

Technical Paper

Prediksi Kandungan Kimia Mangga Arumanis selama Penyimpanan dengan Spektroskopi NIR

Arumanis Mango Chemical Contents Prediction during Storage using NIR Spectroscopy

Sri Agustina, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680. Email: sriagustina34@yahoo.com
Y. Aris Purwanto, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680. Email: arispurwanto@gmail.com
I Wayan Budiastara, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680. Email: wbudiastara@yahoo.com

Abstract

The various internal qualities attributes of fruits and vegetables were able to be predicted non-destructively by using near infrared spectroscopy techniques. The objective of this study was to develop a calibration model for prediction of starch content, soluble solids content and water content of mango fruit by using near infrared spectroscopy and chemometric. The reflectance spectra of mango fruit were obtained in the wavelength range from 1000 nm to 2500 nm. The effects of different pre-process methods and spectra treatments, such as smoothing 3 points (sa3), first derivative Savitzky-golay 9 points (dg1), and combination of smoothing 3 points (sa3) and first derivative Savitzky-golay 9 points (dg1) were analyzed. The prediction models were developed by partial least square regression (PLS). The results show that the correlation coefficient, standard error calibration and consistency for starch content of 0.95, 1.20% and 86.89% were achieved using pre-process of first derivatif Savitzky-golay 9 points; for soluble solid content of 0.90, 1.34°Brix and 86.24% were achieved using combination of smoothing 3 points and first derivatif Savitzky-golay 9 point and for water content of 0.78, 0.850 % and 99.74% were achieved using smoothing 3 points. This showed the capability of near infrared spectroscopy and the important role of chemometric in developing accurate models for the prediction of internal quality characteristics of mango fruit.

Keywords: near infrared spectroscopy, internal quality, chemometric, mango, non destructive

Abstrak

Kualitas internal dari produk buah dan sayuran mampu dievaluasi dengan baik secara non destruktif menggunakan metode spektroskopi *near infrared*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan model kalibrasi untuk memprediksi kandungan pati, total padatan terlarut dan kadar air buah mangga selama penyimpanan menggunakan spektroskopi *near infrared* dan kemometrik. Spektra reflektan buah mangga diukur pada panjang gelombang 1000 nm sampai 2500 nm. Pengaruh metode pra-proses data yaitu penghalusan 3 titik, turunan pertama Savitzky-golay 9 titik, serta kombinasi penghalusan 3 titik dengan turunan pertama Savitzky-golay 9 titik terhadap ketelitian model kalibrasi juga dianalisis. Model prediksi dikembangkan dengan menggunakan regresi *partial least square* (PLS). Model prediksi dengan spektroskopi *near infrared* yang dikembangkan menghasilkan koefisien korelasi, *standard error calibration* (SEC) dan konsistensi untuk kandungan pati adalah 0.95, 1.20%, dan 86.89% yang diperoleh dari data pra-proses turunan pertama Savitzky-golay 9 titik, untuk total padatan terlarut, yaitu 0.90, 1.34°Brix, dan 86.24% yang diperoleh dengan menggunakan kombinasi antara penghalusan 3 titik dan turunan pertama Savitzky-golay 9 titik, sedangkan untuk kadar air yaitu 0.78, 0.850%, dan 99.74% diperoleh dengan menggunakan penghalusan 3 titik. Dapat disimpulkan bahwa model prediksi spektroskopi *near infrared* untuk menduga kandungan internal dari buah mangga arumanis telah dikembangkan dengan baik.

Kata kunci: spektroskopi *near infrared*, kualitas internal, kemometrik, mangga, non destruktif

Diterima: 10 Desember 2014; Disetujui: 09 Maret 2015

Pendahuluan

Evaluasi kualitas dari sayur dan buah merupakan isu yang sangat penting di bidang industri pangan. Prediksi ketuaan dan kematangan buah merupakan bagian penting dari evaluasi kualitas yang tergantung dari beberapa faktor seperti kandungan pati, total padatan terlarut dan kadar air. Penentuan ketuaan dan kematangan buah didasarkan pada pengamatan secara visual, sementara untuk evaluasi kualitas internal seperti kadar pati dan kadar air menggunakan metode destruktif yang memerlukan biaya, waktu pengukuran dan melibatkan prosedur pengukuran yang rumit. Untuk itu, perlu dikembangkan suatu metode yang efisien dan non destruktif untuk mengevaluasi kualitas internal buah.

Menurut Saranwong (2004) yang melakukan penelitian hubungan kualitas panen dengan kualitas buah mangga saat dikonsumsi menyatakan bahwa kandungan pati saat dipanen sangat berpengaruh terhadap tingkat kemanisan (total padatan terlarut) pada buah saat dikonsumsi. Dengan demikian parameter kandungan pati saat dipanen sangat penting diketahui untuk memperoleh kualitas buah saat dikonsumsi. Tetapi, untuk mengetahui kandungan pati saat panen biasanya dilakukan dengan cara destruktif (metode konvensional) dengan analisa laboratorium sehingga kurang sesuai untuk penanganan pasca panen buah segar yang memerlukan waktu analisis yang cepat dan tanpa merusak produk.

Kemometrik merupakan pengaplikasian matematika, prosedur statistik untuk pengolahan data dan evaluasi serta interpretasi data dengan jumlah yang besar. Kemometrik berfungsi untuk mencari korelasi statistik yang baik antara data spektra dengan data parameter kimia yang melibatkan pra-proses data serta berbagai prosedur untuk proses pengembangan model.

Spektroskopi *near infrared* merupakan metode non destruktif yang cepat, mudah digunakan (Day dan Fearn 1982). Salah satu keuntungan dari spektroskopi *near infrared* adalah dapat menganalisis lebih dari satu parameter kualitas secara bersamaan. Spektroskopi *near infrared* telah digunakan untuk memprediksi kualitas internal dari buah seperti apel (Fan *et al.* 2009); buah pir (Nicolai *et al.* 2008); buah kiwi (Clark *et al.* 2004); peach (Carlomagno *et al.* 2004; Golic dan Walsh 2006); tomat (Pedro dan Ferreira 2005; Shao *et al.* 2007) dan buah alpukat (Clark *et al.* 2003). Pendugaan kualitas mangga untuk varietas Gedong gincu selama penyimpanan telah dilakukan oleh Purwanto *et al.* (2013a) untuk parameter pH dengan nilai koefisien korelasi 0.9042 dan *standard error prediction* (SEP) 0.12. Selanjutnya Purwanto *et al.* (2013b) menduga secara simultan kandungan bahan terlarut, kekerasan dan pH yang dikaitkan dengan periode waktu konsumsi mangga yang

paling optimum. Nilai koefisien korelasi dari model prediksi yang dikembangkan dihasilkan masing-masing untuk kandungan bahan terlarut, pH dan kekerasan adalah 0.756, 0.94 dan 0.89.

Peralatan spektroskopi *near infrared* telah dikembangkan untuk merespon kebutuhan analisis yang cepat dan sesuai dengan bentuk sampel yang berbeda. Meskipun telah mengalami perkembangan, spektroskopi *near infrared* modern menghasilkan spektra dalam jumlah yang besar sehingga banyak mengandung *noise* dan dipengaruhi oleh jumlah variabel fisik, kimia dan struktur sampel. Hal ini menyebabkan terjadinya kesulitan dalam membedakan spektra (Blanco and Villarroya 2002). Spektra *near infrared* mempunyai rentang yang besar dan bertumpuk, sehingga tidak mungkin dilakukan evaluasi hanya dengan melihat grafik panjang gelombangnya. Pada teknologi spektroskopi *near infrared*, analisis kemometrik memainkan peranan yang penting dalam menganalisis spektra yang tumpang tindih. *Partial Least Square* (PLS) merupakan teknik kemometrik yang dapat menganalisis informasi besar yang tersembunyi dalam data spektra. PLS digunakan untuk memperkirakan serangkaian peubah tidak bebas (respon) dari peubah bebas (prediktor) yang jumlahnya sangat banyak, memiliki struktur sistemik linier atau nonlinier dengan atau tanpa data yang hilang dan memiliki kolinearitas yang tinggi. Metode PLS membentuk model dari peubah-peubah yang ada untuk membentuk serangkaian respon dengan menggunakan regresi kuadrat terkecil dalam bentuk matriks.

Data spektra yang diperoleh dari spektrometer *near infrared* tidak hanya mengandung informasi sampel akan tetapi juga mengandung informasi latar belakang dan *noise* (Cen dan He 2007), oleh karena itu perlu dilakukan pra-proses sebelum membangun model kalibrasi. Pra-proses merupakan suatu langkah transformasi data untuk memperbaiki spektrum yang kurang baik akibat pembauran cahaya saat akuisisi data *near infrared*, *noise*, gangguan dari lingkungan luar serta masalah lainnya sehingga menyebabkan informasi yang terkandung dalam spektrum menjadi sulit untuk ditelaah. Berbagai jenis pra-proses yang biasa dimanfaatkan dalam pengolahan data NIR spektroskopi diantaranya *first derivative Savitsky Golay 9 points* (dg1) and *smoothing 3 points* (sa3). Puncak dan lembah spektra akan menjadi jelas dengan menggunakan dg1 dibandingkan dengan spektra asli (Cen dan He 2007). Meskipun penelitian *near infrared* untuk buah-buahan sudah banyak dilakukan, namun penelitian *near infrared* untuk prediksi kandungan kimia mangga arumanis belum dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji penggunaan spektroskopi *near infrared* dan kemometrik untuk memprediksi kandungan kimia mangga 'Arumanis' selama penyimpanan menggunakan metode PLS.

Bahan dan Metode

Persiapan Bahan

Bahan penelitian berupa mangga 'Arumanis' berasal dari kebun di Indramayu, Jawa Barat dengan umur panen 105, 98, 91 dan 84 hari. Pengelompokan umur panen ditentukan dari indeks panen secara visual berdasarkan pengalaman operator panen mangga 'Arumanis' dengan pertimbangan tujuan pasar. Proses pemanenan mangga dilakukan pada pagi hari, selanjutnya sampel buah mangga dibungkus dengan koran dan disusun ke dalam kardus yang telah dilubangi setiap sisinya. Sampel buah mangga diangkut ke Laboratorium menggunakan transportasi darat pada kondisi suhu ruang dengan waktu perjalanan 8 jam. Setelah sampai di Laboratorium, buah mangga diletakkan di suhu ruang dan dilakukan sortasi untuk memilih sampel yang baik untuk masing-masing kelompok umur panen. Untuk masing-masing kelompok umur panen digunakan 20 sampel buah mangga yang dibagi menjadi 4 untuk sampel pengukuran spektra dan pengukuran parameter kualitas secara destruktif pada hari penyimpanan ke 0, 3, 6 dan 9.

Akuisisi Data Spektrum NIR

Reflektan NIR pada buah mangga diukur di 3 titik yang berbeda sebanyak 1 ulangan, dengan menggunakan spektrometer NIRFlex N-500, *fiber optik solid* dengan panjang gelombang 1000-2500 nm dengan interval 0.4 nm. Pengukuran dilakukan pada kondisi suhu ruang (25°C). Prinsip pengukuran spektra adalah menembakkan cahaya dari lampu halogen ke sampel. Sebagian energi yang dipantulkan akan diterima oleh detektor sebagai data frekuensi getaran dan ditransformasikan dengan metode *fourier* menjadi grafik dan reflektan (R) menjadi absorban ($\log 1/R$). Data reflektan yang telah diukur disimpan dalam database NIRCal 5.2 yang merupakan program olah data yang terintegrasi dengan spektrometer NIRFlex N- 500.

Pengukuran Parameter Kimia

Pengukuran parameter kualitas secara destruktif terdiri dari kandungan pati, TPT (total padatan terlarut), dan kadar air. Pengukuran kandungan pati (Kim *et al.* 2003) dilakukan dengan mengambil daging buah sekitar 1g, kemudian dibekukan dan dilakukan homogenisasi dengan menambah 10 ml air. Padatan tersuspensi disaring dengan filter Millipore "Biomax-10" (10.000 batas nominal berat molekul) pada 5000g, selama 90 menit. Kemudian diinjeksikan alikot 10 μ L ke kromatografi (HPLC). TPT diukur menggunakan alat *refractometer*. Bahan terlebih dahulu dihaluskan dengan cara ditumbuk. Setelah itu, cairan dari sampel yang telah ditumbuk diletakkan diatas obyek gelas yang terdapat pada alat sehingga total padatan terlarut dapat terbaca langsung pada *display* dalam satuan °Brix. Pengukuran kadar air sampel mangga

arumanis dilakukan dengan menggunakan metode pengeringan (*thermogravimetri*) berdasarkan SNI 01-3751-2006. Pengukuran kadar air dilakukan dengan oven pada suhu 105°C selama 26 jam.

Pra-Proses Data

Pada penelitian ini spektra *near infrared* diolah dengan menggunakan pra-proses penghalusan setiap 3 titik (sa3), derivatif pertama Savitzky-golay 9 titik (dg1), dan kombinasi penghalusan setiap 3 titik dengan derivatif pertama Savitzky-golay 9 titik (sa3 dan dg1). Selanjutnya dilakukan kalibrasi dan validasi dengan kandungan kimia kandungan pati, TPT dan kadar air menggunakan PLS. Pra-proses dg1 merupakan metode untuk menghitung turunan orde pertama dan orde yang lebih besar yang meliputi faktor *smoothing* didalamnya, sehingga dapat menentukan seberapa besar variabel yang berdekatan untuk memprediksi pendekatan polinomial pada suatu turunan (Karoui *et al.* 2006). Sa3 berfungsi untuk memilih penghalusan fungsi dengan teliti tanpa menghilangkan informasi spektrum yang ada, mengurangi guncangan (noise), dan memperkecil galat (kekeliruan) yang terjadi selama pengukuran *near infrared* dan analisis kimia laboratorium (Tiaprasit dan Sangpithukwong 2010). Kombinasi sa3 dan dg1 dapat diterapkan untuk mendapatkan bentuk dan model persamaan regresi kalibrasi yang optimum, layak, dan dapat dipercaya. (Blanco dan Villaroya 2002).

Model Kalibrasi dan Validasi

Tahap kalibrasi dilakukan untuk menentukan prediksi antara komposisi kimia mangga arumanis dengan data reflektan *near infrared* dengan menggunakan metode PLS. Setelah diperoleh model persamaan regresi kalibrasi, selanjutnya dilakukan tahap validasi dengan menggunakan data yang lain. Data sampel yang berbeda tersebut dimasukkan ke dalam persamaan regresi kalibrasi, sehingga diperoleh data kandungan pati, total padatan terlarut dan kadar air mangga arumanis dugaan *near infrared*. Validasi bertujuan untuk menguji ketepatan pendugaan komposisi kimia dengan persamaan regresi kalibrasi yang telah dibangun. Parameter statistik yang digunakan untuk mengevaluasi model yang dihasilkan adalah *coefficient of determination* (R^2), *standard error of calibration set* (SEC), *standard error of validation set* (SEP), *coefficient of variation* (CV), *ratio prediction to deviation* (RPD) dan nilai konsistensi (Williams and Norris 2001, Saputra *et al.*, 1995). Hasil kalibrasi dan validasi yang baik dilihat dari nilai R^2 yang terbesar, nilai SEC dan SEP terkecil, CV terkecil, sedangkan nilai konsistensi model berada pada kisaran 80-110% serta nilai RPD terbesar.

Tabel 1. Deskripsi statistik kandungan kimia berdasarkan pra-proses data menggunakan PLS.

Kandungan kimia		R ²	SEC	SEP	CV(%)	RPD	Konsistensi(%)
Kandungan Pati (%)	sa3	0.94	1.32	1.60	18.20	3.01	82.35
	dg1	0.95	1.20	1.38	15.73	3.48	86.89
	sa3 dan dg1	0.94	1.24	1.39	15.42	3.41	88.47
TPT (°Brix)	sa3	0.89	1.37	1.68	11.39	2.16	81.59
	dg1	0.90	1.31	1.59	10.78	2.28	82.49
	sa3 dan dg1	0.90	1.34	1.55	10.50	2.34	86.24
Kadar Air (%)	sa3	0.78	0.850	0.853	1.04	2.11	99.74
	dg1	0.74	0.91	1.06	1.30	1.97	85.95
	sa3 dan dg1	0.73	0.94	1.03	1.26	1.91	91.56

Hasil dan Pembahasan

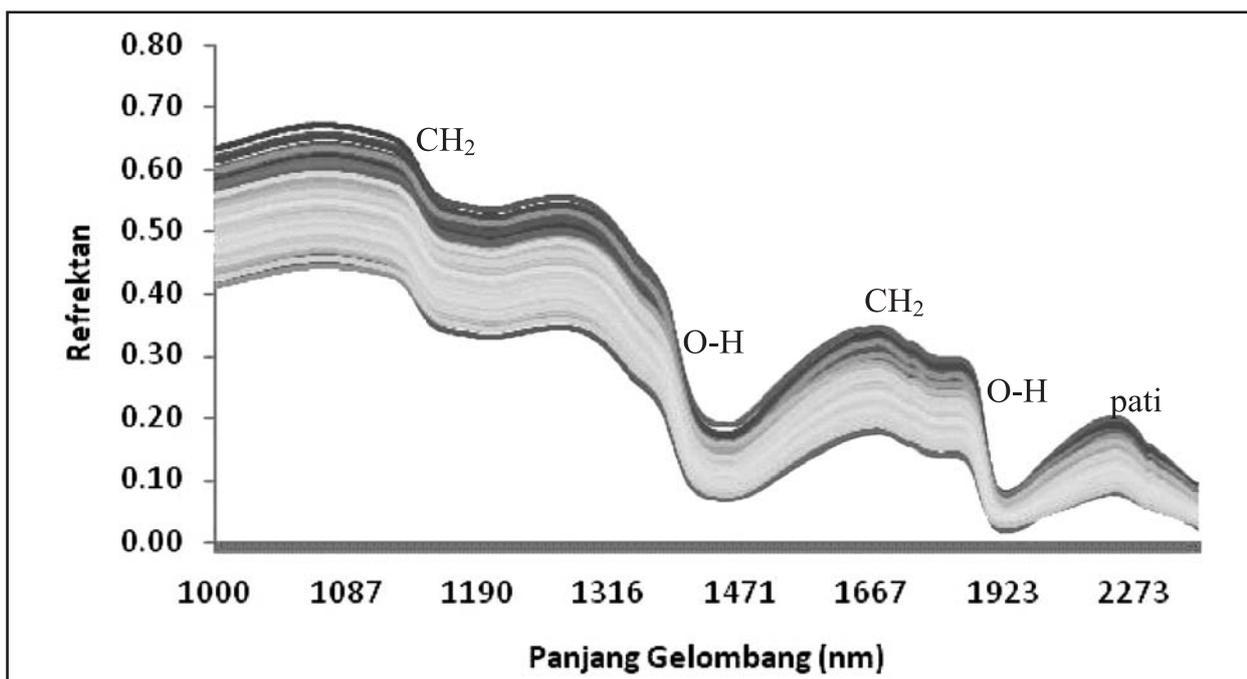
Karakteristik Spektra NIR Mangga Arumanis

Karakteristik *spektrarefleksan* mangga ‘Arumanis’ ditunjukkan pada pada Gambar 1. Reflektan mangga ‘Arumanis’ berkisar antara 0.02 sampai 0.68. Semakin tinggi kadar air maka absorpsi semakin tinggi dan sebaliknya reflektan semakin kecil. Ikatan hidrogen karena atom hidrogen merupakan atom yang paling kuat menyerap gelombang NIR (Hruschka 1990). Ikatan hidrogen ini dapat berupa ikatan C–H, N–H, S–H atau O–H. Tiga lembah penyerapan yang terjadi pada panjang gelombang 1180 nm, 1411 nm dan 1888 nm menunjukkan adanya kandungan air (Louw dan Theron 2010). Lembah penyerapan ini terjadi karena terdapat ikatan O–H (O–H *str first overtone*) pada panjang gelombang tersebut (Osborne *et al.* 1993). Lembah penyerapan juga terjadi pada panjang gelombang 1756 - 1780 nm, dimana ikatan atom C–H pada

panjang gelombang tersebut menunjukkan adanya kandungan CH₂ dan selulosa. Kandungan pati terdapat pada panjang gelombang 1450 nm, 2461 nm, 2488 nm dan 2500 nm. Kandungan pati pada panjang gelombang 1450 nm ini sulit terlihat karena saling berhimpit dengan kandungan air pada panjang gelombang yang sama, kandungan pati ini memiliki ikatan O–H. *str first overtone* (Osborne *et al.* 1993).

Pengaruh Pra-proses Data terhadap Kalibrasi dan Validasi

Tabel 1 menunjukkan pengaruh pra-proses terhadap model kalibrasi yang dihasilkan. Data yang ditunjukkan pada Tabel 1 memperlihatkan bahwa pra-proses bertahap tidak selalu lebih baik dibandingkan pra-proses tunggal. Hal ini disebabkan karena komposisi bahan berpengaruh terhadap ketepatan jenis pra-proses yang digunakan. Dapat ditunjukkan bahwa pra-proses dg1 mampu



Gambar 1. Spektrum reflektan NIR mangga arumanis.

menghasilkan model PLS kandungan pati yang baik dibandingkan sa3 atau kombinasi sa3 dan dg1. Penggunaan kombinasi sa3 dan dg1 lebih tepat digunakan dalam mengembangkan model PLS untuk parameter TPT. Sedangkan pra-proses sa3 baik digunakan dalam pengembangan model PLS untuk kadar air.

Model Kalibrasi dan Validasi Kandungan Kimia dengan NIR menggunakan PLS

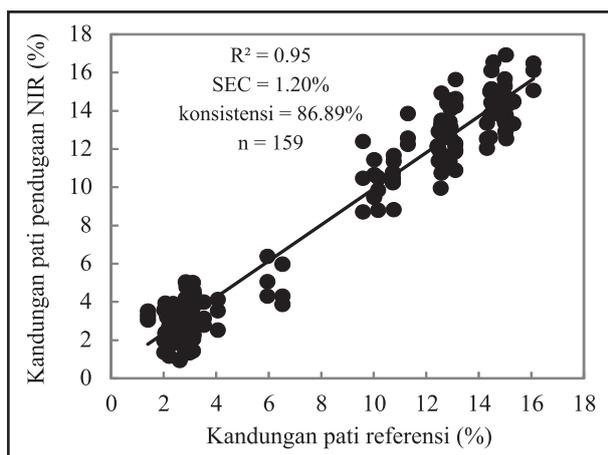
Data yang terukur pada *software* NirCal dibagi 2/3 menjadi set kalibrasi dan 1/3 data menjadi set validasi dengan total jumlah data yang tersimpan sebanyak 237 buah. Kandungan pati terus berkurang selama proses pematangan, hal ini disebabkan karena ukuran granula pati yang ada di dalam kloroplas mengecil. Gambar 2 menunjukkan sebaran data yang dihasilkan menggunakan pra-proses dg1 yang memiliki rentang cukup besar yaitu antara nilai 2 hingga 16.

Deskripsi statistik untuk kandungan pati pada Tabel 1 menunjukkan bahwa model PLS yang dikembangkan dengan menggunakan beberapa

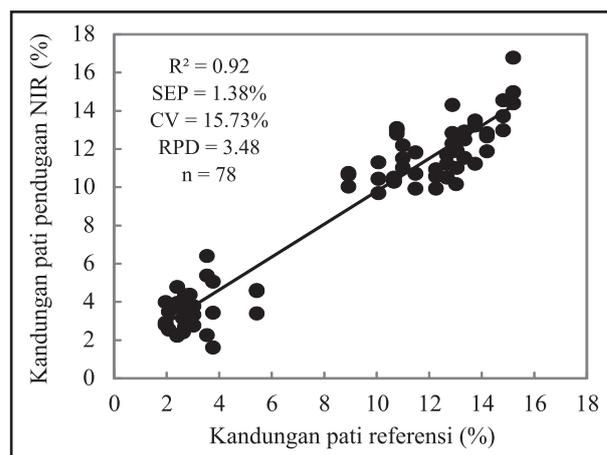
pra-proses mampu menghasilkan R^2 diatas 0.9, SEC dan SEP yang kecil, CV yang memenuhi standar, nilai RPD diatas 2, serta konsistensi yang baik. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa model yang dikembangkan menghasilkan model yang sudah baik. Dari seluruh pra-proses yang digunakan, pra-proses dg1 adalah yang terbaik dengan nilai R^2 , SEP, CV, dan RPD sebesar 0.95, 1.38%, 15.73% dan 3.48.

Penggunaan pra-proses dg1 lebih efektif dibandingkan pra-proses lainnya. Hal ini disebabkan karena spektra original dengan informasi kandungan pati yang tertutup dapat dimunculkan dengan dg1. Penggunaan pra-proses sa3 berfungsi untuk menghaluskan spektra, sehingga tidak tepat untuk memunculkan informasi pada spektra yang tertutup. Untuk pra-proses kombinasi sa3 dan dg1 juga tidak sebaik pra-proses tunggal dg1, hal ini disebabkan karena pada penggunaan pra-proses sa3 dilakukan perhitungan rata-rata pada spektra yang justru menutupi informasi pati yang ada.

Gambar 3 menunjukkan sebaran data yang merata dari nilai 5 hingga 20 baik pada set data

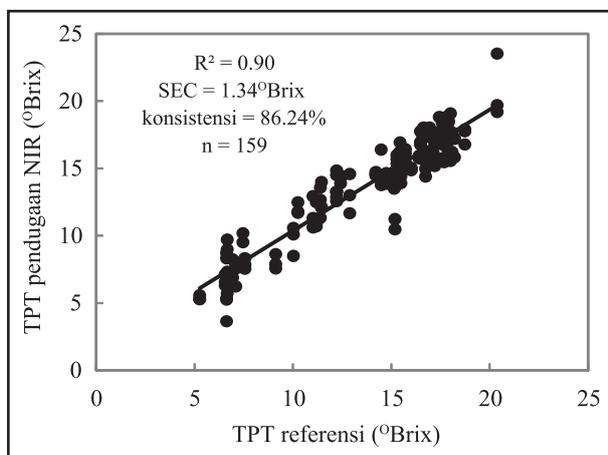


a. Kalibrasi

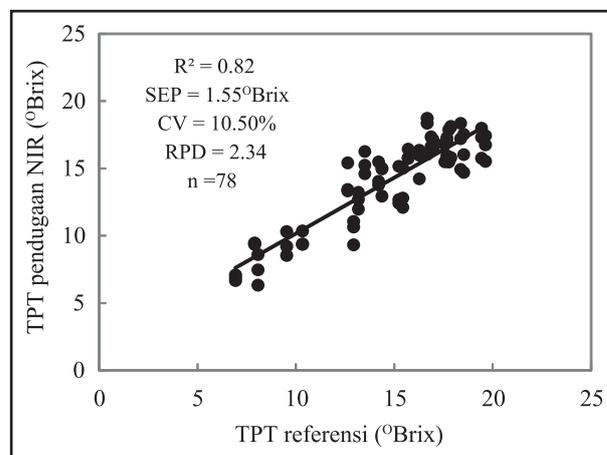


b. Validasi

Gambar 2. Hasil kalibrasi dan validasi untuk kandungan pati.



a. Kalibrasi



b. Validasi

Gambar 3. Hasil kalibrasi dan validasi untuk total padatan terlarut.

kalibrasi maupun validasi. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi data kedua set baik dan mampu menghasilkan model PLS yang baik pula. Deskripsi statistik TPT pada Tabel 1 menunjukkan bahwa penggunaan beberapa pra-proses menghasilkan nilai parameter yang baik, sehingga dapat dikatakan bahwa model yang dikembangkan sudah baik. Dari seluruh pra-proses, kombinasi sa3 dan dg1 adalah yang terbaik dibandingkan dengan pra-proses tunggal sa3 ataupun dg1. Kombinasi sa3 dan dg1 menghasilkan nilai R^2 , SEP, CV, dan RPD sebesar 0.90, 1.55%Brix, 10.50% dan 2.34. Penggunaan kombinasi sa3 dan dg1 lebih tepat digunakan dibandingkan pra-proses lainnya. Hal ini disebabkan karena spektra yang mengandung informasi TPT tertutupi dan terdapat *noise*, selain itu data destruktif yang didapat terdapat kesalahan yang dapat diperbaiki dengan kombinasi sa3 dan dg1.

Hasil deskripsi statistik kadar air pada Tabel 1 menunjukkan bahwa tidak semua penggunaan pra-proses menghasilkan parameter nilai statistik yang baik. Penggunaan pra-proses dg1 serta kombinasi sa3 dan dg1 menunjukkan bahwa model PLS yang dihasilkan tidak baik. Sebaliknya pada saat ditambahkan pra-proses sa3 dapat menghasilkan nilai R^2 , SEP, CV, dan RPD masing-masing sebesar 0.78, 0.853%, 99.74%, dan 2.11, dimana nilai-nilai tersebut menunjukkan model PLS yang dikembangkan sudah baik. Jika dilihat dari pra-proses yang digunakan, spektra yang memuat informasi kadar air tidak tertutup oleh spektra lainnya, namun penggunaan pra-proses sa3 ini menunjukkan bahwa pengujian deskriptif kadar air masih perlu diperbaiki. Gambar 4 menunjukkan rentang data yang dihasilkan merata antara 77 hingga 89. Meskipun nilai-nilai parameter uji statistik yang dihasilkan tidak sebaik kandungan pati atau TPT, model yang sudah dibangun masih dapat digunakan untuk memprediksi kadar air.

Simpulan

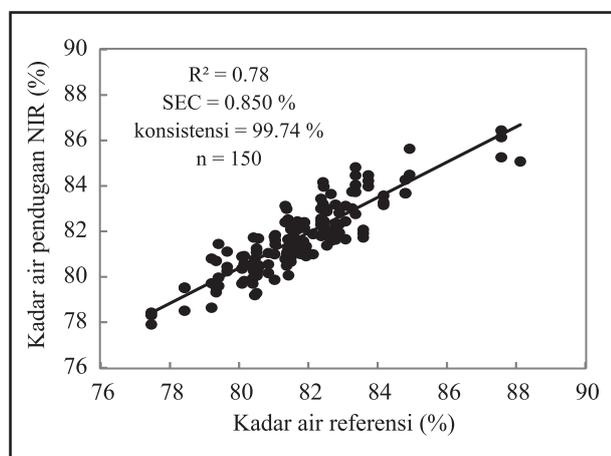
Spektra original mangga 'Arumanis' menunjukkan adanya lembah di panjang gelombang kisaran 1180 nm, 1411 nm, 1756 - 1780 nm, dan 2461 nm yang mengindikasikan ikatan kimia CH_2 , O-H dan pati. Metode *near infrared* dengan PLS dan pra-proses dg1 mampu memprediksi kandungan pati dengan nilai R^2 , SEC, dan konsistensi sebesar 0.95, 1.20%, dan 86.89%. Pendugaan total padatan terlarut terbaik didapatkan dengan pra-proses kombinasi sa3 dan dg1 yang menghasilkan nilai R^2 , SEC, dan konsistensi sebesar 0.90, 1.34%Brix, dan 86,24%. Pendugaan kadar air terbaik didapatkan dengan pra-proses sa3 yang menghasilkan nilai R^2 , SEC, dan konsistensi sebesar 0.78, 0.850%, dan 99.74%.

Ucapan Terima Kasih

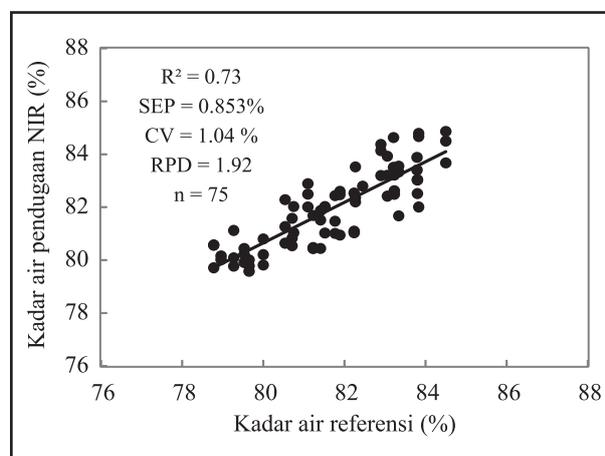
Penelitian ini merupakan bagian dari skema penelitian Hibah Penelitian Kerjasama Luar Negeri dan Publikasi Internasional, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Indonesia No 13/IT3.11/LT/2014.

Daftar Pustaka

Blanco, M., I. Villarroya. 2002. NIR spectroscopy: a rapid-response analytical tool. *Trends in Analytical Chemistry*. 21: 240-250.
 Carlomagno, G., L. Capozzo, G. Attolico, D. Aistante. 2004. Non-destructive grading of peaches by near-infrared spectrometry. *Infrared Physics Technology*. 46: 23-29.
 Cen, H., Y. He. 2007. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. *Trends in Food Science Technology*. 18: 72-83.



a. Kalibrasi



b. Validasi

Gambar 4. Hasil kalibrasi dan validasi untuk kadar air.

- Clark, C.J., V.A. McGlone, H.N. De Silva, M.A. Manning, J. Burdon, A.D. Mowat. 2004. Prediction of storage disorders of kiwifruit (*Actinidia chinensis*) based on visible-NIR spectral characteristics at harvest. *Postharvest Biology and Technology*. 32: 147-158.
- Clark, C.J., V.A. McGlone, C. Requejo, A. White, A.B. Woolf. 2003. Dry matter determination in 'Hass' avocado by NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*. 29: 301-308.
- Day, M.S., F.R.B. Fearn. 1982. Near Infrared reflectance as an analytical technique, part 1. *History and development. Laboratory Practice*. 31: 328-330.
- Fan, G., J. Zha, R. Du, L. Gao. 2009. Determination of soluble solids and firmness of apples by Vis/NIR transmittance. *Journal of Food Engineering*. 93: 416-420.
- Golic, M., K.B. Walsh. 2006. Robustness of calibration models based on near infrared spectroscopy for the in-line grading of stone fruit for total soluble solids content. *Analytica Chimica Acta*. 555: 286-291.
- Hruschka, W.R. 1990. Data Analysis: Wavelength Selection Methods. Di dalam: Williams P, Norris K, editor. *Near Infrared Technology in The Agricultural and Food Industries*. Ed. Ke-2. St.Paul, Minnesota, USA.
- Karoui, R., A.M. Mouazen, E. Dufour, L. Pillonel, E. Schaller, J.D. Baerdemaeker, J.O. Bosset. 2006. Chemical Characterisation of European Emmental Cheeses by Near Infrared Spectroscopy Using Chemometric Tools. *International Dairy Journal*. 16(1): 1211-1217.
- Kim, S.K., J.E. Kwak, W.K. Kim. 2003. A simple method for estimation of enzyme-resistant starch content. *Starch*. 55: 366-368.
- Louw, E.D., K.I. Theron. 2010. Robust Prediction Models for Quality Parameters in Japanese Plums (*Prunus salicina* L.) Using NIR Spectroscopy. *Postharvest Biol. And Tech*. 58: 176-184.
- Nicolai, B.M., B.E. Verlinden, M. Desmet, Saevels S, Saeys W, Theron K, R. Cubeddu, A. Pifferi, A. Torricelli. 2008. Time-resolved and continuous wave NIR reflectance spectroscopy to predict soluble solids content and firmness of pear. *Postharvest Biology and Technology*. 47: 68-74.
- Osborne, B.G., T. Fearn, P.H. Hindle, D. Browning. 1993. *Practical NIR Spectroscopy in Food and Beverage Analysis*. Ed ke-2. Longman Scientific Technical, New York.
- Pedro AMK, Ferreira MMC. 2005. Nondestructive determination of solids and carotenoids in tomato products by near-infrared spectroscopy and multivariate calibration. *Analytical Chemistry*. 77: 2505-2511.
- Purwanto, Y.A. P.W. Zainal, U. Ahmad, S. Mardjan, Y. Makino, S. Oshita, Y. Kawagoe and S. Kuroki. 2013a. Non Destructive Prediction of pH in Mango Fruits cv. Gedong Gincu Using NIR Spectroscopy. *International Journal of Engineering & Technology* Vol 13 Issue 3. pp. 70-73.
- Purwanto, Y.A., P.W. Zainal, Sutrisno, U. Ahmad, Y. Makino, S. Oshita, Y. Kawagoe and S. Kuroki. 2013b. Non destructive prediction of ripe-stage quality of mango fruit cv 'Gedong Gincu' stored in low temperature by NIR Spectroscopy. Proceeding of the International Symposium on Agricultural and Biosystem Engineering -ISABE-2013, Yogyakarta, Indonesia
- Saranwong, S., J. Sornsrivichai, S. Kawano. 2004. Prediction of ripe stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by near infrared spectroscopy. Vol 31: 137-145.
- Shao, Y., Y. He, A.H. Gomez, A.G. Pereir, Z. Qiu, Y. Zhag. 2007. Visible/near infrared spectrometry technique for nondestructive assessment of tomato 'Heatwave' (*Lycopersicon esculentum*) quality characteristics. *Journal of Food Engineering*. 81: 672-678.
- Tiaprasi, W., C. Sangpithukwong. 2010. BUCHI NIRFlex N-500 *Training Course*. BUCHI NIR Application Support, Bangkok, Thailand.