

PENENTUAN BAHAN KERING BUAH MANGGA SECARA INTACT MENGGUNAKAN NEAR INFRARED SPECTROSCOPY

Diding Suhandy¹, Sulusi Prabawati², Yulianingsih², dan Yatmin³

¹Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung
Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1 Lampung 35145.

²Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian
Jl. Tentara Pelajar No.12A Bogor 16114.

Email : bb_pascapanen@litbang.deptan.go.id, bb_pascapanen@cbn.net.id

³Mahasiswa Program Pasca Sarjana Magister Teknologi Agroindustri (MTA)
Universitas Lampung.

Untuk membangun cara pengukuran bahan kering buah mangga secara *on-plant* (buah masih di pohon) diperlukan sebuah cara pengukuran bahan kering yang bersifat tidak merusak. Pada studi ini, dilakukan penggunaan NIR Spectroscopy untuk pengukuran bahan kering buah mangga secara tidak merusak. Spektra buah mangga diambil menggunakan sebuah spektrometer portabel pada mode absorbans pada dua titik berbeda. Nilai aktual bahan kering buah mangga diukur secara merusak dengan mengeringkan sampel pada suhu 70°C selama 96 jam. *The Partial Least Squares (PLS) regression* digunakan untuk membangun persamaan kalibrasi. Hasil penelitian menunjukkan NIR Spectroscopy berhasil mengukur bahan kering buah mangga dengan koefisien korelasi (r) antara nilai prediksi dan aktual sebesar 0,93, standar error prediksi (SEP) sebesar 0,89 dan bias sebesar 0,12.

Kata kunci : mangga, intact, NIR Spectroscopy, bahan kering

ABSTRACT. D. Suhandy, S. Prabawati, Yulianingsih and Yatmin. 2008. Determination of dry matter in intact mango fruit using near infrared spectroscopy. To establish a method to determine the dry matter non destructively on-plant measurement of dry matter in mango fruit, should be done. In this work, near infrared (NIR) Spectroscopy for non destructive measurement of dry matter in mango fruit was investigated. Using a portable spectrometer, spectra for each sample were acquired in absorbance mode at two different positions. The actual value of dry matter of mango was measured by drying the mango sampled at 70°C for 96 h. The Partial Least Squares (PLS) regression was used to develop a calibration equation. The NIR Spectroscopy method successfully determined the dry matter of mango fruits with correlation coefficient (r) between predicted and actual values was with 0.93, standard error of prediction (SEP) of 0.89 and bias of 0.12.

Keywords: mango, intact fruit, NIR Spectroscopy, dry matter

PENDAHULUAN

Pada buah mangga, tingkat ketuaan (*maturity*) pada saat panen merupakan faktor yang sangat penting untuk menentukan kualitas buah. Buah yang sudah berkembang sempurna, ketika buah tersebut matang dapat mencapai kualitas tinggi untuk konsumsi. Buah mangga muda tidak dapat mencapai tingkat kematangan maksimal sehingga rasanya tetap masam dan tidak enak saat dikonsumsi. Dengan demikian untuk mendapatkan kualitas buah mangga yang tinggi penentuan waktu panen yang tepat merupakan salah satu hal yang sangat penting.

Metode penentuan ketuaan buah mangga secara konvensional dengan menghitung jumlah hari setelah bunga mekar penuh, memiliki banyak keterbatasan. Penggunaan parameter warna permukaan buah dan berat jenis sebagai indikator ketuaan juga telah lama dikenal. Namun, parameter-parameter tersebut sangat dipengaruhi oleh lingkungan sekitar pohon dan teknik bercocok tanam (Mendoza dan Suriyapananont, 1984).

Parameter kimiawi seperti pati telah digunakan sebagai parameter untuk menilai ketuaan buah mangga

(Ueda *et al.*, 2000). Thahir, *et al.*, (2005) menggunakan parameter kenaikan CO₂ selama proses penyimpanan untuk menentukan kematangan buah mangga. Kemudian bahan kering (BK) yang komponen terbanyaknya adalah karbohidrat, telah direkomendasikan sebagai indeks ketuaan buah mangga (Johnson dan Parr, 1999).

Pada buah mangga tingkat ketuaan sangat berkorelasi dengan akumulasi bahan kering. Buah mangga dikatakan tua ketika akumulasi bahan kering mencapai titik maksimum dan apabila dipanen menghasilkan buah dengan kandungan pati tertinggi. Selama proses pematangan, bahan kering yang komponen utamanya adalah karbohidrat dihidrolisis menjadi sejumlah senyawa gula sederhana. Semakin tinggi kandungan bahan kering dapat menghasilkan senyawa gula sederhana yang tinggi pula dan buah mangga terasa manis saat dikonsumsi. Dengan demikian hubungan antara kandungan bahan kering saat buah dipanen dengan kualitas buah saat dikonsumsi sangatlah erat. Hal inilah yang mendasari alasan pentingnya menggunakan bahan kering sebagai indikator ketuaan buah saat dipanen. Sejumlah peneliti juga berhasil mengidentifikasi proses penurunan tingkat keasaman yang signifikan selama proses

ketuaan (Ueda *et al.*, 2000). Berbeda dengan parameter fisik, parameter-parameter kimiawi tersebut berkorelasi secara langsung terhadap kualitas konsumsi buah mangga saat matang dan menggambarkan produksi gula dan tingkat respirasi.

Pengukuran parameter kimiawi berlangsung secara merusak. Yang mengakibatkan contoh buah mangga yang diukur akan rusak. Lebih lanjut, metode secara merusak ini membutuhkan biaya analisis kimiawi yang sangat mahal dan menghabiskan banyak waktu.

Penggunaan *near infrared Spectroscopy* (NIR *Spectroscopy*) pada penentuan BK buah-buahan sudah berkembang pesat. Hal ini didukung oleh keunggulan pengukuran dengan alat ini yang bersifat tidak merusak, cepat dan konsisten. NIR *Spectroscopy* telah berhasil untuk mengukur kandungan BK buah-buahan, seperti alpukat (Clark *et al.*, 2003) dan buah kiwi (McGlone dan Kawano, 1998). Pada penelitian ini NIR *Spectroscopy* digunakan untuk menduga/memprediksi parameter ketuaan buah mangga, bahan kering, secara tidak merusak. Spektra dari alat ini yang telah berinteraksi dengan sampel buah mangga merupakan bioinformasi yang dapat digunakan untuk memprediksi kandungan BK. Hal ini diperoleh melalui pembuatan persamaan kalibrasi yang menunjukkan hubungan tingkat korelasi antara parameter spektra dan parameter BK yang diukur secara merusak. Dari persamaan ini, dengan spektra sebagai *input* kita dapat menduga parameter BK sebagai *output*.

Tujuan penelitian ini adalah membangun persamaan kalibrasi untuk penentuan bahan kering buah mangga secara tidak merusak menggunakan NIR *spectroscopy*. Terbangunnya persamaan ini diharapkan mampu memberi jalan bagi terbangunnya cara pengukuran bahan kering buah mangga secara *on-plant*.

BAHANDAN METODE

A. Bahan

Sebanyak 74 buah mangga (*Mangifera indica* var. Indramayu) digunakan untuk penelitian ini. Buah mangga yang digunakan terdiri atas tiga tingkat ketuaan yaitu muda (mentah), setengah matang dan matang. Pemilihan ketiga tingkat ketuaan dilakukan oleh petani yang sudah berpengalaman berdasarkan penampakan luar buah seperti warna dan ukuran buah. Buah mangga tersebut diperoleh dari petani buah mangga di daerah Pekalongan, Kabupaten Lampung Timur dan dibawa secara hati-hati ke laboratorium Rekayasa Bioproses dan Pascapanen, Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Lampung. Buah dibersihkan dari berbagai kotoran yang melekat pada permukaan kulit buah. Kemudian buah dibagi menjadi dua kelompok sampel, yaitu sampel kalibrasi dan sampel

Tabel 1. Karakteristik statistik kelompok sampel kalibrasi dan validasi yang digunakan untuk penentuan bahan kering (BK) buah mangga.

Table 1. Statistical characteristic of calibration and validation samples used for determining the dry matter of mango

Item /Items	Sampel Kalibrasi/ Calibration Sample	Sampel Validasi Validation Sample
Jumlah sampel / Number of samples	38	36
Maksimum /Maximum	23,89	21,49
Minimum / Minimum	10,46	11,49
Rataan / Mean	14,69	14,74
Standard Deviasi/ Standard Deviation	2,55	2,16
Unit/ Units	%	%

validasi. Sampel kalibrasi adalah kelompok sampel untuk membangun persamaan kalibrasi sedangkan sampel validasi merupakan kelompok sampel yang digunakan untuk menguji persamaan kalibrasi yang dibangun. Karakteristik statistik kedua kelompok sampel dapat dilihat pada Tabel 1.

B. Metode

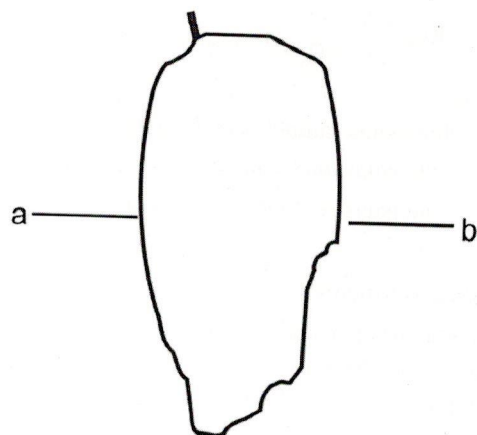
1. Pengambilan Spektra

Spektra NIR buah mangga diambil menggunakan alat NIR spectrometer VIS-NIR USB4000 (*Ocean Optics*, USA) menggunakan probe fiber optik (diameter 400 μ m dan panjang 2 m) dalam mode absorbance. VIS-NIR USB4000 merupakan salah satu spektrometer yang bekerja pada panjang gelombang 300–1100 nm. Spektrometer ini menggunakan 3648–element linear silicon CCD array sebagai detektor. Gambar 1 menunjukkan probe yang terdiri atas enam titik iluminasi sampel dan satu titik detektor.

Untuk sumber cahaya, spektrometer ini dipasangkan dengan sumber cahaya dari bahan lampu tungsten

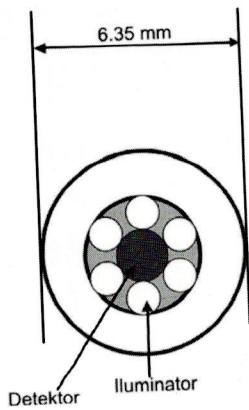
Gambar 1. Tampak atas probe yang menunjukkan bagian iluminator dan detektor.

Figure 1. Probe with illuminator and detector viewing from the upper side.



Gambar 2. Posisi pengambilan spektra buah mangga pada 2 titik yang berbeda.

Figure 2. Position for spectral acquisition of mango fruit at two different positions



halogen. Spektra dari detektor diteruskan ke komputer melalui kabel data USB. Kemudian data spektra tersebut diolah lebih lanjut oleh perangkat lunak *the Unscrambler* versi 9.7. Setiap sampel akan diambil 2 spektra pada 2 titik pengambilan spektra yang berbeda seperti terlihat pada Gambar 2, yaitu pada bagian tengah buah di mana untuk berpindah dari titik pengambilan 1 ke titik pengambilan 2, buah diputar dengan sudut sebesar 180°.

Sebelum pengambilan spektra sampel dilakukan, spektra *dark* dan *reference* diambil masing-masing sebanyak satu kali. Spektra *dark* merupakan spektra yang diambil tanpa sampel dan tanpa cahaya. Ini dilakukan dengan cara memblok sumber cahaya. Spektra *reference* merupakan spektra yang diambil dengan menggunakan *reference (diffuse reflectance standard model WS-1, Ocean Optics USA)* sebagai sampel. Suhu setiap sampel dibuat seragam. Seluruh sampel dimasukkan ke dalam *water bath* bersuhu 25°C selama 10 menit untuk menghasilkan suhu sampel sekitar 26°C. Untuk mencegah masuknya cahaya dari lingkungan, seluruh pengambilan spektra dilakukan di dalam kotak hitam yang tertutup.

Dengan teknik *absorbance mode* maka spektra *absorbance* dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$A_{\lambda} = -\log_{10} \left(\frac{S_{\lambda} - D_{\lambda}}{R_{\lambda} - D_{\lambda}} \right) \dots\dots\dots(1)$$

di mana:

- S_{λ} = Intensitas sampel pada panjang gelombang λ
- D_{λ} = Intensitas *dark* pada panjang gelombang λ
- R_{λ} = Intensitas *reference* pada panjang gelombang λ

2. Analisis Kimiawi

Kandungan bahan kering dianalisis menggunakan metode pengeringan dengan oven. Buah mangga diambil bagian dagingnya (diameter dan tebal 2 cm) sebanyak dua potong

tepat di titik pengambilan spektra untuk menghasilkan data dua ulangan untuk setiap parameter yang diukur. Data yang dipakai dalam perhitungan adalah rata-rata dari dua ulangan tersebut. Daging buah dirajang dalam ukuran kecil kemudian diletakkan di cawan petri yang telah diketahui beratnya. Sampel dan cawan petri diukur beratnya menggunakan timbangan digital model HL-3000 (Hansen). Kemudian sampel bersama cawan petri diletakkan dalam mesin pengering oven listrik model EYELA WFO-700 (tiga tray). Berat konstan tercapai dengan lama pengeringan 96 jam dengan suhu 70°C. BK akan dinyatakan sebagai persen (%) basis basah yaitu dengan membagi bahan kering dengan bahan awal (bahan kering +air) dikalikan 100%.

3. Analisis Data

Pertama-tama dari semua sampel yang ada akan dikelompokkan dalam dua set sampel yaitu satu set sampel untuk kalibrasi dan satu set sampel lagi untuk validasi. Persamaan kalibrasi akan dibangun untuk original, *smoothing* dan *second derivative* spektra (Savitzky-Golay *second derivative*, rata kiri kanan 33 nm). Untuk uji validasi dilakukan dengan *t-test* menggunakan persamaan kalibrasi yang dibangun dengan sampel yang berbeda. *T-test* merupakan salah satu metode validasi yang tersedia dalam program *the Unscrambler* versi 9.7 (CAMO AS, Norway). Persamaan kalibrasi dan validasi dibangun menggunakan metode *Partial Least Squares (PLS) Regression*. Semua proses tersebut dapat dilakukan oleh perangkat lunak khusus pengolah data *multivariate the unscrambler* versi 9.7. Kemudian perangkat lunak SPSS (*Statistical Package for the Social Science*) versi 11.0 digunakan untuk melakukan evaluasi signifikansi level dari persamaan yang dibangun.

4. Evaluasi Persamaan Kalibrasi

Kualitas persamaan kalibrasi biasanya dievaluasi dengan menggunakan statistika terapan. Beberapa terminologi statistik dibutuhkan untuk mendapatkan interpretasi yang benar terhadap hasil-hasil analisis NIR *Spectroscopy*. Beberapa terminologi statistik yang penting dan digunakan dalam analisis data NIR seperti tampak pada Tabel 2.

Pertama, kualitas dari persamaan kalibrasi akan dikuantifikasi oleh *standard error of calibration (SEC)*, *standard error of prediction (SEP)* dan *correlation coefficient (r)* antara besaran aktual dan besaran prediksi. Kemudian persamaan kalibrasi dengan RPD (*Ratio Prediction to Deviation*) tinggi juga menjadi syarat persamaan kalibrasi yang dapat diterima (Williams, 1987). Nilai RPD dihitung dengan cara membagi standard deviasi sampel validasi dengan nilai SEP yang diperoleh. Persamaan yang bagus memiliki SEC rendah, SEP rendah,

Tabel 2. Terminologi statistik terapan yang digunakan untuk mengevaluasi persamaan kalibrasi.
Table 2. Applied statistical terminology used to evaluate the calibration equation.

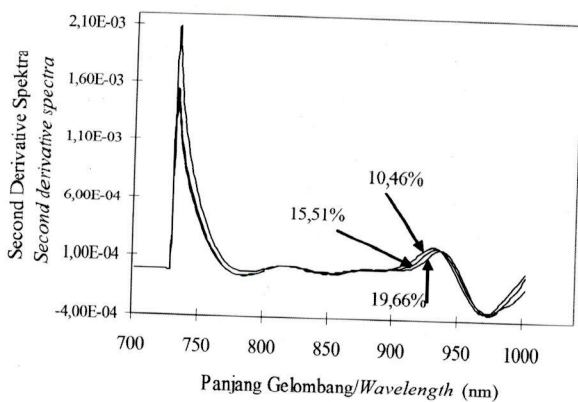
Terminologi/ Terminology	Persamaan/Equations
R^2	$R^2 = \frac{\sum(x \times y) - [(\sum x \times \sum y) / N]}{\left\{ \left[\sum x^2 - [(\sum x)^2 / N] \right] \times \left[\sum y^2 - [(\sum y)^2 / N] \right] \right\}^{1/2}}$
SEC or SEP	$SEC = \left\{ \sum(x - y)^2 - \left[\frac{(\sum(x - y))^2}{N} \right] / N - 1 \right\}^{1/2}$
Bias	$bias = \sum(x - y) / N$
RPD	$RPD = \frac{SD_{valset}}{SEP}$

RPD dan r yang tinggi dengan perbedaan antara SEC dan SEP sekecil mungkin. Selisih SEC dan SEP yang terlalu besar menunjukkan bahwa dalam persamaan tersebut terlalu banyak faktor/latent variable yang terlibat sehingga noise pun ikut terlibat dalam persamaan kalibrasi tersebut (Gomez et al., 2006).

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Spektra NIR Buah Mangga

Spektra NIR buah mangga untuk *second derivative* spektra dengan tiga tingkat bahan kering, yaitu tinggi (19,66%), sedang (15,51%) dan rendah (10,46%) yang diambil dengan teknik *absorbance mode* dapat dilihat pada Gambar 3. Dari Gambar 3 terlihat perbedaan spektra akibat perbedaan nilai bahan kering.



Gambar 3. *Second derivative* spektra buah mangga dengan tiga tingkat bahan kering yaitu rendah (10,46%), sedang (15,51%) dan tinggi (19,66%).

Figure 3. *Second derivative spectra* of mango with low (10.46%), middle (15.51%) and high (19.66%) dry matter content.

B. Membangun Persamaan Kalibrasi

Persamaan kalibrasi dan uji validasi untuk penentuan bahan kering buah mangga dibangun dengan menggunakan metode *PLS regression* untuk tiga jenis spektra yaitu original spektra, *smoothing* spektra (*moving average* dengan jumlah segmen 5), dan *second derivative* spektra (*Savitzky-Golay second derivative*, rata kiri dan kanan 33 nm). Hasilnya seperti tampak pada Tabel 3, 4 dan 5. Untuk menentukan persamaan kalibrasi yang terbaik maka digunakan beberapa kriteria. Pertama, persamaan kalibrasi terbaik harus memiliki jumlah faktor (F) yang cukup (tidak terlalu sedikit atau terlalu banyak) untuk hasil prediksi yang optimal serta menghindari terjadinya *overfitting*. Kemudian persamaan kalibrasi tersebut harus memiliki nilai koefisien korelasi (r) yang tinggi, nilai RPD yang tinggi, SEC yang rendah, SEP yang rendah, dan bias yang rendah.

Tabel 3 menunjukkan bahwa persamaan kalibrasi untuk original spektra menghasilkan nilai koefisien korelasi yang tinggi (terendah $r = 0,75$ dan tertinggi $r = 0,96$). Namun demikian pada saat bersamaan nilai SEP tinggi (terendah $SEP = 1,12$ dan tertinggi $SEP = 1,72$) dan perbedaan antara SEC dan SEP juga tinggi yang menunjukkan fenomena *overfitting* terjadi di mana noise ikut dilibatkan dalam persamaan kalibrasi yang dibangun. Fenomena *overfitting* juga dapat dijumpai pada persamaan kalibrasi menggunakan *smoothing* spektra. Seperti ditunjukkan di Tabel 4, persamaan kalibrasi menggunakan *smoothing* spektra memiliki nilai koefisien korelasi yang bervariasi (terendah $r = 0,38$ dan tertinggi $r = 0,96$) dengan nilai SEP yang tinggi (terendah $SEP = 1,12$ dan tertinggi $SEP = 1,89$).

Dari Tabel 5 dapat teridentifikasi bahwa persamaan kalibrasi dengan panjang gelombang 700-1000 nm untuk

Tabel 3. Hasil kalibrasi dan validasi untuk penentuan BK buah mangga menggunakan original spektra.
 Table 3. Calibration and validation results for dry matter determination in mango fruit using original spectra

Tipe Spektra/ Spectra types	Panjang gelombang/ Wavelength (nm)	F	r	SEC	SEP	Bias	RPD
Spektra original/ Original spectra	700-900	8	0,87	1,26	1,67	-0,04	1,29
	700-910	8	0,87	1,26	1,63	0,01	1,33
	700-920	9	0,88	1,19	1,64	0,02	1,32
	700-930	9	0,87	1,24	1,64	0,01	1,32
	700-940	6	0,75	1,67	1,65	0,20	1,31
	700-950	6	0,84	1,39	1,38	0,08	1,57
	700-960	7	0,93	0,93	1,21	-0,40	1,79
	700-970	7	0,92	1,00	1,21	-0,38	1,79
	700-980	8	0,95	0,78	1,31	-0,31	1,65
	700-990	8	0,96	0,74	1,18	-0,19	1,83
	700-1000	8	0,96	0,71	1,15	-0,16	1,88
	700-1010	8	0,96	0,72	1,14	-0,16	1,89
	700-1020	7	0,93	0,95	1,19	0,16	1,82
	700-1030	9	0,96	0,67	1,15	-0,02	1,88
	700-1040	7	0,92	1,01	1,12	0,15	1,93
	750-1000	8	0,95	0,82	1,61	-0,11	1,34
	800-1000	5	0,88	1,19	1,72	0,23	1,26
	850-1000	5	0,89	1,15	1,70	0,19	1,27

Keterangan/Remarks:

F : Jumlah faktor yang terlibat di dalam model/number of factors in the model

SEC: Standard error of calibration.

SEP: Standard error of prediction.

Bias: Rataan selisih antara nilai *reference* dan nilai prediksi oleh NIR/Average difference between reference and predicted values

RPD: Rasio antara SEP dan Standar Deviasi (SD) dari set sampel validasi/Ratio between SEP and standard deviation of validation sample.

second derivative spektra menghasilkan persamaan kalibrasi terbaik dengan koefisien korelasi tinggi sebesar 0,93. Persamaan kalibrasi tersebut juga memiliki nilai SEC = 0,93, nilai SEP = 0,89 serta nilai *bias* rendah (*bias* = 0,12). Perbedaan antara SEC dan SEP juga kecil. Persamaan

kalibrasi ini dapat digunakan untuk mengukur nilai bahan kering buah mangga secara tidak merusak.

Gambar 4 menunjukkan kontribusi/bobot masing-masing panjang gelombang pada rentang panjang gelombang 700-1000 nm untuk *second derivative* spektra

Tabel 4. Hasil kalibrasi dan validasi untuk penentuan bahan kering (BK) buah mangga menggunakan *smoothing* spektra.
 Table 4. Calibration and validation results for dry matter determination in mango fruit using *smoothing* spectra.

Tipe Spektra/ Spectra types	Panjang gelombang/ Wavelength (nm)	F	r	SEC	SEP	Bias	RPD
Spektra <i>smoothing</i> / Smoothing spectra	700-900	14	0,92	1,02	1,68	0,01	1,29
	700-910	18	0,95	0,82	1,77	0,09	1,22
	700-920	4	0,42	2,31	1,91	0,23	1,13
	700-930	3	0,38	2,36	1,65	0,18	1,31
	700-940	6	0,53	2,16	1,58	0,32	1,37
	700-950	7	0,85	1,35	1,12	-0,02	1,93
	700-960	6	0,83	1,43	1,13	-0,23	1,91
	700-970	7	0,83	1,41	1,09	-0,20	1,98
	700-980	6	0,80	1,51	1,14	-0,26	1,89
	700-990	6	0,82	1,45	1,16	-0,16	1,86
	700-1000	6	0,89	1,16	1,23	0,24	1,76
	700-1010	9	0,95	0,78	1,19	0,04	1,82
	700-1020	10	0,96	0,71	1,23	0,09	1,76
	700-1030	11	0,96	0,67	1,27	0,14	1,70
	700-1040	10	0,95	0,78	1,26	0,08	1,71
	750-1000	2	0,38	2,36	1,88	0,05	1,15
	800-1000	2	0,41	2,33	1,89	0,08	1,14
	850-1000	3	0,73	1,75	1,82	-0,04	1,19

Tabel 5. Hasil kalibrasi dan validasi untuk penentuan bahan kering (BK) buah mangga menggunakan *second derivative* spektra.
 Table 5. Calibration and validation results for dry matter determination in mango fruit using *second derivative spectra*

Type Spektra/ Spectra types	Panjang gelombang/ Wavelength (nm)	F	r	SEC	SEP	Bias	RPD
Spektra <i>second derivative/Second derivative spectra</i>	700-900	5	0,65	1,94	1,57	0,59	1,38
	700-910	6	0,67	1,87	1,47	0,42	1,47
	700-920	6	0,77	1,63	1,39	0,20	1,55
	700-930	5	0,88	1,19	1,11	0,07	1,95
	700-940	5	0,90	1,10	1,03	-0,03	2,10
	700-950	5	0,90	1,11	1,04	-0,02	2,08
	700-960	5	0,91	1,05	1,05	0,05	2,06
	700-970	4	0,92	1,02	0,92	0,13	2,35
	700-980	4	0,92	0,99	0,89	0,17	2,43
	700-990	4	0,92	0,99	0,90	0,16	2,40
	700-1000	5	0,93	0,93	0,89	0,12	2,43
	700-1010	5	0,92	0,99	0,89	0,15	2,43
	700-1020	5	0,92	0,99	0,89	0,15	2,43
	700-1030	5	0,92	0,99	0,89	0,15	2,43
	700-1040	5	0,92	0,99	0,89	0,15	2,43
	750-1000	3	0,80	1,52	1,52	-0,16	1,42
	800-1000	2	0,74	1,73	1,80	-0,06	1,20
	850-1000	2	0,73	1,73	1,79	-0,06	1,21

terhadap persamaan kalibrasi yang dibangun. Dari Gambar 4 terlihat bahwa koefisien regresi untuk setiap panjang gelombang berbeda. Semakin tinggi koefisien regresi maka panjang gelombang tersebut semakin berkontribusi terhadap persamaan kalibrasi yang dibangun. Gambar 4 memperlihatkan adanya beberapa koefisien regresi yang cukup dominan di antaranya pada panjang gelombang 740 nm, 780 nm, 833 nm, 864 nm, 883 nm, 970 nm dan 990 nm. Panjang gelombang 780 nm, 833 nm dan 970 nm berkorelasi dengan absorpsi air (Kawano *et al.*, 1995; Osborne *et al.*, 1993; Suhandy *et al.*, 2006). Panjang gelombang 990 nm merupakan salah satu panjang gelombang yang tingkatan energinya berkorelasi dengan

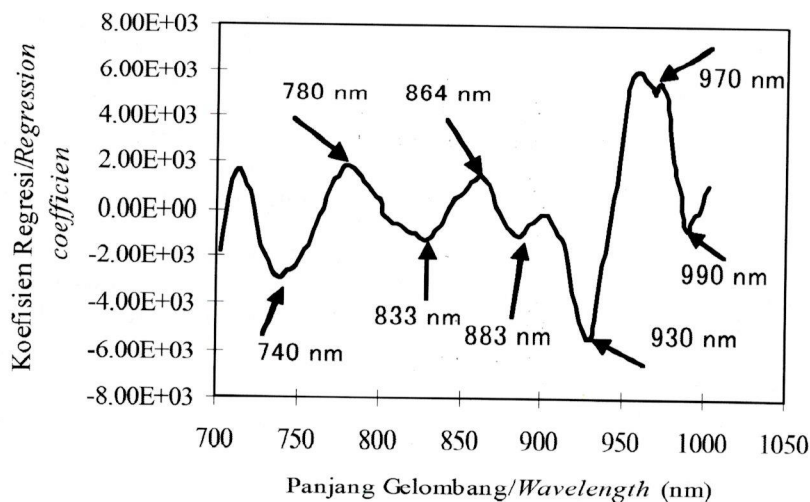
struktur molekul karbohidrat, yang merupakan penyusun utama bahan kering (Osborne *et al.*, 1993).

C. Validasi Persamaan Kalibrasi

Gambar 5 menunjukkan *scatter plot* antara bahan kering aktual dan bahan kering prediksi pada rentang panjang gelombang 700-1000 nm untuk *second derivative* spektra. Uji signifikansi level dengan 90% tingkat kepercayaan menunjukkan bahwa bahan kering aktual yang diukur menggunakan refraktometer dan bahan kering prediksi yang dihitung dengan NIR *Spectroscopy* adalah tidak berbeda secara nyata. Hal ini menunjukkan bahwa persamaan kalibrasi untuk penentuan bahan kering buah

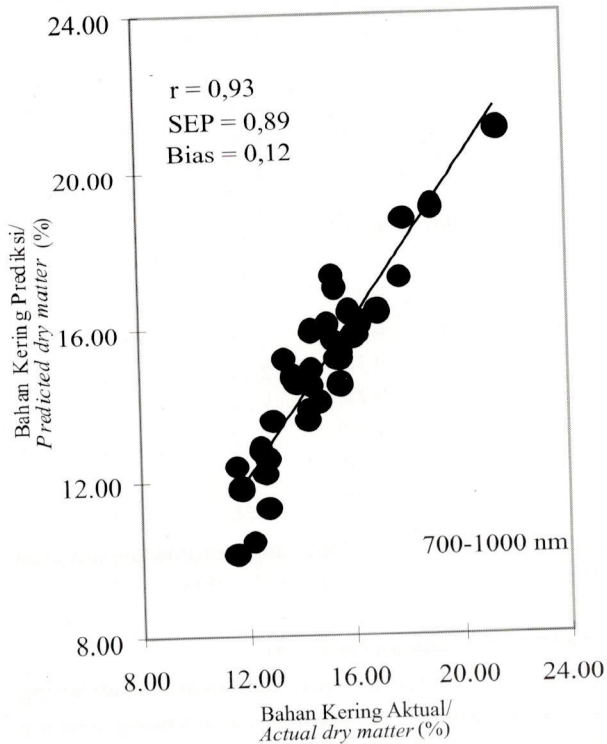
Gambar 4. Hubungan antara panjang gelombang dan koefisien regresi untuk *second derivative* spektra pada panjang gelombang 700-1000 nm.

Figure 4. Scatter plot between wavelength and coefficient regression for *second derivative spectra* in the wavelength range of 700-1000 nm.



Gambar 5. Scatter plot antara bahan kering aktual dan prediksi untuk *second derivative* spektra pada panjang gelombang 700-1000 nm.

Figure 5. Scatter plot between actual and predicted dry matter for *second derivative* spectra in the wavelength range of 700-1000 nm.



mangga secara tidak merusak menggunakan NIR *Spectroscopy* dapat terbangun dengan baik. Karakteristik sistem pengukuran seperti ini berpotensi untuk penerapan sistem pengukuran bahan kering secara *on-plant* menggunakan teknologi NIR *Spectroscopy*.

D. Aplikasi Hasil Penelitian

Untuk penggunaan di lapangan secara komersial masih perlu dilakukan investigasi lebih lanjut terkait dengan pengaruh variasi suhu di lapangan terhadap persamaan kalibrasi yang berhasil dibangun. Pada penelitian ini suhu sampel dibuat seragam. Khuriyati dan Matsuoka (2005) telah memperlihatkan bahwa kemampuan persamaan kalibrasi dalam memprediksi bahan kering buah tomat menurun seiring dengan makin variatifnya suhu buah tomat. Hasil yang sama sebelumnya juga ditunjukkan oleh Kawano et al (1995) untuk buah *peaches*. Persamaan kalibrasi untuk penentuan kandungan padatan terlarut buah *peaches* semakin menurun kualitasnya dengan meningkatnya suhu sampel buah *peaches*.

KESIMPULAN

NIR *Spectroscopy* telah berhasil mengukur bahan kering buah mangga secara tidak merusak. Persamaan kalibrasi terbaik diperoleh dari *second derivative* spektra pada panjang gelombang 700-1000 nm yang memiliki koefisien korelasi sebesar $r = 0,93$, $SEC = 0,93$ dan $SEP = 0,89$. Persamaan ini memiliki $bias = 0,12$. Bahan kering aktual yang diukur dengan metode *oven drying* dan parameter bahan kering prediksi yang dihitung menggunakan NIR *Spectroscopy* adalah tidak berbeda secara nyata pada tingkat kepercayaan 90% yang menunjukkan bahwa persamaan yang terbangun dapat digunakan sebagai salah satu teknik pengukuran bahan kering buah mangga secara tidak merusak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan tahap ketiga dari lima tahap penelitian yang didanai oleh hibah KKP3T tahun anggaran 2007. Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang tinggi kepada Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian atas dukungan dana melalui proyek KKP3T tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Clark, C.J., V.A. McGlone., C. Requejo., A. White and A.B. Woolf. 2003. Dry Matter Determination in 'Hass' Avocado by NIR Spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 29:300-307.
- Gómez, A.H., Y. He and A.G. Pereira. 2006. Nondestructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR-Spectroscopy techniques. *J. Food Engineering* 77:313-319.
- Johnson, P.R. and D. Parr. 1999. Mango Growing in Australia: Bulletin 4348. Department of Agriculture-Western Australia, South Perth, Australia.
- Kawano, S., H. Abe and M. Iwamoto. 1995. Development of a calibration equation with temperature compensation for determining the Brix value in intact peaches. *J. Near Infrared Spectroscopy* 3:211-218.
- Khuriyati, N. and T. Matsuoka. 2005. Monitoring Internal Properties of on-Plant Tomato Fruits using NIR Spectroscopy for Control of Nutrient Solution in Soilless Culture. *Environ. Control in Biol* 43(1):39-46.
- McGlone, V.A. and S. Kawano. 1998. Firmness, Dry Matter and Soluble Solids Assessment of Postharvest Kiwifruit by NIR Spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 13:131-141.

- Mendoza Jr, D.B. and V. Suriyapananont. 1984. Factors Affecting Growth and Development of Mango, in Ed. by D.B Mendoza Jr and R.B.H Wills, Mango: Fruit Developments, Postharvest Physiology and Marketing in ASEAN. ASEAN Food Handling Bureau, Kuala Lumpur, p.27-32.
- Osborne, B.G., T. Fearn and P.H. Hindle. 1993. Practical NIR Spectroscopy with Application in Food and Beverage Analysis. Longman Scientific and Technical, Harlow, UK, p 13-35.
- Suhandy, D., N. Khuriyati and T. Matsuoka. 2006. Determination of Leaf Water Potential in Tomato Plants using NIR Spectroscopy for Water Stress Management. Environ. Control in Biol 44(4): 279-284.
- Thahir, M., B. Zakaria, E. Ishak dan R. Patong. 2005. Pola respirasi mangga (*mangifera indica*) var arumanis selama penyimpanan pada suhu kamar. *Sains dan Teknologi*.5(2): 73-84.
- Ueda, M., K. Sasaki, N. Utsunomiya, K. Inaba and Y. Shimabayashi. 2000. Changes in physical and chemical properties during maturation of mango (*Mangifera indica* L. "Irwin") cultured in a plastic greenhouse. *Food Sci. Technol. Res* 6:299-305.
- Williams, P.C. 1987. Variable Affecting Near Infrared Reflectance Spectroscopic Analysis. In "Near-infrared Technology in the Agriculture and Food Industries" (ed. by Williams, P. and Norris, K.). Am. Soc. of Cereal Chemists Inc., St. Paul Minn., p 143-167.