

## PENENTUAN KONDISI PENGUKURAN NIR TERBAIK UNTUK PENENTUAN KANDUNGAN PADATAN TERLARUT BUAH MANGGA SECARA TIDAK MERUSAK MENGGUNAKAN NEAR INFRARED SPECTROSCOPY

*Determination of the Best NIR Experimental Condition for Nondestructive Soluble Solids Content Prediction in Mango Fruit Using Near Infrared Spectroscopy*

Diding Suhandy<sup>1</sup>, Rofandi Hartanto<sup>2</sup>, Sulusi Prabawati<sup>3</sup>, Yullianingsih<sup>4</sup>, Yatmin<sup>5</sup>

### ABSTRACT

*A search for the best NIR experimental condition for nondestructive soluble solids content prediction in mango fruit using near infrared spectroscopy was performed. In this study four treatments that was different in integration time and number of scanning was proposed. A number of 54 mango fruits (Mangifera indica var. Indramayu) were used as samples. The samples were divided into two groups, 27 samples for developing calibration equation and 27 samples for performing validation. Using a portable spectrometer, spectra for each sample was acquired in diffuse reflectance mode at six positions. The SSC of mango was measured using the refraktometer. The Partial Least Squares (PLS) Regression was used to develop a calibration equation. The result showed that the best calibration equation could be generated from the condition: integration time was 100 ms and number of scanning was 50 scans. Using this condition, the calibration equation resulted in high coefficient of determination ( $R^2 = 0.85$ ), low standard error of calibration, low standard error of prediction and also low bias.*

**Keywords:** *integration time, number of scanning, calibration equation, soluble solids content, near infrared spectroscopy.*

*Diterima: 3 Nopember 2007; Disetujui: 30 Nopember 2007*

### PENDAHULUAN

Waktu integrasi (*Integration time*) dan jumlah *scanning* (*number of scanning*) merupakan dua parameter pengambilan spektra yang mempengaruhi kualitas spektra yang dihasilkan. Waktu integrasi

(biasanya dinyatakan dengan unit millisecond/ms) merupakan waktu yang diperlukan oleh foton (cahaya near infrared) untuk berinteraksi dengan sampel. Semakin lama waktu integrasi maka semakin lama interaksi antara foton dan sampel sehingga semakin banyak

<sup>1,2</sup> Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung, Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1 Lampung 35145, email: diding2004@yahoo.com

<sup>3,4</sup> Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian DEPTAN RI Jl. Tentara Pelajar No.12 Cimanggu Bogor 16114

<sup>5</sup> Mahasiswa Program Pasca Sarjana Magister Teknologi Agroindustri (MTA) Universitas Lampung

informasi biologik yang diperoleh foton tersebut. Hanya saja apabila waktu integrasi terlalu lama akan mengakibatkan pemanasan (*heating*) sampel. Hal ini harus dihindari sebab dapat merusak sampel yang diukur. Setiap spektra yang dihasilkan biasanya merupakan rata-rata dari satu atau lebih *scanning*. Semakin banyak jumlah *scanning* maka akan menghasilkan spektra yang semakin halus. Hanya saja seperti halnya waktu integrasi, jumlah *scanning* tidak boleh terlalu banyak untuk menghindari efek pemanasan sampel.

Penelusuran pustaka menunjukkan bahwa waktu integrasi dan jumlah *scanning* berbeda-beda untuk setiap jenis sampel dan spektrometer. Walsh et al. (2000) menggunakan tiga jenis spektrometer untuk menilai kadar gula buah melon yaitu spektrometer MMSI (Zeiss), S2000 (Ocean Optics) dan FICS (Oriel). Hasilnya Walsh et al. (2000) merekomendasikan penggunaan waktu integrasi sebesar 200 ms dan jumlah *scanning* sebesar 4 *scans*. Saranwong et al. (2001) menggunakan jumlah *scanning* sebesar 50 *scans* dengan spektrometer NIRSystems 6500 untuk mengambil spektra buah mangga. Kemudian dengan menggunakan spektrometer FT20, Saranwong et al. (2003) mengambil spektra buah mangga dengan kondisi waktu integrasi 30 ms dan jumlah *scanning* sebesar 32 *scans*. Saranwong et al. (2003) menggunakan spektrometer NIRs6500 untuk mengambil spektra buah mangga dengan kondisi waktu integrasi 50 ms dan jumlah *scanning* sebesar 50 *scans*. Jha dan Matsuoka (2004) menggunakan spektrometer MMS1 dengan waktu integrasi 10 ms dan jumlah *scanning* sebesar 100 *scans* untuk penentuan rasio asam-brix pada buah tomat.

Spektrometer USB4000 (Ocean Optics, USA) merupakan salah satu spektrometer portable dengan performa tinggi yang merupakan pengembangan

Tabel 1. Karakteristik statistik kelompok sampel kalibrasi dan validasi yang digunakan untuk penentuan KPT buah mangga pada perlakuan 1, 2, 3 dan 4.

Item	Sampel Kalibrasi	Sampel Validasi
Jumlah sampel	27	27
Maksimum	15.0	14.9
Minimum	8.3	8.3
Rataan	11.2	11.5
Standard Deviasi	1.8	1.6
Unit	°Brix	°Brix

dari model spektrometer USB2000. Spektrometer ini dihubungkan ke komputer melalui kabel USB dan dioperasikan dengan bantuan perangkat lunak SpectraSuite. Sayang sekali, penelusuran pustaka menunjukkan bahwa spektrometer USB4000 belum pernah diujicobakan pada penentuan kandungan padatan terlarut (KPT) pada buah-buahan. Sehingga penelitian untuk menentukan kondisi pengambilan spektra terbaik yang meliputi waktu integrasi dan jumlah *scanning* untuk penentuan KPT buah mangga merupakan suatu kebutuhan yang mendesak.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Sebanyak 54 buah mangga (*Mangifera indica* var. Indramayu) digunakan untuk penelitian ini. Buah mangga tersebut terdiri atas tiga tingkat kemasakan dengan tujuan untuk mendapatkan rentang nilai KPT yang lebar. Selanjutnya buah mangga dibagi menjadi dua kelompok sampel yaitu sampel kalibrasi dan sampel validasi. Sampel kalibrasi adalah kelompok sampel untuk membangun persamaan kalibrasi sedangkan sampel validasi merupakan

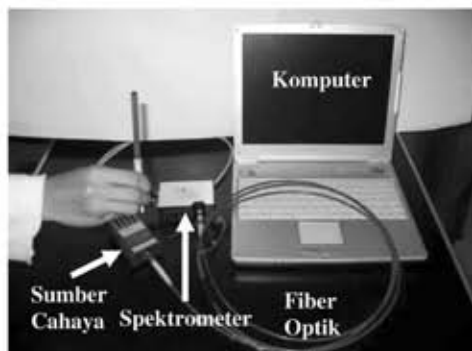
kelompok sampel yang digunakan untuk menguji persamaan kalibrasi yang dibangun. Karakteristik statistik kedua kelompok sampel dapat dilihat pada Tabel 1.

### Pengambilan Spektra

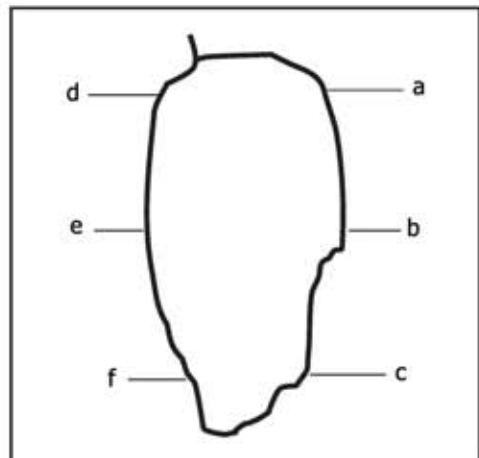
Spektra buah mangga dihasilkan oleh sebuah spektrometer portable dengan rentang panjang gelombang 300–1100 nm (VIS–NIR USB4000, Ocean Optics USA). Gambar 1 menunjukkan instrumentasi lengkap untuk pengukuran spektra. Instrumentasi tersebut terdiri atas spektrometer (menggunakan 3648–element linear silicon CCD array), sumber cahaya (*light sources*) dari lampu tungsten halogen, fiber optik (diameter 400  $\mu\text{m}$  dan panjang 2 m) dan komputer. Spektra dari sumber cahaya diarahkan ke buah mangga melalui fiber optik. Sebagian cahaya kemudian masuk ke dalam buah mangga kurang lebih sedalam 5–7 mm (Saranwong et al., 2001) dan berinteraksi dengan berbagai komponen bahan biologik dalam buah. Kemudian cahaya yang telah mengandung informasi biologik ini diteruskan ke spektrometer melalui fiber optik dan datanya dapat dilihat di layar monitor serta dapat disimpan melalui kabel USB. Pengukuran spektra

dilakukan pada enam posisi untuk setiap sampel dengan teknik *diffuse reflectance*. Gambar 2 menunjukkan posisi pengambilan spektra buah mangga. Pengambilan spektra dilakukan pada kondisi waktu integrasi dan jumlah *scanning* yang berbeda. Tabel 2 menunjukkan 4 perlakuan yang digunakan dalam penelitian ini yang menunjukkan kombinasi antara waktu integrasi dan jumlah *scanning*. Untuk keperluan pembuatan persamaan kalibrasi spektra dari 6 titik pengambilan spektra kemudian dibuat rataannya.

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. Untuk menyeragamkan suhu sampel, sebelum pengambilan spektra, seluruh sampel dimasukkan ke dalam *water batch* bersuhu 25°C selama 10 menit menghasilkan suhu sampel sekitar 26°C. Untuk mencegah masuknya



Gambar 1. Instrumentasi NIR yang digunakan pada pengambilan spektra buah mangga.



Gambar 2. Posisi pengambilan spektra buah mangga pada 6 titik yang berbeda.

Tabel 2. Perlakuan yang digunakan dalam penelitian

Perlakuan	Waktu integrasi (ms)	Jumlah scanning (scans)
1	100	50
2	150	50
3	100	100
4	150	100

cahaya dari lingkungan, seluruh pengambilan spektra dilakukan di dalam kotak hitam yang tertutup seperti tampak pada Gambar 3.

Dengan teknik *diffuse reflectance* maka spektra *reflectance* dinyatakan sebagai persen ( $\%R_\lambda$ ) relatif terhadap *reflectance* dari *reference* atau standard dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\%R_\lambda = \frac{S_\lambda - D_\lambda}{R_\lambda - D_\lambda} \times 100\% \quad (1)$$

di mana:

$S_\lambda$  = Intensitas sampel pada panjang gelombang  $\lambda$

$D_\lambda$  = Intensitas *dark* pada panjang gelombang  $\lambda$

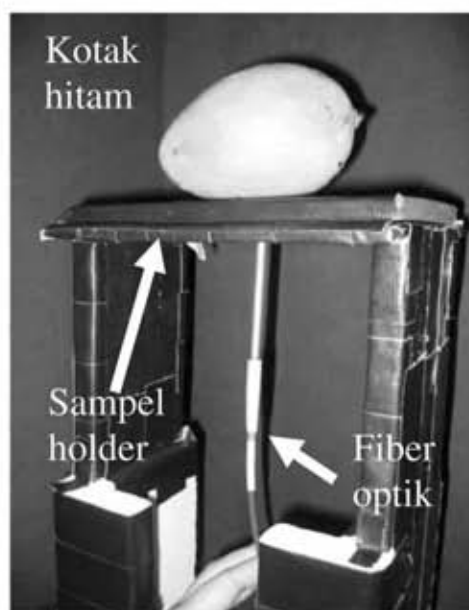
$R_\lambda$  = Intensitas *reference* pada panjang gelombang  $\lambda$

### Analisis Kimia

Analisis kimia meliputi pengukuran KPT buah mangga sebanyak 6 titik menggunakan refraktometer (Atago IPR 201, Tokyo Jepang). Keluarannya dinyatakan sebagai °Brix. Prosedur pengukurannya adalah sebagai berikut: daging buah mangga dipotong tepat di titik pengambilan spektra dengan ukuran diameter dan kedalaman sebesar 2 cm. Setiap titik pengukuran merupakan rata-rata dari 2 kali pengukuran. Rataan dari 6 titik pengukuran KPT kemudian akan digunakan dalam analisis data pada tahap pembuatan persamaan kalibrasi dan validasi.

### Analisis Data

Spektra reflektans hasil pengukuran ditransformasikan ke spektra absorbans menggunakan perangkat lunak the Unscrambler versi 9.7 (CAMO AS, Norway). Panjang gelombang NIR dengan panjang gelombang 700–1100 nm akan digunakan sebagai data spektra. Untuk setiap perlakuan, persamaan kalibrasi akan dibangun untuk original spektra, *smoothing* spektra dan *second derivative* spektra. 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. Metode *Partial Least Squares (PLS) Regression* digunakan untuk membangun persamaan kalibrasi dan validasi. Kemudian perangkat lunak SPSS (*Statistical Package for the Social Science*) versi 11.0 digunakan untuk melakukan evaluasi signifikansi level dari persamaan yang dibangun.



Gambar 3. Pengambilan spektra buah mangga dilakukan di dalam kotak hitam.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

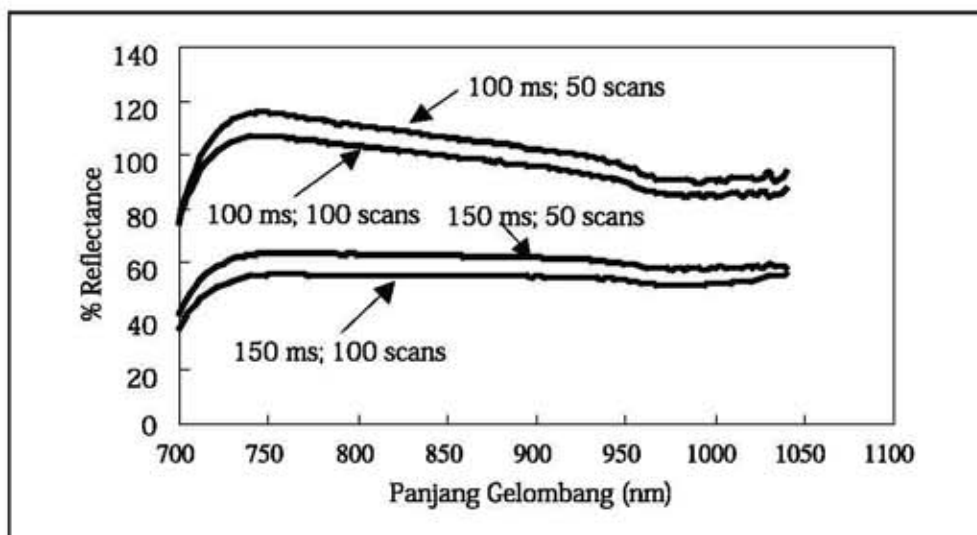
**Spektra NIR Buah Mangga**

Spektra NIR buah mangga original yang diambil dengan teknik *diffuse reflectance* dengan 4 perlakuan yang berbeda pada buah atau sampel yang sama dapat dilihat pada Gambar 4. Perlakuan 1 dan 2 dengan waktu integrasi yang sama yaitu sebesar 100 ms memiliki bentuk spektra yang identik. Demikian pula pada perlakuan 3 dan 4 yang memiliki waktu integrasi yang sama yaitu sebesar 150 ms memiliki bentuk spektra yang identik pula. Dengan adanya perbedaan waktu integrasi, perlakuan 1 dan 2 berbeda bentuk spektranya dengan spektra pada perlakuan 3 dan 4. Gambar 4 juga menunjukkan bahwa intensitas spektra *reference* meningkat seiring dengan meningkatnya waktu integrasi dan jumlah *scanning*. Namun perbedaan waktu integrasi dan jumlah *scanning* tidak secara signifikan berpengaruh terhadap intensitas spektra *dark*. Dengan menggunakan persamaan (1) di atas maka perlakuan 1 memiliki nilai persen *reflectance* paling tinggi diikuti oleh

perlakuan 2, 3 dan 4 seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.

**Membangun Persamaan Kalibrasi Menggunakan Waktu Integrasi dan Jumlah Scanning yang Berbeda**

Untuk setiap perlakuan, persamaan kalibrasi dan uji validasi untuk penentuan KPT buah mangga dibangun dengan menggunakan metode *Partial Least Squares (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, 5 dan 6. Tabel 3 menunjukkan persamaan kalibrasi untuk perlakuan 1, Table 4 untuk perlakuan 2, Tabel 5 untuk perlakuan 3 dan Tabel 6 untuk perlakuan 4. 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*.



Gambar 4. Original spektra buah mangga dengan 4 perlakuan yang berbeda pada sampel yang sama.

Tabel 3. Hasil kalibrasi dan validasi untuk penentuan KPT buah mangga pada perlakuan 1 (*integration time*: 100 ms dan jumlah *scanning*: 50 scans).

Tipe Spektra	Panjang gelombang (nm)	F	R <sup>2</sup>	SEC	SEP	Bias	RPD
Original Spektra	700-910	4	0.64	1.09	1.03	-0.07	1.55
	700-930	6	0.81	0.80	1.02	-0.08	1.57
	700-950	7	0.85	0.69	0.75	-0.04	2.13
	700-970	7	0.85	0.70	0.67	0.06	2.39
	700-990	7	0.86	0.64	0.71	0.07	2.25
	700-1010	8	0.90	0.55	1.02	0.02	1.57
	700-1030	10	0.96	0.37	1.04	-0.09	1.54
	800-1000	5	0.77	0.86	0.97	0.28	1.65
	850-1000	5	0.77	0.86	0.99	0.28	1.62
Smoothing Spektra	700-910	6	0.74	0.93	1.15	-0.16	1.39
	700-930	6	0.74	0.93	1.11	-0.14	1.44
	700-950	9	0.88	0.63	0.91	-0.26	1.76
	700-970	12	0.94	0.43	0.93	-0.04	1.72
	700-990	7	0.83	0.73	1.03	-0.10	1.55
	700-1010	8	0.86	0.68	1.08	-0.18	1.48
	700-1030	9	0.90	0.54	0.96	-0.28	1.67
	800-1000	9	0.81	0.78	1.07	0.28	1.50
	850-1000	9	0.81	0.80	1.07	0.18	1.50
Second Derivative Spektra	700-910	3	0.41	1.39	1.49	-0.51	1.07
	700-930	1	0.10	1.71	1.74	-0.31	0.92
	700-950	1	0.09	1.72	1.69	-0.29	0.95
	700-970	1	0.09	1.72	1.68	-0.29	0.95
	700-990	1	0.11	1.70	1.70	-0.31	0.94
	700-1010	1	0.14	1.68	1.71	-0.36	0.94
	700-1030	1	0.14	1.68	1.71	-0.36	0.94
	800-1000	1	0.09	1.72	1.60	-0.30	1.00
	850-1000	1	0.09	1.72	1.60	-0.30	1.00

Tabel 4. Hasil kalibrasi dan validasi untuk penentuan KPT buah mangga pada perlakuan 2 (*integration time*: 150 ms dan jumlah *scanning*: 50 scans).

Tipe Spektra	Panjang gelombang (nm)	F	R <sup>2</sup>	SEC	SEP	Bias	RPD
Original Spektra	700-910	1	0.12	1.69	1.45	-0.18	1.10
	700-930	1	0.12	1.69	1.45	-0.18	1.10
	700-950	1	0.12	1.69	1.45	-0.18	1.10
	700-970	1	0.12	1.69	1.45	-0.19	1.10
	700-990	1	0.12	1.69	1.45	-0.19	1.10
	700-1010	1	0.12	1.70	1.45	-0.19	1.10
	700-1030	1	0.12	1.70	1.45	-0.19	1.10
	800-1000	3	0.26	1.56	1.27	-0.21	1.26
	850-1000	3	0.35	1.46	1.25	-0.43	1.28
Smoothing Spektra	700-910	1	0.12	1.69	1.45	-0.18	1.10
	700-930	1	0.12	1.69	1.45	-0.18	1.10
	700-950	1	0.12	1.69	1.45	-0.18	1.10
	700-970	1	0.12	1.69	1.45	-0.19	1.10
	700-990	1	0.12	1.70	1.45	-0.19	1.10
	700-1010	1	0.12	1.70	1.45	-0.19	1.10
	700-1030	1	0.12	1.70	1.45	-0.19	1.10
	800-1000	3	0.21	1.60	1.29	-0.18	1.24
	850-1000	3	0.29	1.52	1.24	-0.35	1.29
Second Derivative Spektra	700-910	6	0.79	0.82	1.43	-0.52	1.12
	700-930	1	0.05	1.76	1.78	-0.24	0.90
	700-950	1	0.05	1.76	1.78	-0.25	0.90
	700-970	1	0.05	1.76	1.78	-0.25	0.90
	700-990	5	0.77	0.85	1.52	-0.26	1.05
	700-1010	5	0.79	0.81	1.54	-0.25	1.04
	700-1030	5	0.79	0.81	1.54	-0.25	1.04
	800-1000	4	0.64	1.09	1.33	-0.10	1.20
	850-1000	4	0.64	1.09	1.36	-0.14	1.18

Tabel 5. Hasil kalibrasi dan validasi untuk penentuan KPT buah mangga pada perlakuan 3 (*integration time*: 100 ms dan jumlah *scanning*: 100 scans).

Tipe Spektra	Panjang gelombang (nm)	F	R <sup>2</sup>	SEC	SEP	Bias	RPD
Original Spektra	700-910	1	0.06	1.75	1.56	-0.28	1.03
	700-930	1	0.06	1.75	1.56	-0.28	1.03
	700-950	1	0.06	1.75	1.56	-0.28	1.03
	700-970	1	0.06	1.75	1.56	-0.28	1.03
	700-990	1	0.06	1.75	1.56	-0.28	1.03
	700-1010	1	0.06	1.75	1.56	-0.28	1.03
	700-1030	1	0.06	1.75	1.56	-0.28	1.03
	800-1000	1	0.06	1.75	1.56	-0.29	1.03
Smoothing Spektra	850-1000	4	0.52	1.25	1.50	-0.27	1.07
	700-910	1	0.06	1.75	1.56	-0.28	1.03
	700-930	1	0.06	1.75	1.56	-0.28	1.03
	700-950	1	0.06	1.75	1.56	-0.28	1.03
	700-970	1	0.06	1.75	1.56	-0.28	1.03
	700-990	1	0.06	1.75	1.56	-0.28	1.03
	700-1010	1	0.06	1.75	1.56	-0.28	1.03
	700-1030	1	0.06	1.75	1.56	-0.28	1.03
Second Derivative Spektra	800-1000	4	0.37	1.43	1.45	-0.54	1.10
	850-1000	4	0.38	1.41	1.54	-0.27	1.04
	700-910	1	0.01	1.80	1.67	-0.25	0.96
	700-930	3	0.55	1.21	1.38	-0.65	1.16
	700-950	4	0.81	1.14	1.37	-0.78	1.17
	700-970	4	0.74	0.91	1.35	-0.65	1.19
	700-990	5	0.77	0.86	1.42	-0.58	1.13
	700-1010	6	0.77	0.84	1.35	-0.51	1.19
Second Derivative Spektra	700-1030	6	0.77	0.84	1.35	-0.51	1.19
	800-1000	5	0.69	1.00	1.53	-0.15	1.05
	850-1000	1	0.11	1.71	1.64	-0.34	0.98

Tabel 6. Hasil kalibrasi dan validasi untuk penentuan KPT buah mangga pada perlakuan 4 (*integration time*: 150 ms dan jumlah *scanning*: 100 scans).

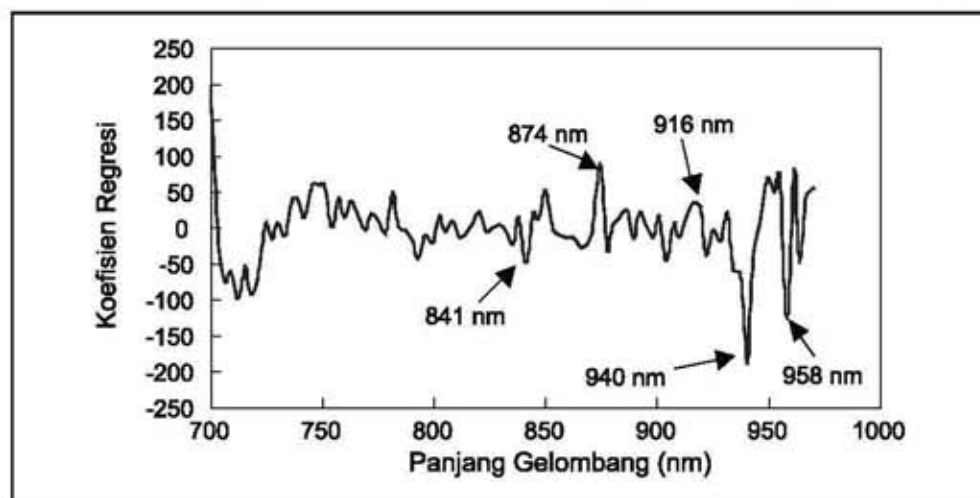
Tipe Spektra	Panjang gelombang (nm)	F	R <sup>2</sup>	SEC	SEP	Bias	RPD
Original Spektra	700-910	6	0.79	0.83	1.41	-0.43	1.13
	700-930	6	0.81	0.78	1.35	-0.50	1.19
	700-950	1	0.00	1.80	1.58	-0.25	1.01
	700-970	10	0.96	0.40	1.43	-0.33	1.12
	700-990	9	0.92	0.48	1.48	-0.21	1.08
	700-1010	9	0.96	0.38	1.37	-0.14	1.17
	700-1030	7	0.86	0.68	1.39	-0.31	1.15
	800-1000	1	0.01	1.80	1.58	-0.25	1.01
Smoothing Spektra	850-1000	1	0.01	1.80	1.58	-0.25	1.01
	700-910	8	0.81	0.79	1.41	-0.58	1.13
	700-930	7	0.77	0.87	1.42	-0.39	1.13
	700-950	9	0.85	0.70	1.44	-0.36	1.11
	700-970	9	0.83	0.73	1.44	-0.37	1.11
	700-990	9	0.85	0.69	1.40	-0.34	1.14
	700-1010	6	0.71	0.98	1.37	-0.35	1.17
	700-1030	6	0.87	1.04	1.43	-0.41	1.12
Second Derivative Spektra	800-1000	7	0.71	0.98	1.30	-0.16	1.23
	850-1000	6	0.52	1.26	1.32	-0.26	1.21
	700-910	3	0.58	1.18	1.24	-0.52	1.29
	700-930	6	0.74	0.91	1.30	-0.55	1.23
	700-950	6	0.76	0.90	1.33	-0.53	1.20
	700-970	5	0.67	1.04	1.34	-0.60	1.19
	700-990	4	0.58	1.18	1.37	-0.43	1.17
	700-1010	4	0.61	1.13	1.22	-0.40	1.31
Second Derivative Spektra	700-1030	4	0.61	1.13	1.22	-0.40	1.31
	800-1000	3	0.32	1.49	1.48	-0.33	1.08
	850-1000	3	0.29	1.52	1.51	-0.39	1.06

Lebih lanjut persamaan kalibrasi tersebut harus memiliki nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang tinggi, *standard error of calibration* (SEC) yang rendah, *standard error of prediction* (SEP) yang rendah dan *bias* yang rendah pula. 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.

Dari Tabel 3, pada perlakuan 1, persamaan kalibrasi untuk original spektra menghasilkan koefisien determinasi ( $R^2$ ) terkecil sebesar 0.64 untuk panjang gelombang 700–910 nm dan koefisien determinasi ( $R^2$ ) terbesar sebesar 0.96 untuk panjang gelombang 700–1030 nm. Fenomena *overfitting* terjadi pada panjang gelombang 700–1030 nm yang menghasilkan koefisien determinasi ( $R^2$ ) tertinggi yaitu sebesar 0.96 tetapi memiliki nilai SEP yang rendah serta perbedaan antara SEC dan SEP yang terlalu tinggi. Berdasarkan pertimbangan keseluruhan kriteria dapat dilihat bahwa persamaan kalibrasi pada panjang gelombang 700–970 nm merupakan persamaan

kalibrasi terbaik dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) = 0.85. Persamaan kalibrasi ini juga memiliki SEC dan SEP yang rendah yaitu masing-masing SEC = 0.70 dan SEP = 0.67. Selisih antara nilai SEC dan SEP juga relatif kecil dibandingkan dengan yang lain. Persamaan kalibrasi ini juga memiliki nilai RPD yang paling tinggi yaitu sebesar 2.39.

Dari Tabel 3 terlihat bahwa kualitas persamaan kalibrasi semakin rendah untuk *smoothing* spektra dan *second derivative* spektra. Pada *smoothing* spektra jumlah faktor (F) semakin tinggi dibandingkan dengan original spektra. Begitu juga dengan nilai SEC dan SEP juga semakin tinggi dan menghasilkan persamaan kalibrasi yang rendah kualitasnya dengan rata-rata *bias* tinggi dan nilai RPD yang rendah. Pada *second derivative* spektra kualitas persamaan kalibrasi sangat rendah. Hal ini dapat dilihat dari nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang sangat rendah, nilai SEC, SEP dan *bias* yang sangat tinggi serta nilai RPD yang sangat rendah. Fenomena ini, yaitu memburuknya kualitas persamaan kalibrasi pada *second derivative* dan *smoothing* spektra dimungkinkan dengan



Gambar 5. Hubungan antara panjang gelombang dan koefisien regresi pada panjang gelombang 700–970 nm.



dugaan adanya informasi penting yang hilang akibat proses diferensiasi dan *smoothing*. Fenomena tersebut juga ditunjukkan oleh Suhandy (2006) pada penentuan *leaf water potential* buah tomat menggunakan NIR spectroscopy.

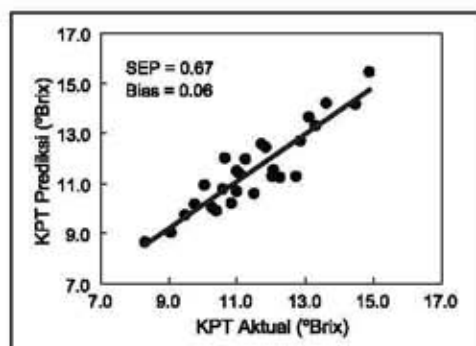
Persamaan kalibrasi pada perlakuan 2, 3 dan 4 memiliki kualitas yang rendah dengan nilai RPD tidak ada yang lebih dari 2. Hampir seluruh persamaan menghasilkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang sangat rendah. Seluruh persamaan juga menghasilkan nilai SEP dan *bias* yang tinggi. Fenomena *overfitting* dapat teridentifikasi khususnya pada perlakuan 4 untuk original spektra. Panjang gelombang 700–970 nm dan 700–1010 nm menghasilkan koefisien determinasi yang sangat tinggi ( $R^2 = 0.96$ ) tetapi keduanya menunjukkan kegagalan dalam uji validasi yang ditandai oleh tingginya nilai SEP dan rendahnya nilai RPD.

Gambar 5 menunjukkan kontribusi/ bobot masing-masing panjang gelombang pada panjang gelombang 700–970 nm untuk original spektra pada perlakuan 1 terhadap persamaan kalibrasi yang dibangun. Dari Gambar 5 terlihat bahwa koefisien regresi untuk setiap panjang gelombang berbeda. Semakin tinggi koefisien regresi maka panjang

gelombang tersebut semakin berkontribusi terhadap persamaan kalibrasi yang dibangun. Pada Gambar 5 terdapat beberapa koefisien regresi yang cukup tinggi di antaranya pada panjang gelombang 841 nm, 874 nm, 916 nm, 940 nm dan 958 nm. Panjang gelombang 874 nm berkorelasi dengan absorpsi karbohidrat. Karbohidrat dalam bentuk yang beragam seperti tepung, sukrosa, fruktosa dan glukosa merupakan komponen utama penyusun KPT (Ho dan Hewitt, 1986). Nafis dan Matsuoka (2004) menggunakan panjang gelombang 884 nm untuk menduga KPT buah tomat sedangkan Saranwong et al. (2003) menggunakan panjang gelombang 878 nm untuk menduga KPT buah mangga. Panjang gelombang 916 nm turut berperan dalam penentuan KPT buah mangga dan ini sejalan dengan temuan Dull et al. (1992) yang menggunakan panjang gelombang 913 nm pada penentuan KPT buah melon. Panjang gelombang 960 nm berkorelasi dengan absorpsi air (*water absorption*). Penelitian yang dilakukan oleh Suhandy et al. (2006) juga menunjukkan bahwa panjang gelombang 970 nm berkorelasi sangat baik dengan absorpsi terhadap air.

#### Validasi Persamaan Kalibrasi

Gambar 6 menunjukkan *scatter plot* antara KPT aktual dan KPT prediksi pada panjang gelombang 700–970 nm untuk original spektra pada perlakuan 1. Uji signifikansi level dengan 90% tingkat kepercayaan menunjukkan bahwa KPT aktual yang diukur menggunakan refraktometer dan KPT prediksi yang dihitung dengan NIR spectroscopy adalah tidak berbeda secara nyata. Hal ini menunjukkan bahwa persamaan kalibrasi untuk penentuan KPT buah mangga secara tidak merusak menggunakan NIR spectroscopy dapat terbangun dengan baik.



Gambar 6. Scatter plot antara KPT aktual dan KPT prediksi untuk original spektra perlakuan 1 pada panjang gelombang 700-970 nm.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari paparan di atas maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan waktu integrasi sebesar 100 ms dan jumlah *scanning* sebesar 50 *scans* menghasilkan kondisi pengambilan spektra terbaik. Dengan kondisi pengambilan spektra ini mampu menghasilkan persamaan kalibrasi terbaik pada panjang gelombang 700–970 nm dengan  $R^2 = 0.85$ ,  $SEC = 0.70$  dan  $SEP = 0.67$ . Persamaan ini memiliki  $RPD = 2.39$  dan  $bias = 0.06$ . Dengan uji *t-test* dapat dibuktikan bahwa parameter KPT aktual yang diukur dengan refraktometer dan parameter KPT prediksi yang dihitung menggunakan NIR spectroscopy adalah tidak berbeda secara nyata.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian tahap pertama 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 (Litbang) Departemen Pertanian atas dukungan dana melalui proyek KKP3T tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

Dull, G.G., Leffler, R.G., Birth, G.S., and Smittle, D.A. 1992. Instrument for nondestructive measurement of soluble solids in honeydew melons. *J. Transaction of the ASAE* **35**: 735–737.

Ho, L.C., and Hewitt, J.D. 1986. Fruit development. In "The Tomato Crop" (ed. By Atherton, J.G., Rudich, J.), Chapman and Hall, New York, p 206–239.

Jha, N.S., and Matsuoka, T. 2004. Nondestructive determination of acid-

brix ratio of tomato juice using near infrared spectroscopy. *International Journal of Food Science and Technology*. **39**: 425–430.

- Khuriyati, N., and Matsuoka, T. 2004. Near infrared transmittance method for nondestructive determination of soluble solids content in growing tomato fruits. *Environ. Control in Biol.* **42**(3): 217–223.
- Saranwong, S., Sornsrivichai, J., and Kawano, S. 2001. Improvement of PLS calibration for Brix value and dry matter of mango using information from MLR calibration. *J. Near Infrared Spectrosc.* **9**: 287–295.
- Saranwong, S., Sornsrivichai, J., and Kawano, S. 2003. Performance of a portable near infrared instrument for Brix value determination of intact mango fruit. *J. Near Infrared Spectrosc.* **11**: 175–181.
- Suhandy, D., Khuriyati, N., and Matsuoka, T. 2006. Determination of leaf water potential in tomato plants using NIR spectroscopy for water stress management. *Environ. Control in Biol.* **44**(4): 279–284.
- Suhandy, D. 2006. Studies on leaf water potential determination in tomato plants using near infrared spectroscopy for water stress management. Thesis. Department of Biomechanical System, Faculty of Agriculture, Kochi University.
- Walsh, K.B., Guthrie, J.A., and Burney, J.W. 2000. Application of commercially available, low-cost, miniaturised NIR spectrometers to the assesment of the sugar content of intact fruit. *Aust. J. Plant Physiol.* **27**: 1175–1186.
- 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.