pertama, sebanyak 88 buah masing-masing disimpan pada 8 °C dan 13 °C selama 40 hari, dan sebanyak 128 buah manggis disimpan pada suhu ruang (27 °C) selama 22 hari. Pengukuran reflektan, kadar air, dan kekerasan kulit buah dilakukan pada hari ke-0, 1, 2, 4, 8, 16, 24, 28, 32, 36, dan 40 pada penyimpanan suhu 8 °C dan 13 °C, dan pada hari ke-0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, dan 22 penyimpanan pada suhu ruang. Pada penelitian tahap kedua, sebanyak 10 buah manggis masing-masing disimpan pada 8 °C, 13 °C selama 28 hari, dan pada suhu ruang selama 16 hari sebagai sampel monitoring. Reflektan diukur pada hari ke-0, 2, 4, 8, 16, 24 dan 28 pada penyimpanan dingin dan pada hari ke-0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, dan 16 pada suhu ruang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lama penyimpanan optimum buah manggis pada 13 °C dan 8 °C adalah selama 28 hari dan pada suhu ruang selama 16 hari. Kadar air kulit buah menurun selama penyimpanan sedangkan kekerasan kulit buah menurun di awal dan meningkat di akhir penyimpanan pada ketiga suhu penyimpanan. Pola peningkatan kekerasan kulit buah manggis berdasarkan perubahan kadar air kulit buah ditentukan menggunakan reflektan NIR dengan persamaan $y=0,0045x^2-0,126x+3,64$ ($R^2=87,4\%$) untuk penyimpanan pada suhu 13 °C dan persamaan $y=0,0138x^2-0,218x+2,69$ ($R^2=70,1\%$) pada suhu ruang.

Kata kunci: buah manggis, pengerasan kulit, kadar air, NIR *spectroscopy*

PENDAHULUAN

Masyarakat dunia menjuluki buah manggis sebagai “*queen of fruit*” disebabkan kekhasan bentuk dan cita rasanya. Susunan kelopak buah menyerupai mahkota serta rasa daging buah yang unik yaitu perpaduan rasa manis, asam, dan sedikit sepat menjadi kekhasan yang tidak dijumpai pada buah-buahan lainnya. Buah ini merupakan salah satu buah eksotik yang sangat disukai oleh konsumen dalam dan luar negeri.

Buah manggis merupakan salah satu komoditas ekspor unggulan dengan kontribusi sebesar 34,4% dari total ekspor buah Indonesia. Pada tahun 2009, volume eksportnya sebesar 4.285 ton dengan nilai US\$ 2.781.712 lalu pada tahun 2010 mengalami peningkatan menjadi 8.225 ton dengan nilai US\$ 6.310.272. Negara tujuan ekspor buah manggis adalah Singapura, China, Hong Kong, Taiwan, RRC, serta beberapa negara Timur Tengah seperti Uni Emirat Arab dan Arab Saudi (Assibsindo 2011). Walaupun demikian, sebagian besar buah manggis yang dihasilkan oleh petani masih memiliki mutu yang rendah. Faktor eksternal dan internal dari mutu buah manggis mempengaruhi penerimaan konsumen sebab mutu buah ditentukan oleh. Faktor eksternal meliputi warna, bentuk, ukuran, adanya noda getah, dan kerusakan oleh serangga sedangkan faktor internal meliputi adanya daging bening, getah kuning, dan pengerasan kulit buah (Dangcham *et al.* 2008).

Pengerasan kulit merupakan masalah utama yang dijumpai pada penyimpanan buah manggis dan merupakan salah satu indikator kerusakan. Buah yang kulitnya mengeras menjadi sulit dibuka sehingga tidak disukai oleh konsumen. Pengerasan kulit diduga erat kaitannya dengan kandungan air pada kulit buah.

Penurunan kadar air kulit terjadi akibat transpirasi dan respirasi buah selama penyimpanan (Suyanti & Setyadjit, 2007). Analisis kandungan air dengan NIR *spectroscopy* merupakan salah satu teknologi yang cepat dan telah berhasil diaplikasikan lebih dari 30 tahun pada berbagai komoditi pertanian dan bahan makanan (Buning 2003). Penerapan NIR *spectroscopy* dalam bidang pertanian pertama kali dilakukan oleh Norris untuk memprediksi kadar air dalam biji-bijian pada tahun 1964 (Nicolai *et al.* 2007). Selain itu, Cozzolino (2005) menggunakan NIR *spectroscopy* untuk memprediksi kandungan air dalam minyak ikan, Uddin *et al.* (2006) memprediksi kandungan air dalam surimi, dan Mireei *et al.* (2010) memprediksi kandungan air dalam kurma mazafati.

Tujuan penelitian adalah 1) mengembangkan model kalibrasi NIR untuk memprediksi kadar air kulit buah manggis selama penyimpanan dan 2) menentukan pola peningkatan kekerasan kulit buah manggis berdasarkan perubahan kadar air selama penyimpanan menggunakan reflektan NIR.

METODOLOGI

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Pengolahan Pangan dan Hasil Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, pada Maret sampai November 2010.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah buah manggis segar berasal dari kebun petani di Purwakarta dengan bobot 80-100 g dan indeks kematangan dua dengan warna kulit kuning-merah. Theobendazole (TBZ) digunakan untuk mengatasi serangan jamur buah. Peralatan yang digunakan adalah spektrometer NIR, timbangan digital, timbangan analitik, oven temperatur konstan, rheometer, refrigerator, cawan, aluminium foil, *desikator*, *cutter*, baskom, dan keranjang buah.

Prosedur Penelitian Tahap Pertama

Tahap pertama bertujuan mengembangkan model kalibrasi NIR untuk memprediksi kadar air kulit buah manggis dan menentukan persamaan regresi kadar air terhadap kekerasan kulit berdasarkan data destruktif. Masing-masing sebanyak 88 buah disimpan pada 8°C dan 13°C selama 40 hari, dan sebanyak 128 buah disimpan pada suhu ruang (27°C) selama 22 hari. Pengukuran spektra reflektan, kadar air, dan kekerasan kulit buah dilakukan pada hari ke-0, 1, 2, 4, 8, 16, 24, 28, 32, 36, dan 40 untuk penyimpanan pada 8°C dan 13°C, dan pada hari ke-0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, dan 22 untuk penyimpanan pada suhu ruang. Setiap pengukuran menggunakan 8 sampel sebagai ulangan.

Pengukuran reflektan NIR kulit buah

Reflektan NIR kulit buah diukur pada tiga titik yang berbeda pada bagian tengah buah menggunakan spektrometer pada panjang gelombang 1000-2500 nm dengan interval 0,4 nm. Setiap buah memiliki tiga set data reflektan. Dengan demikian, total data reflektan sebanyak 264 data pada penyimpanan 8°C dan 13°C serta 384 data pada penyimpanan suhu ruang.

Pengukuran kadar air kulit buah

Kulit buah manggis diambil dengan ukuran 2 cm x 2 cm x 0,4 cm sebanyak tiga potong pada bagian yang diukur reflektannya. Kadar air diukur dengan metode oven pada suhu 105°C sampai beratnya konstan.

Pengukuran kekerasan kulit buah

Pengukuran kekerasan dilakukan pada tiga titik yang berbeda pada bagian tengah buah menggunakan rheometer dengan mode 20, beban maksimum 10 kg, kedalaman tekan 4 mm, kecepatan penurunan beban 60 mm/menit, dan diameter plunger 2,5 mm. Nilai yang dipakai dalam analisis data adalah nilai rata-rata dari tiga titik tersebut.

Kalibrasi dan validasi NIR terhadap kadar air kulit buah dengan metode PLS

Data spektra dibagi menjadi dua yaitu kelompok kalibrasi dan kelompok validasi menggunakan spektra yang berasal dari sampel yang berbeda. Jumlah data yang digunakan dalam kelompok kalibrasi sekitar 2/3 dan validasi 1/3 dari total data pada setiap suhu penyimpanan. Total data reflektan sebanyak 264 data pada penyimpanan 8°C dan 13°C serta 384 data pada penyimpanan suhu ruang. Model kalibrasi merupakan model yang menunjukkan tingkat korelasi kadar air dengan reflektan NIR sedangkan validasi merupakan uji terhadap model kalibrasi. Pengolahan awal (*pretreatment*) berupa normalisasi 0-1 dilakukan untuk mengurangi *error* yang disebabkan perbedaan ukuran partikel.

Evaluasi hasil kalibrasi dan validasi NIR

Hasil kalibrasi dan validasi NIR dengan metode PLS dievaluasi berdasarkan nilai koefisien korelasi (r), *root mean standard error* (RMSE), dan *coefficient of variation* (CV). RMSE pada kelompok kalibrasi disebut RMSEC dan pada kelompok validasi disebut RMSEP. Untuk mengetahui besar *error* secara proposional, maka RMSEP dibandingkan dengan nilai tengah data yang dinyatakan oleh CV. Model kalibrasi yang baik memiliki nilai r yang tinggi, nilai CV yang rendah, serta nilai RMSEC dan RMSEP yang hampir sama (William & Norris 1990). Nilai RMSE dan CV dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n-1}} \quad (1)$$

$$CV = \frac{RMSEP}{x_{rata} - rata \text{ set validasi}} \times 100 \quad (2)$$

Nilai x adalah kadar air kulit buah hasil pengukuran dengan metode oven, y adalah kadar air kulit buah hasil prediksi NIR, n adalah jumlah data dan i adalah urutan data dari ke-1 sampai ke- n . Pada penelitian ini, model kalibrasi dinyatakan baik jika memiliki nilai $r \geq 0,75$ dan nilai $CV < 5\%$. Model kalibrasi terbaik yang diperoleh digunakan untuk memprediksi kadar air kulit buah berdasarkan reflektan NIR pada penelitian tahap kedua.

Penentuan persamaan regresi kadar air terhadap kekerasan kulit buah

Hubungan kadar air dan kekerasan kulit buah manggis berdasarkan data destruktif ditentukan dengan analisis regresi. Data yang dianalisis terlebih dahulu diuji kenormalan distribusinya menggunakan *normality test* Kolmogorov-Smirnov. Residual data terdistribusi normal jika hasil uji menunjukkan $p\text{-value} > 5\%$. Sedangkan persamaan regresi dapat digunakan jika hasil *analysis of variance* (Anova) menunjukkan $p\text{-value} < 5\%$. Persamaan yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk memprediksi kekerasan berdasarkan perubahan kadar air kulit buah pada penelitian tahap kedua.

Prosedur Penelitian Tahap Kedua

Penelitian tahap kedua bertujuan untuk menentukan pola peningkatan kekerasan kulit buah selama penyimpanan berdasarkan perubahan kadar air kulit menggunakan reflektan NIR. Masing-masing sebanyak 10 buah manggis sebagai sampel monitoring disimpan pada 8 °C, 13 °C selama 28 hari, dan pada suhu ruang (27 °C) selama 16 hari. Lama penyimpanan optimum ditentukan berdasarkan hasil penelitian tahap pertama. Reflektan kulit buah diukur pada hari ke-0, 2, 4, 8, 16, 24 dan 28 pada penyimpanan dingin dan pada hari ke-0, 2, 4, 6, 8,10,12,14, dan 16 pada suhu ruang.

Prediksi kadar air kulit buah berdasarkan reflektan NIR

Data reflektan NIR kulit buah manggis yang berasal dari 10 buah sampel monitoring pada setiap tingkat suhu penyimpanan dinormalisasi 0-1 lalu digunakan untuk memprediksi kadar air kulit buah dengan model kalibrasi NIR terbaik yang diperoleh pada tahap pertama. Kadar air kulit buah hasil prediksi 10 buah sampel monitoring diamati untuk mengetahui pola perubahannya selama penyimpanan.

Prediksi kekerasan kulit buah menggunakan reflektan NIR

Data kadar air kulit buah hasil prediksi NIR digunakan untuk memprediksi kekerasan kulit buah dengan persamaan regresi kadar air terhadap kekerasan kulit yang diperoleh pada tahap pertama. Nilai kadar air kulit buah yang digunakan dalam analisis adalah nilai rata-rata dari 10 sampel monitoring pada masing-masing suhu penyimpanan.

Penentuan pola peningkatan kekerasan kulit buah menggunakan reflektan NIR

Pola peningkatan kekerasan kulit buah selama penyimpanan ditentukan berdasarkan hubungan lama penyimpanan dan kekerasan kulit buah hasil prediksi dengan analisis regresi. Data yang dianalisis terlebih dahulu diuji kenormalan distribusi residualnya menggunakan *normality test* Kolmogorov-Smirnov. Residual data terdistribusi normal jika hasil ujinya menunjukkan *p-value* > 5%. Sedangkan persamaan regresi dapat digunakan jika hasil *analysis of variance* (Anova) menunjukkan *p-value* < 5%.

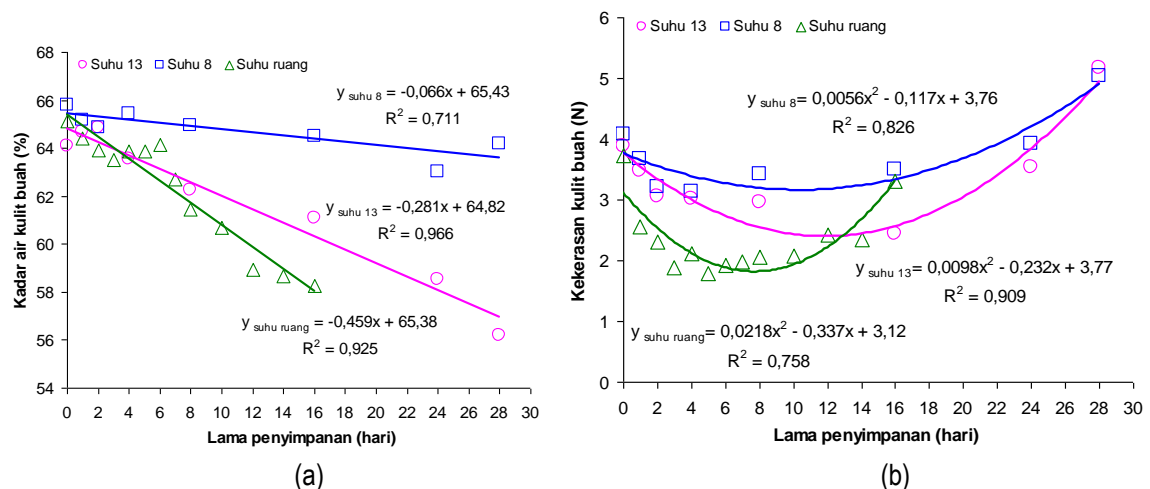
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penurunan mutu buah manggis selama penyimpanan

Tiga jenis kerusakan yang menyebabkan penurunan mutu buah manggis ditemukan selama penyimpanan pada 8 °C, 13 °C, dan suhu ruang (27 °C). Kerusakan pertama berupa adanya getah kuning pada permukaan kulit bagian dalam atau pada permukaan daging, ditemukan sebanyak 3% dari 304 buah sampel yang digunakan. Kerusakan kedua berupa bercak-bercak hitam pada kulit buah yang mulai terlihat sejak hari ke-20 dan semakin bertambah banyak pada akhir penyimpanan. Kerusakan ketiga berupa kerusakan daging buah yang berubah warna menjadi abu-abu sampai hitam, berair, berbau asam, dan berjamur.

Kerusakan daging buah mulai terjadi pada hari ke-28, ke-24, dan ke-14 pada penyimpanan 8 °C, 13 °C, dan suhu ruang sebanyak 37,5%, 25%, dan 12,5%. Setelah penyimpanan selama 32, 36, dan 40 hari pada 13 °C dan 8 °C dan setelah 18, 20, dan 22 hari pada suhu ruang, kerusakan daging buah mencapai 62,5-87,5% dari total sampel pada setiap pengamatan. Dengan demikian diketahui bahwa lama penyimpanan optimum buah manggis, dengan indeks kematangan 2 (kuning-merah), pada suhu 13 °C dan 8 °C adalah selama 28 hari dan pada suhu ruang selama 16 hari. Buah yang rusak cenderung memiliki nilai kekerasan kulit yang lebih tinggi dibandingkan buah dalam kondisi normal. Untuk penentuan pola kekerasan dan kadar air kulit buah selama penyimpanan digunakan data dari sampel-sampel yang tidak mengalami kerusakan.

Perubahan kadar air dan kekerasan buah selama penyimpanan



Gambar 1. (a) Perubahan kadar air dan (b) perubahan kekerasan kulit buah selama penyimpanan

Kadar air kulit buah manggis secara umum menurun pada ketiga kondisi penyimpanan. Penurunan kadar air kulit tertinggi terjadi pada suhu ruang yaitu 6,9% selama 16 hari dan terendah pada 8 °C yaitu 2,8% selama 28 hari penyimpanan. Kecepatan penurunan kadar air kulit buah selama penyimpanan sebesar 0,066% per hari pada 8 °C, 0,281% per hari pada 13 °C, dan 0,459% per hari pada suhu ruang (Gambar 1a). Perubahan kekerasan kulit menurun pada awal dan meningkat pada akhir penyimpanan pada ketiga kondisi penyimpanan. Penurunan kekerasan terjadi sampai hari ke-16 penyimpanan pada 8 °C dan 13 °C serta sampai hari ke-7 pada suhu ruang. Setelah masa simpan tersebut, kekerasan kulit meningkat, yang semakin cepat dengan semakin tingginya suhu penyimpanan (Gambar 1b).

Analisis spektra NIR kulit buah manggis

Radiasi NIR dengan panjang gelombang 1000-2500 nm pada permukaan kulit buah manggis menghasilkan spektra pantulan (reflektan). Secara umum pola reflektan kulit buah yang disimpan pada ketiga tingkat suhu hampir sama hanya pada suhu 13 °C dan suhu ruang reflektan terlihat lebih rapat dibandingkan suhu 8 °C. Reflektan memiliki tiga lembah utama yaitu pada panjang gelombang 1190 nm, 1450 nm, dan 1940 nm yang mencerminkan penyerapan energi oleh ikatan O-H.

Pengolahan awal (*pretreatment*) berupa normalisasi 0-1 perlu dilakukan terhadap reflektan. Normalisasi 0-1 berfungsi mengurangi *error* akibat pengaruh perbedaan ukuran partikel dan memperbesar rentang nilai reflektan. Setelah dilakukan normalisasi, ketiga spektra terlihat lebih berhimpit yang artinya nilainya hampir sama. Data reflektan dapat diubah menjadi data serapan (absorban) dengan mentransformasi data dalam log (1/reflektan). Pada spektra absorban kulit buah manggis, puncak-puncak penyerapan terdapat pada panjang gelombang 1190, 1450, dan 1940 nm yang mencerminkan kandungan air. Kenaikan penyerapan juga terjadi pada panjang gelombang 1765-1780 nm yang mencerminkan kandungan CH₂ dan selulosa serta di atas panjang gelombang 2400 nm yang mencerminkan kandungan pati (Osborne *et al.* 1993).

Kalibrasi dan validasi NIR terhadap kadar air kulit buah manggis dengan metode PLS

Kalibrasi dan validasi NIR untuk memprediksi kadar air kulit buah manggis dikembangkan berdasarkan korelasi data reflektan NIR dengan data kadar air hasil pengukuran dengan metode oven. Data yang dianalisis adalah data yang diperoleh selama masa simpan optimum yang masih dapat mempertahankan mutu buah.

Tabel 1. Deskripsi data untuk kalibrasi dan validasi NIR dengan metode PLS

Deskripsi statistik	Suhu 8 °C		Suhu 13 °C		Suhu ruang	
	Kalibrasi	Validasi	Kalibrasi	Validasi	Kalibrasi	Validasi
Jumlah data	114	51	117	51	210	96
Nilai minimum (%)	60,57	61,87	50,79	55,66	54,21	55,47
Nilai maksimum (%)	68,38	67,1	67,84	65,98	70,55	67,21
Nilai rata-rata (%)	64,78	64,58	62,16	62,37	62,3	62,58
Standar deviasi (%)	1,91	1,58	3,9	2,9	3,67	2,5

Data berasal dari 55 dan 56 buah manggis yang telah disimpan selama 28 hari pada 8 °C dan 13 °C, serta dari 102 buah manggis yang telah disimpan selama 16 hari pada suhu ruang. Total data yang digunakan yaitu 165, 168, dan 306 data pada penyimpanan 8 °C, 13 °C, dan suhu ruang. Sebanyak 2/3 bagian dari total data untuk kalibrasi dan 1/3 bagian untuk validasi (Tabel 1).

Hasil kalibrasi dan validasi NIR dengan metode PLS

Hasil kalibrasi NIR terhadap kadar air kulit buah manggis yang disimpan pada 8 °C menunjukkan nilai R² sebesar 0,574 artinya sebesar 57,4% merupakan kontribusi kadar air hasil pengukuran terhadap variasi kadar air prediksi NIR. Pada penyimpanan 13 °C, hasil kalibrasi menunjukkan nilai R² sebesar 0,741 artinya sebesar 74,1% merupakan kontribusi kadar air hasil pengukuran terhadap variasi kadar air prediksi NIR. Hasil kalibrasi pada suhu ini menunjukkan bahwa kadar air kulit buah berkorelasi baik dengan reflektan NIR. Demikian pula pada penyimpanan suhu ruang, hasil kalibrasi menunjukkan nilai R² sebesar 0,778 artinya sebesar 77,8% merupakan kontribusi kadar air hasil pengukuran terhadap variasi kadar air prediksi NIR.

Evaluasi hasil kalibrasi dan validasi NIR dengan metode PLS

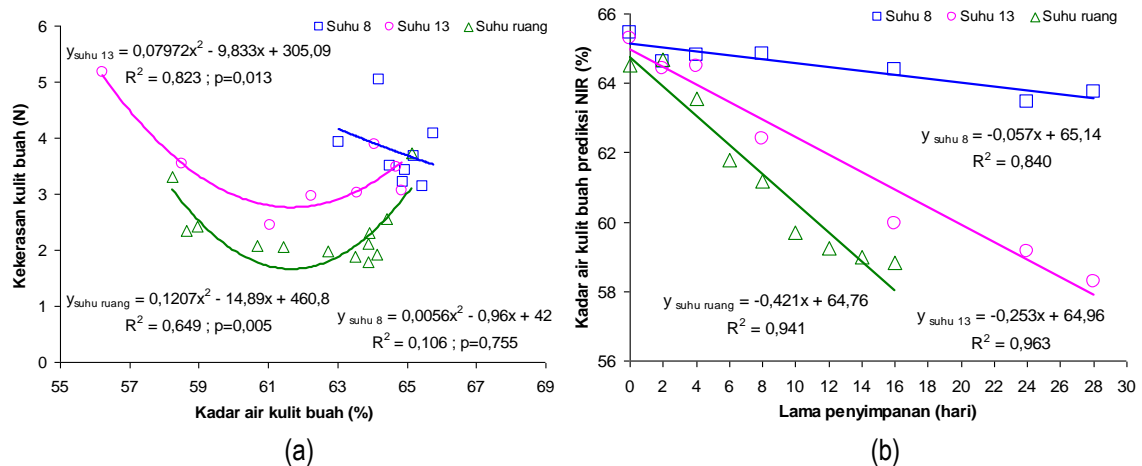
Hasil evaluasi menunjukkan nilai *r* model kalibrasi sebesar 0,758-0,882, selisih nilai RMSEC dan RMSEP sebesar 0,09-0,39%, serta nilai CV berkisar 2,5-3,3% yang artinya akurasi dan kestabilan model baik (Tabel 2). Dengan demikian, model kalibrasi NIR dengan metode PLS dapat memprediksi kadar air kulit buah dengan baik pada penyimpanan 8 °C, 13 °C, dan suhu ruang. Kadar air ditentukan oleh kandungan air yang tercermin dalam ikatan O-H yang puncak-puncak penyerapannya terlihat jelas pada panjang gelombang 1190 nm, 1450 nm, dan 1940 nm.

Tabel 2. Komponen evaluasi hasil kalibrasi dan validasi NIR terhadap kadar air kulit buah dengan metode PLS

Suhu penyimpanan	Kalibrasi		Validasi		Selisih RMSE (%)
	Nilai r	RMSEC (%)	RMSEP (%)	CV (%)	
8 °C	0,758	1,25	1,64	2,5	0,39
13 °C	0,861	1,98	2,07	3,3	0,09
Ruang	0,882	1,73	1,87	3,0	0,19

Persamaan regresi kadar air terhadap kekerasan kulit buah

Hasil analisis regresi kadar air terhadap kekerasan kulit buah manggis berupa pola nonlinear. Kekerasan menurun pada awal penyimpanan dan meningkat pada akhir penyimpanan sementara kadar air terus menurun selama penyimpanan. Perubahan kadar air terjadi dari nilai kadar air yang tinggi ke nilai yang rendah atau dari arah kanan ke arah kiri sumbu x (Gambar 2a).



Gambar 2. (a) Hasil analisis regresi kadar air dan kekerasan kulit buah, (b) perubahan kadar air rata-rata kulit buah hasil prediksi

Hasil Anova terhadap persamaan regresi pada penyimpanan 8 °C menunjukkan $p\text{-value} > 5\%$ yang artinya persamaan belum mewakili data sehingga tidak dapat digunakan. Pada suhu 8 °C, data kadar air yang diperoleh sebesar 63,03-65,52% dan data kekerasan sebesar 3,14-5,04 N. Rentang data kadar air yang sempit menyebabkan pola hubungan antara kadar air dan kekerasan kulit tidak dapat ditentukan. Sedangkan pada penyimpanan 13 °C dan suhu ruang, rentang data kadar air yang diperoleh lebih lebar. Data kadar air selama penyimpanan pada 13 °C sebesar 56,22-64,84% dan pada suhu ruang sebesar 58,25-65,13% serta data kekerasan pada 13 °C sebesar 2,43-5,17 N dan pada suhu ruang sebesar 1,78-3,73 N. Hubungan kadar air dan kekerasan kulit buah manggis pada penyimpanan 13 °C dan suhu ruang dapat ditentukan dengan persamaan 3 dan 4.

$$y = 0,07972x^2 - 9,833x + 305,9 \quad (3)$$

$$y = 0,1207x^2 - 14,89x + 460,8 \quad (4)$$

Nilai y adalah kekerasan kulit (N) dan x adalah kadar air kulit (%). Kedua persamaan tersebut dapat digunakan sebab hasil Anova menunjukkan $p\text{-value} < 5\%$ yang artinya persamaan sudah mewakili data. Berdasarkan nilai R^2 , kontribusi kadar air kulit terhadap variasi kekerasan sebesar 64,9-82,3%. Hal ini berarti kekerasan kulit buah manggis tidak hanya dipengaruhi oleh kadar air tetapi juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti kandungan lignin dan phenolic acid.

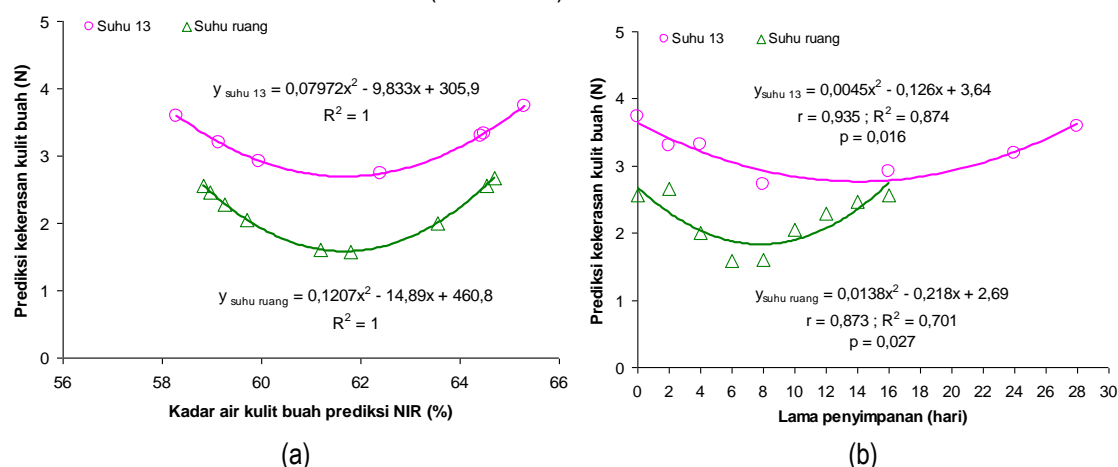
Prediksi kadar air kulit buah berdasarkan reflektan NIR

Kadar air 10 sampel monitoring pada ketiga suhu penyimpanan hasil prediksi NIR menunjukkan pola yang cenderung sama yaitu menurun dengan semakin lamanya penyimpanan. Penurunan kadar air tertinggi terjadi pada penyimpanan suhu ruang dan terendah pada 8 °C (Gambar 2b). Berdasarkan nilai rata-rata kadar

air kulit buah manggis hasil prediksi, nilai kadar air juga menurun secara linear selama penyimpanan pada ketiga suhu. Penurunan kadar air kulit tertinggi terjadi pada suhu ruang yaitu 5,85% selama 16 hari dan terendah pada 8 °C yaitu 1,99% selama 28 hari penyimpanan. Kecepatan penurunan kadar air kulit buah selama penyimpanan sebesar 0,057% per hari pada 8 °C, 0,253% per hari pada 13 °C, dan 0,421% per hari pada suhu ruang. Berdasarkan nilai R², kontribusi lama penyimpanan terhadap variasi kadar air kulit buah manggis sebesar 84,0-96,3%.

Prediksi kekerasan kulit buah menggunakan reflektan NIR

Data kadar air kulit buah hasil prediksi NIR digunakan untuk memprediksi kekerasan kulit buah dengan Persamaan 45 dan 46 untuk penyimpanan pada 13 °C dan suhu ruang. Data yang digunakan adalah nilai rata-rata yang berasal dari 10 buah monitoring pada masing-masing suhu penyimpanan. Analisis regresi kadar air dan kekerasan kulit buah manggis hasil prediksi menghasilkan pola hubungan nonlinear. Kekerasan menurun pada awal penyimpanan dan meningkat pada akhir penyimpanan sementara kadar air terus menurun selama penyimpanan. Perubahan kadar air terjadi dari nilai kadar air yang tinggi ke nilai yang rendah atau dari arah kanan ke arah kiri sumbu x (Gambar 3a).



Gambar 3. (a) Prediksi kekerasan kulit buah hasil prediksi, (b) pola peningkatan kekerasan kulit buah hasil prediksi

Kekerasan kulit buah manggis hasil prediksi pada penyimpanan 13 °C lebih tinggi dibandingkan pada suhu ruang. Rentang data kadar air rata-rata hasil prediksi NIR pada penyimpanan 13 °C sebesar 58,30-65,30% dan kekerasan hasil prediksi sebesar 2,73-3,64 N. Pada penyimpanan suhu ruang, kadar air rata-rata hasil prediksi NIR sebesar 58,83-64,69% dan kekerasan prediksi sebesar 1,58-2,69 N. Penyimpanan buah manggis pada suhu yang lebih rendah cenderung membuat kulit buah menjadi semakin keras, demikian juga buah manggis yang lebih matang lebih sensitif terhadap *chilling injury* (Dangcham *et al.*, 2008).

Penentuan pola peningkatan kekerasan kulit buah menggunakan reflektan NIR

Hasil analisis regresi kekerasan hasil prediksi dan lama penyimpanan buah manggis menunjukkan pola nonlinear. Perubahan kekerasan kulit menurun pada awal dan meningkat pada akhir penyimpanan. Penurunan kekerasan pada awal penyimpanan disebabkan oleh perombakan protopektin yang tidak larut menjadi asam pektat dan pektin yang larut dalam air (Winarno 2002). Semakin tinggi suhu penyimpanan maka perubahan kekerasan kulit semakin cepat. Berdasarkan perubahan kekerasan, kematangan buah manggis diprediksi terjadi pada hari ke-12 sampai hari ke-16 untuk penyimpanan 13 °C dan pada hari ke-6 sampai hari ke-8 untuk penyimpanan suhu ruang. Pada rentang waktu tersebut buah manggis memiliki kekerasan yang rendah yang merupakan indikator kematangan buah (Gambar 3b). Pola peningkatan kekerasan kulit buah manggis berdasarkan perubahan kadar air kulit selama 28 hari penyimpanan pada 13 °C dan selama 16 hari penyimpanan pada suhu ruang dapat diprediksi dengan Persamaan 5 dan 6.

$$y = 0,0045x^2 - 0,126x + 3,64 \quad (5)$$

$$y = 0,0138x^2 - 0,218x + 2,69 \quad (6)$$

Nilai y adalah kekerasan kulit (N) dan x adalah lama penyimpanan (hari). Kedua persamaan ini dapat digunakan sebab hasil Anova menunjukkan $p\text{-value} < 5\%$. Berdasarkan nilai R^2 , kontribusi lama penyimpanan terhadap variasi kekerasan kulit buah manggis sebesar 70,1-87,4%.

KESIMPULAN

1. Kadar air kulit buah manggis selama penyimpanan pada 8 °C, 13 °C, dan suhu ruang dapat diprediksi dengan baik oleh reflektan NIR.
2. Kekerasan kulit buah manggis dapat diprediksi berdasarkan kadar air dengan persamaan $y=0,07972x^2-9,833x+305,9$ ($R^2 = 82,3\%$) pada penyimpanan 13 °C dan $y=0,1207x^2-14,89x+460,8$ ($R^2 = 64,9\%$) pada penyimpanan suhu ruang.
3. Pola peningkatan kekerasan kulit buah manggis berdasarkan perubahan kadar air kulit buah dapat ditentukan menggunakan reflektan NIR dengan persamaan $y=0,0045x^2-0,126x+3,64$ ($R^2 = 87,4\%$) untuk penyimpanan selama 28 hari pada suhu 13 °C dan $y=0,0138x-0,218x+2,69$ ($R^2 = 70,1\%$) untuk penyimpanan selama 16 hari pada suhu ruang.
4. Pada penyimpanan 8 °C, kekerasan kulit buah manggis tidak berkorelasi dengan kadar air sehingga pola peningkatan kekerasan kulit buah berdasarkan perubahan kadar air tidak dapat ditentukan menggunakan reflektan NIR dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [Assibsindo] Asosiasi Eksportir Importir Buah dan Sayuran Segar Indonesia. 2010. Ekspor Manggis Naik Signifikan. <http://industri.kontan.co.id/v2/read/industri/35881/Ekspor-Manggis-Naik-Signifikan>
- Buning HP. 2003. Analysis of water in food by near infrared spectroscopy. Food Chemistry 82: 107-115.
- Choehom R, Ketsa S, and Van Doorn WG. 2003. Chilling injury in mangosteen fruit. Journal of Horticultural and Biotechnology, 78: 559-562.
- Dangcham S, Bowen J, Ferguson IB, Ketsa S. 2008. Effect of temperature and low oxygen on pericarp hardening of mangosteen fruit stored at low temperature. Postharvest Biology and Technology 50: 37-44.
- Suyanti dan Setyadjit. 2007. Teknologi penanganan buah manggis untuk mempertahankan mutu selama penyimpanan. Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian 3: 65-72.
- Nicolai BM, Beullens K, Bobelyn E, Peirs A, Saeys W, Theron KI, Lammertyn J. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A Review. 2007. Postharvest Biology and Technology 46: 99-118.
- Cozzolino D, Murray I, Chree A, Scaife JR. 2005. Multivariate determination of free fatty acids and moisture in fish oils by partial least squares regression and near infrared spectroscopy. LWT 38: 821-828.
- Mireei SA, Mohtasebi SS, Massudi R, Rafiee S, Arabanian S, and Berardinelli A. 2010. Non-destructive measurement of moisture and soluble solids content of Mafazati date fruit by NIR spectroscopy. Australian Journal of Crop Science 4(3):175-179.
- Uddin M, Okazaki E, Fukushima H, Turza S, Yumiko Y, and Fukada Y. 2006. Nondestructive determination of water and protein in surimi by near infrared spectroscopy. Food Chemistry 96: 491-495.