

PENDUGAAN KANDUNGAN PADATAN TERLARUT BUAH SAWO MENGUNAKAN NIR SPECTROSCOPY

Diding Suhandy
Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung
Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1 Lampung 35145
e-mail: diding2004@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini ditujukan untuk mengevaluasi penggunaan NIR spectroscopy dalam proses pendugaan kandungan padatan terlarut (KPT) buah sawo dengan cara tidak merusak bahan. Pada penelitian ini dilakukan investigasi hubungan antara spektra NIR yang diambil tanpa merusak buah sawo dan KPT buah sawo. Sebanyak 110 buah sawo (*Achras zapota L*) digunakan untuk penelitian ini yang terbagi atas 55 sampel untuk pengembangan persamaan kalibrasi dan 55 sampel untuk uji validasi. Spektra untuk setiap sampel diambil menggunakan VISNIR USB4000 spektrometer dengan teknik *absorbance* pada dua titik berbeda. KPT buah sawo diukur menggunakan digital refraktometer. Persamaan kalibrasi dibangun dengan menggunakan teknik regresi *The Partial Least Squares* (PLS). Persamaan kalibrasi dapat digunakan untuk menduga kandungan padatan terlarut buah sawo dengan koefisien korelasi (r) antara nilai KPT aktual dan prediksi sebesar 0,92, *standard error of prediction* (SEP) sebesar 1,17, dan *bias* sebesar 0,08. Persamaan kalibrasi ini juga menghasilkan nilai RPD yang tinggi yaitu sebesar 2,35. Dapat disimpulkan bahwa metode NIR spectroscopy telah berhasil mengukur KPT buah sawo dengan tanpa merusak bahan yang diuji.

Kata kunci: NIR spectroscopy, kandungan padatan terlarut, teknik absorbance, persamaan kalibrasi, standar kesalahan pendugaan

SOLUBLE SOLIDS CONTENT PREDICTION IN SAWO FRUIT USING NIR SPECTROSCOPY

ABSTRACT

This research work was focused in to evaluate the use of near infrared (NIR) spectroscopy in predicting the soluble solids content (SSC) of intact sawo fruit nondestructively. In this work, the relationship between the nondestructive NIR spectral acquisition and the SSC of sawo fruit was investigated. A number of 110 sawo fruits (*Achras zapota L*) were used as samples. Before calibration, two types of data, calibration and validation set data, was used. A number of 55 samples were used for developing calibration equation and 55 samples were used for

performing validation. Using a VISNIR USB4000 spectrometer, spectra for each sample were acquired in absorbance mode at two different positions. The SSC of sawo was measured using the digital refractometer. The Partial Least Squares (PLS) regression was used to develop a calibration equation. The calibration equation could be used to determine the SSC of sawo fruit with correlation coefficient between predicted and actual values (r) of 0.92, standard error of prediction (SEP) of 1.17, and bias of 0.08. Using this equation an RPD value of 2.35 could be obtained. It was concluded that by using the NIR spectroscopy method it is possible to assess the SSC of sawo fruit nondestructively.

Keywords: NIR spectroscopy, soluble solids content, absorbance mode, calibration equation, standard error of prediction

PENDAHULUAN

Buah sawo merupakan salah satu buah andalan Provinsi Lampung yang akan dikembangkan untuk pasar ekspor. Rasanya yang manis dan segar membuat buah sawo sangat digemari oleh konsumen. Kualitas buah sawo sangat ditentukan oleh rasa manis (kandungan padatan terlarut/KPT). Saat ini alat yang tersedia dan umum digunakan untuk mengukur KPT buah sawo adalah refraktometer yang bersifat merusak (*destructive*), lambat (*time consuming*), dan tidak cocok untuk aplikasi sortasi kontinyu (*continues grading systems*).

Saat ini penelitian telah terfokus pada pengembangan teknik pengukuran atribut mutu buah dengan tanpa merusak bahan uji menggunakan berbagai macam metode. Di antara sekian banyak metode yang tersedia, metode near infrared (NIR) spectroscopy merupakan sebuah metode yang telah teruji mampu mengukur berbagai atribut mutu secara baik (Bull, 1991). Hal ini tidak terlepas dari berbagai keunggulan teknik ini dibandingkan dengan teknik pengukuran konvensional seperti bebas bahan kimia, cepat, tanpa merusak produk yang diukur/bahan uji dan dapat dengan mudah diintegrasikan pada sistem penilaian mutu kontinyu.

Metode NIR spectroscopy telah berhasil menentukan berbagai atribut mutu buah dengan tanpa merusak bahan uji. NIR spectroscopy telah berhasil mengukur kandungan bahan kering buah-buahan seperti pada buah alpukat (Clark et al., 2003), buah mangga (Saranwong et al., 2003; Suhandy et al., 2007a), dan buah kiwi (McGlone dan Kawano, 1998). Metode NIR spectroscopy juga telah berhasil mengukur kandungan gula pada beragam buah-buahan seperti pada buah apel (Lammertyn et al., 1998; Lu et al., 2000), buah jeruk (Kawano et al., 1993; McGlone et al., 2003). NIR spectroscopy juga telah berhasil mengukur kandungan padatan terlarut buah apel (Lammertyn et al., 1998; Park et al., 2003), buah kiwi (McGlone dan Kawano, 1998), buah mangga (Saranwong et al., 2003; Suhandy et al., 2007b), buah melon (Dull et al., 1992), dan buah tomat (Slaughter et al., 1996; Khuriyati dan Matsuoka, 2004).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan persamaan kalibrasi untuk pengukuran kandungan padatan terlarut (KPT) buah sawo dengan tanpa merusak bahan uji (*nondestructive*) menggunakan metode NIR spectroscopy.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Untuk penelitian ini digunakan buah sawo (*Achras zapota L*) sebanyak 110 buah terdiri atas tiga tingkat kematangan dengan tujuan untuk mendapatkan rentang nilai KPT yang lebar. Tiga tingkat kematangan yang dimaksud yaitu buah masak 1 (berukuran besar), masak 2 (berukuran sedang) dan masak 3 (berukuran kecil). Perbedaan ketiga tingkat kematangan terutama didasarkan pada perbedaan ukuran buah. Gambar 1 menunjukkan tiga ukuran buah sawo yang menunjukkan tiga tingkat kematangan buah sawo yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 1. Tiga tingkat kematangan buah sawo masak 1 (A), masak 2 (B) dan masak 3 (C).

Selanjutnya buah sawo dibagi menjadi dua kelompok sampel yaitu sampel kalibrasi sebanyak 55 buah dan sampel validasi sebanyak 55 buah. Sampel kalibrasi adalah kelompok sampel untuk membangun persamaan kalibrasi sedangkan sampel validasi merupakan kelompok sampel yang digunakan untuk menguji persamaan kalibrasi yang dibangun. Karakteristik kedua kelompok sampel dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik kelompok sampel kalibrasi dan validasi yang digunakan untuk penentuan KPT buah sawo.

Item	Sampel Kalibrasi	Sampel Validasi
Jumlah sampel	55	55
Maksimum	31,08	31,20
Minimum	20,43	21,03
Rataan	24,74	25,12
Standar Deviasi	2,61	2,75
Unit	°Brix	°Brix

Salah satu tujuan membagi sampel menjadi dua kelompok sampel yang berjumlah sama (55 buah sampel/kelompok sampel) adalah untuk mendapatkan karakteristik sampel yang tidak jauh berbeda. Tabel 1 dengan jelas memperlihatkan bahwa secara statistik kedua kelompok sampel yaitu sampel kalibrasi dan validasi memiliki karakteristik yang tidak jauh berbeda.

Pengambilan Spektra

Sebuah spektrometer *portable* dengan rentang panjang gelombang 300–1100 nm (VIS–NIR USB4000, Ocean Optics USA) digunakan untuk mengambil spektra NIR buah sawo. Proses pengambilan spektra secara lengkap melibatkan sebuah spektrometer (menggunakan 3648–element linear silicon CCD array), sumber cahaya (*light sources*) dari lampu tungsten halogen, fiber optik (diameter 400 μ m dan panjang 2 m) dan komputer. Satu bagian fiber optik dihubungkan ke sumber cahaya dan spektrometer. Kemudian satu bagian fiber optik lainnya merupakan probe yang secara langsung kontak dengan sampel. Pengambilan spektra dilakukan pada dua posisi untuk setiap sampel dengan teknik *absorbance mode* pada kondisi waktu integrasi sebesar 100 ms dan jumlah *scanning* sebesar 50 *scans*. Selanjutnya spektra hasil pengukuran tiap sampel 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. 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:

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

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

Analisis Kimia

KPT buah sawo diukur dengan Atago digital refraktometer (IPR 201, Tokyo, Jepang). Untuk keperluan pengukuran KPT, buah sawo dipotong dengan ukuran 33 mm. Kemudian daging buah sawo diambil tepat di kedua titik pengambilan spektra dengan membuang terlebih dahulu kulit buah sawo. Kemudian daging buah diperas dan cairan yang diperoleh diukur KPTnya menggunakan Atago digital refraktometer (IPR 201, Tokyo, Jepang). Setiap titik pengukuran merupakan rata-rata dari 2 kali pengukuran. Kemudian KPT dari dua titik pengukuran tersebut dibuat rataannya.

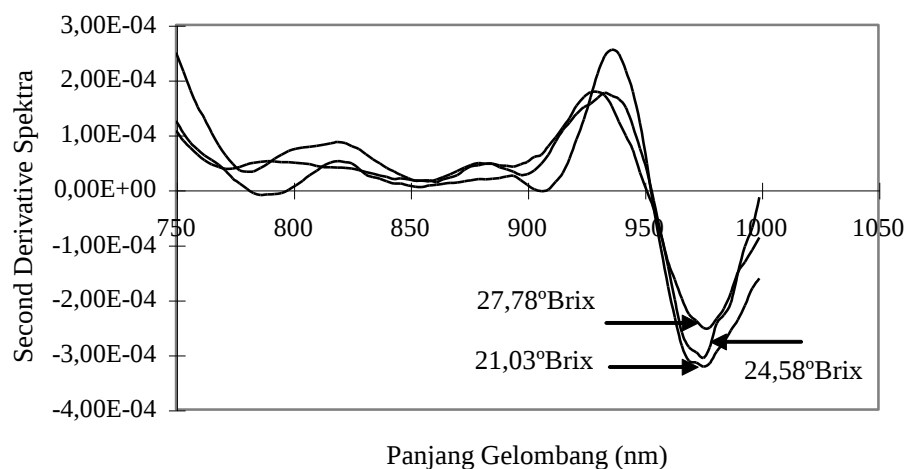
Analisis Data

Metode *Partial Least Squares (PLS) regression* digunakan untuk membangun persamaan kalibrasi. Proses ini melibatkan bantuan perangkat lunak the Unscrambler versi 9,7 (CAMO AS, Norway). Persamaan kalibrasi dibangun untuk original spektra, *smoothing* spektra dan *second derivative* spektra. Sedangkan untuk uji validasi dilakukan dengan *t-test* menggunakan persamaan kalibrasi yang dibangun dengan sampel yang berbeda. Kemudian perangkat lunak SPSS (*Statistical Package for the Social Science*) versi 11,0. digunakan untuk mengevaluasi taraf kepercayaan dari persamaan yang dibangun

HASIL DAN PEMBAHASAN

Spektra NIR Buah Sawo

Gambar 2 menunjukkan spektra NIR buah sawo untuk *second derivative* spektra dengan tiga tingkat KPT yaitu tinggi (27,78°Brix), sedang (24,58°Brix), dan rendah (21,03°Brix) yang diambil dengan teknik *absorbance mode*. Perbedaan spektra akibat perbedaan nilai KPT terlihat secara jelas pada Gambar 2. Perbedaan cukup jelas terjadi salah satunya di sekitar panjang gelombang 970 nm. Panjang gelombang ini sangat berkorelasi kuat dengan tingkat absorpsi air. Hal ini dapat dipahami karena air merupakan salah satu komponen terbesar dalam penyusunan KPT.



Gambar 2. *Second derivative* spektra NIR buah sawo dengan tiga tingkatan nilai KPT.

Membangun Persamaan Kalibrasi

Tabel 2 menunjukkan hasil kalibrasi dan validasi untuk penentuan KPT buah sawo. Persamaan kalibrasi dan uji validasi untuk penentuan KPT buah sawo 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).

Tabel 2. Hasil kalibrasi dan validasi untuk penentuan KPT buah sawo.

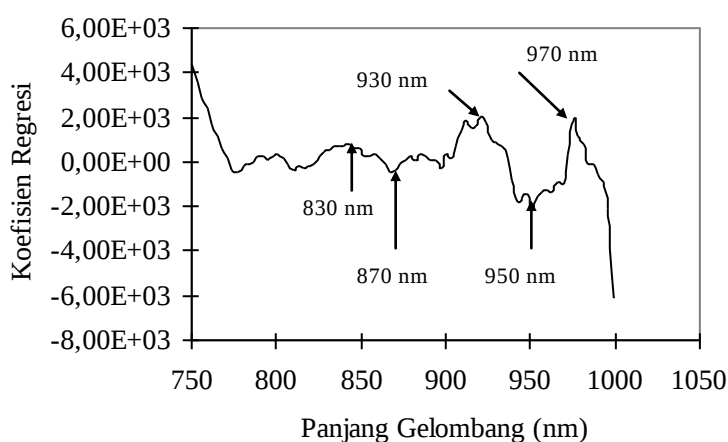
Tipe Spektra	Panjang gelombang (nm)	F	r	SEC	SEP	Bias	RPD
Original Spektra	750–900	2	0,69	1,89	2,01	0,08	1,37
	750–910	2	0,69	1,89	2,01	0,08	1,37
	750–920	2	0,69	1,89	2,01	0,08	1,37
	750–930	4	0,86	1,35	1,84	0,18	1,49
	750–940	5	0,89	1,20	1,73	0,12	1,59
	750–950	5	0,88	1,24	1,62	0,13	1,70
	750–960	6	0,89	1,17	1,64	0,10	1,68
	750–970	4	0,83	1,44	1,85	0,06	1,49
	750–980	4	0,84	1,41	1,85	0,14	1,49
	750–990	4	0,84	1,40	1,87	0,12	1,47
	750–1000	4	0,82	1,48	1,75	0,11	1,57
Smoothing Spektra	750–900	2	0,69	1,89	2,01	0,08	1,37
	750–910	2	0,69	1,89	2,01	0,08	1,37
	750–920	2	0,69	1,89	2,01	0,08	1,37
	750–930	4	0,75	1,72	1,93	-0,03	1,42
	750–940	3	0,76	1,68	1,83	0,08	1,50
	750–950	4	0,78	1,63	1,84	0,03	1,49
	750–960	5	0,81	1,52	1,83	0,03	1,50
	750–970	5	0,81	1,53	1,80	0,04	1,53
	750–980	5	0,82	1,49	1,78	0,02	1,54
	750–990	5	0,82	1,50	1,80	0,03	1,53
	750–1000	5	0,82	1,48	1,79	-0,03	1,54
Second Derivative Spektra	750–900	2	0,85	1,38	1,59	0,14	1,73
	750–910	4	0,89	1,20	1,52	0,11	1,81
	750–920	5	0,90	1,16	1,47	0,15	1,87
	750–930	4	0,89	1,19	1,47	0,21	1,87
	750–940	4	0,89	1,17	1,44	0,23	1,91
	750–950	3	0,89	1,19	1,47	0,17	1,87
	750–960	2	0,86	1,31	1,52	0,15	1,81
	750–970	3	0,88	1,22	1,48	0,18	1,86
	750–980	3	0,88	1,25	1,47	0,13	1,87
	750–990	2	0,88	1,26	1,46	0,12	1,88
	750–1000	3	0,92	1,03	1,17	0,08	2,35

Kriteria pertama untuk menentukan persamaan kalibrasi yang terbaik adalah jumlah faktor (F). 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*. Kriteria yang kedua persamaan kalibrasi terbaik tersebut harus memiliki nilai koefisien korelasi (*r*) yang tinggi,

standard error of calibration (SEC) yang rendah, *standard error of prediction* (SEP) yang rendah dan *bias* yang rendah pula. 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 standar deviasi sampel validasi dengan nilai SEP yang diperoleh. Justifikasi rendah atau tingginya nilai SEP menjadi lebih objektif dengan melihat nilai RPD yang diperoleh. Untuk prediksi terbaik maka nilai RPD haruslah sebesar-besarnya.

Persamaan kalibrasi dengan panjang gelombang 750–1000 nm untuk *second derivative* spektra menghasilkan persamaan kalibrasi terbaik dengan koefisien korelasi tinggi sebesar 0,92 (Tabel 2). Meskipun persamaan kalibrasi tersebut memiliki nilai *standard error of calibration* (SEC) dan nilai *standard error of prediction* (SEP) di atas 1 (SEC = 1,03 dan SEP = 1,17), pada saat yang bersamaan persamaan tersebut menghasilkan nilai RPD yang tinggi (RPD = 2,35) serta nilai *bias* yang rendah (*bias* = 0,08). Fenomena yang sama juga diperoleh oleh Khuriyati dan Matsuoka (2005) pada penentuan tepung (*starch*) buah tomat. Persamaan kalibrasi terbaik diperoleh pada nilai SEP di atas 1 (SEP = 2,32). Namun pada saat yang sama nilai RPD yang diperoleh juga tinggi (RPD = 2,66).

Untuk mengetahui karakteristik persamaan terbaik, hubungan antara panjang gelombang terbaik 750–1000 nm dan koefisien regresi sangat diperlukan. Panjang gelombang tertentu akan memiliki koefisien regresi yang tinggi atau rendah yang menunjukkan kontribusi panjang gelombang tersebut pada keseluruhan persamaan kalibrasi yang dihasilkan. Gambar 3 menunjukkan kontribusi/bobot masing-masing panjang gelombang pada panjang gelombang 750–1000 nm untuk *second derivative* spektra terhadap persamaan kalibrasi yang dibangun.

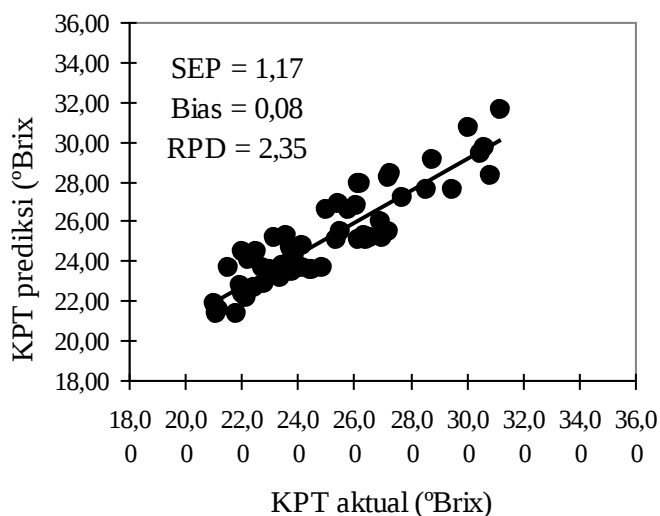


Gambar 3. Hubungan antara koefisien regresi dan panjang gelombang pada persamaan kalibrasi terbaik 750–1000 nm untuk *second derivative* spektra.

Gambar 3 menunjukkan secara jelas, bahwa koefisien regresi untuk setiap panjang gelombang berbeda. Semakin tinggi koefisien regresi, maka panjang gelombang tersebut semakin berkontribusi terhadap persamaan kalibrasi yang dibangun. Gambar 3 memperlihatkan adanya beberapa koefisien regresi yang cukup tinggi di antaranya pada panjang gelombang 830 nm, 870 nm, 930 nm, 950 nm dan 970 nm. Panjang gelombang 870 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). Khuriyati 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 970 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. Hal ini menunjukkan, bahwa KPT buah sawo sangat erat kaitannya dengan kandungan air dan karbohidrat pada buah sawo. Hasil ini sejalan dengan fakta bahwa KPT memang sangat tergantung kepada kandungan air dan karbohidrat dan interaksi antara keduanya. Sebagai contoh dengan kandungan karbohidrat yang sama akan tetapi berbeda pada kandungan air (seperti pada buah yang diperlakukan dengan *water stress*) akan menunjukkan KPT yang berbeda.

Validasi Persamaan Kalibrasi

Gambar 4 menunjukkan *scatter plot* antara KPT aktual dan KPT prediksi buah sawo pada panjang gelombang 750–1000 nm untuk *second derivative* spektra. 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 sawo secara tidak merusak menggunakan NIR spectroscopy dapat terbangun dengan baik. Teknik ini membuka jalan bagi terbentuknya sistem sortasi elektronik berbasis teknologi tidak merusak NIR spectroscopy yang cepat, konsisten, dan akurat.



Gambar 4. Scatter plot antara KPT aktual dan prediksi buah sawo pada panjang gelombang 750–1000 nm.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Hasil di atas menunjukkan NIR spectroscopy telah berhasil mengukur KPT buah sawo dengan tanpa merusak bahan uji. Persamaan kalibrasi terbaik diperoleh dari *second derivative* spektra pada panjang gelombang 750–1000 nm yang memiliki koefisien korelasi sebesar $r = 0,92$, SEC = 1,03 dan SEP = 1,17. Persamaan ini memiliki *bias* = 0,08 serta RPD = 2,35. Persamaan tersebut dapat digunakan sebagai salah satu teknik pengukuran KPT buah sawo tanpa merusak buah sawonya.

Pada penelitian ini, persamaan kalibrasi dibangun pada kondisi sampel dengan suhu sampel yang relatif konstan sekitar 26°C. Untuk penggunaan yang lebih luas dengan suhu sampel lebih variatif seperti penggunaan di lapangan, maka direkomendasikan untuk melakukan penelitian pengembangan persamaan kalibrasi dengan suhu sampel tidak seragam. Penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang jauh lebih bermanfaat lagi yaitu dalam rangka pengembangan teknologi pengukuran KPT buah sawo secara *on-plant* (buah sawo diukur saat buah sawo masih di pohon).

DAFTAR PUSTAKA

Bull, C.R. (1991). Wavelength selection for near-infrared reflectance moisture meters. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 49: 113–125.

- Clark, C.J., McGlone, V.A., Requejo, C., White, A., and Woolf, A.B. (2003). Dry matter determination in 'Hass' avocado by NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*. 29: 300–307.
- Dull, G.G., Leffler, R.G., Birth, G.S., dan 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., dan 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.
- Kawano, S., Fujiwara, K., dan Iwamoto, M. (1993). Nondestructive determination of sugar content in Satsuma mandarin using near infrared (NIR) transmittance. *Journal of Japanese Society Horticultural Science*. 62: 465–470.
- Khuriyati, N., dan 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.
- Khuriyati, N., and Matsuoka, T. (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.
- Lammertyn, J., Nicolai, B., Ooms, K., De Smedt, V., and De Baerdemaeker, J. (1998). Nondestructive measurement of acidity, soluble solids, and firmness of Jonagold apples using NIR spectroscopy. *J. Transaction of the ASAE* 41(4): 1086–1094.
- Lu, R., Guyer, D.E., and Beaudry, R.M. (2000). Determination of firmness and sugar content of apple using NIR diffuse reflectance. *Journal of Texture Studies*. 31(6): 615–630.
- McGlone, V.A., and Kawano, S. (1998). Firmness, dry matter, and soluble solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*. 13: 131–141.
- McGlone, V.A., Fraser, D.G., Jordan, R.B., and Kunemeyer, R. (2003). Internal quality assessment of mandarin fruit by Vis/NIR spectroscopy. *J. Near Infrared Spectrosc.* 11: 323–332.
- Park, B., Abbott, J.A., Lee, K.J., Choi, C.H., and Choi, K.H. (2003). Near infrared diffuse reflectance for quantitative and qualitative measurement of soluble solids and firmness of delicious and gala apples. *J. Transaction of the ASAE* 46(6): 1721–1731.
- 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.

- Slaughter, D.C., Barrett, D., and Boersig, M. (1996). Nondestructive determination of soluble solids in tomatoes using near infrared spectroscopy. *Journal of Food Science*. 61: 695–697.
- Suhandy, D., Hartanto, R., Prabawati, S., Yulianingsih., dan Yatmin. (2007a). Determination of dry matter in intact mango fruit using near infrared spectroscopy/Original Paper in Indonesian Society of Agricultural Engineering (ISAE) Conference.
- Suhandy, D., Hartanto, R., Prabawati, S., Yulianingsih., dan Yatmin. 2007b. Determination of the best NIR experimental condition for nondestructive soluble solids content prediction in mango using near infrared spectroscopy/Original Paper in *Agricultural Engineering Journal/Bogor Agriculture University*.21(4): 1–10.
- 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.
- 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.