

Yulia: Seleksi Panjang Gelombang yang Efisien...

## Seleksi Panjang Gelombang yang Efisien pada Nir Spectroscopy untuk Pengukuran Kandungan Padatan Terlarut Buah Salak Pondoh Menggunakan Model *Forward Interval PLS* (FiPLS)

### *Selection of The Efficient Wavelength in NIR Spectroscopy for Soluble Solids Content Determination in Pondoh Snake Fruit Based on Forward Interval PLS (FiPLS) Model*

Meinilwita Yulia<sup>1)</sup>, Diding Suhandy<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Lampung

Jl. Soekarno Hatta No. 10 Rajabasa Bandar Lampung

<sup>2)</sup>Laboratorium Rekayasa Bioproses dan Pascapanen

Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, Lampung 35145

Telp. 0721-701609 pesawat 846

Corresponding author: [meinilwitayulia@polinela.ac.id](mailto:meinilwitayulia@polinela.ac.id)

#### ABSTRACT

*In this research, the feasibility of using NIR spectroscopy coupled with forward interval partial least squares (FiPLS) regression for nondestructive soluble solids content (SSC) determination in Pondoh snake fruit was investigated. Spectra of snake fruit were acquired using a VIS-NIR USB4000 portable spectrometer in absorbance mode. The SSC was measured using a digital refractometer. The calibration and validation models were developed using the FiPLS regression using original spectra. The result showed that the optimal combinations of 7 spectral intervals among 11 intervals which selected by FiPLS yielded good results (RMSEC = 0.854783%,  $r_c = 0.96$ , RMSECV = 0.899828%,  $r_v = 0.95$ ).*

*Keywords: soluble solids content, absorbance mode, nondestructive method, snake fruit, FiPLS regression, NIR spectroscopy*

Naskah ini diterima pada tanggal 1 Oktober 2014, direvisi pada tanggal 15 Oktober 2014 dan disetujui untuk diterbitkan pada tanggal 15 Desember 2014

#### PENDAHULUAN

Kandungan padatan terlarut (KPT) merupakan salah satu atribut mutu yang paling sesuai dengan persepsi manusia terkait dengan kualitas buah. Hanya saja sampai saat ini sebagian besar atribut mutu termasuk pengukuran KPT masih dilakukan secara merusak produk (*destructive*) dan melibatkan penggunaan sejumlah bahan kimia dan tentu saja mahal harganya. Sehingga, perkembangan teknik baru yang mudah diterapkan dan tidak merusak produk (*non-invasive*) untuk proses pemutuan buah-buahan menjadi sebuah kebutuhan yang semakin tidak terelakkan.

Salah satu teknik baru dalam proses pemutuan buah secara tidak merusak adalah teknologi NIR *spectroscopy*. Dalam beberapa pustaka tercatat beberapa peneliti telah berhasil menggunakan

teknologi NIR *spectroscopy* pada penilaian mutu buah (Subedi *et al.*, 2007; McGlone *et al.*, 2002). Beberapa peneliti menggunakan cahaya tampak (*visible*) dan NIR gelombang pendek (*short wavelength*) 700-1100 nm (Ventura *et al.*, 1998; McGlone *et al.*, 2002; Temma *et al.*, 2002; Saranwong *et al.*, 2003; Walsh *et al.*, 2004) sedangkan beberapa peneliti menggunakan gelombang pendek dan panjang 700-2500 nm (Guthrie and Walsh 1997; Ying *et al.*, 2005a).

Buah salak atau *snake fruit* merupakan salah satu buah yang berhasil diekspor ke sejumlah negara. Untuk meningkatkan ekspor buah salak maka diperlukan introduksi teknologi pasca panen salah satunya adalah teknologi pematuan buah salak secara tidak merusak menggunakan NIR *spectroscopy*.

Pada penelitian sebelumnya, Suhandy *et al.* (2010) telah menunjukkan potensi penggunaan teknologi NIR *spectroscopy* pada pengukuran kadar gula buah salak secara tidak merusak. Dengan menggunakan *full spectrum PLS regression* telah berhasil dibangun model matematik untuk menghitung KPT buah salak secara tidak merusak dengan melibatkan lebih dari 100 buah peubah (melibatkan lebih dari 100 panjang gelombang sebagai prediktor). Berikutnya Winarto *et al.* (2014) menggunakan pendekatan model regresi iPLS atau *interval PLS*. Dengan menggunakan iPLS maka jumlah peubah yang terlibat bisa dikurangi hanya menggunakan 84 peubah dari 6 *interval* yang terpilih dan menghasilkan model regresi dengan nilai RMSECV yang kecil (RMSECV = 0,914548%) dan nilai *ratio prediction to deviation* (RPD) = 3,35. Pada penelitian kali ini akan diujicobakan potensi penggunaan teknik model regresi yang lain yakni menggunakan *forward interval PLS* atau FiPLS. Sejumlah pustaka telah melaporkan keunggulan dari teknik FiPLS ini dalam membangun model yang *robust* dengan nilai RPD yang tinggi (Xiaobo *et al.*, 2007; Leardi and Nørgaard, 2004; Kleynen and Leeman, 2003; Nørgaard *et al.*, 2000).

Tujuan penelitian ini untuk melakukan investigasi dalam seleksi panjang gelombang yang efisien pada NIR *spectroscopy* untuk pengukuran KPT buah salak pondoh menggunakan model *forward interval PLS* (FiPLS). Model ini merupakan persamaan kalibrasi dan validasi untuk pengukuran KPT buah salak secara tidak merusak (*nondestructive*) dengan jumlah peubah lebih sedikit dengan kualitas persamaan kalibrasi yang masih dapat diterima (*acceptable*).

## METODE PENELITIAN

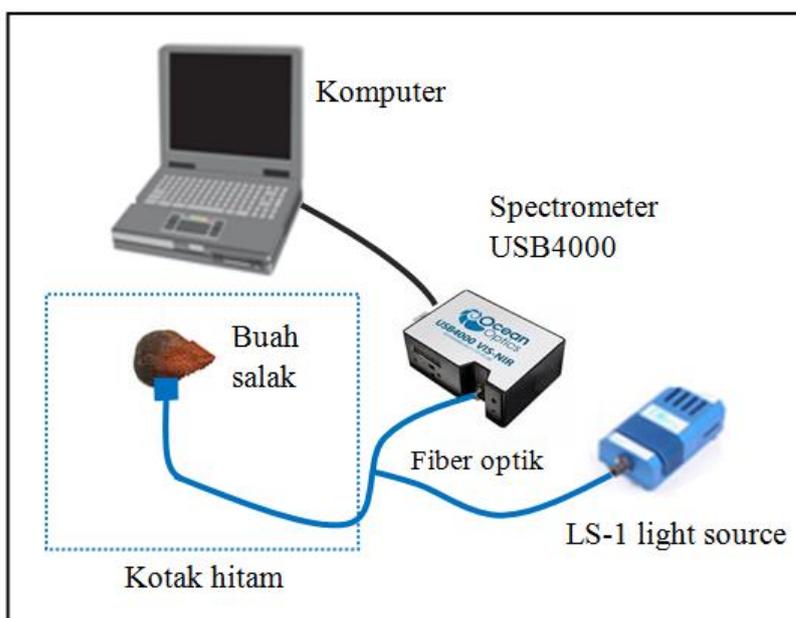
### Bahan

Pada penelitian ini, sebanyak 100 buah salak jenis pondoh (*Salacca Edulis Reinw*) digunakan sebagai sampel. Buah salak pondoh merupakan salah satu buah asli asal Indonesia. Buah salak untuk sampel dipanen dari kebun yang sama di Provinsi Lampung. Untuk mendapatkan nilai pengukuran KPT yang bervariasi maka dua kelompok buah salak dipersiapkan. Kelompok pertama merupakan buah salak dengan ukuran besar, warna kulit agak gelap dan memiliki KPT yang tinggi. Sedangkan kelompok kedua merupakan buah salak dengan KPT rendah dengan ciri buah yang berukuran kecil dan warna kulit buah agak cerah. Petani buah salak yang berpengalaman diminta

untuk melakukan pengelompokan sampel ini. Kemudian pengambilan spektra buah salak dilakukan segera di hari yang sama dengan waktu pemanenan buah salak. Proses pengambilan spektra dilakukan di Laboratorium Rekayasa Bioproses dan Pascapanen Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung.

### Metode Pengambilan Spektra Buah Salak

Spektra buah salak diperoleh dengan teknik absorban menggunakan spektrometer *portable* yang harganya relatif terjangkau (VIS-NIR USB4000, The Ocean Optics, USA). Spektrometer ini memiliki panjang gelombang 300-1040 nm. Spektrometer ini menggunakan CCD (*charge coupled device*) berbahan silikon (Si) sebagai detektor dan lampu halogen (LS-1 Tungsten Halogen) sebagai sumber cahaya. Spektrometer juga dilengkapi dengan *fibre optic* (panjang 2 m dan diameter 400 mikrometer). Buah salak ditempatkan di *sample holder* dan kemudian spektra buah salak diambil dengan menggunakan parameter waktu integrasi 100 ms dan jumlah *scan* sebanyak 50 *scans* (Winarto *et al.*, 2014). Pengambilan spektra dilakukan di dalam sebuah kotak hitam untuk memastikan tidak adanya faktor cahaya luar yang dapat mempengaruhi kualitas persamaan kalibrasi yang dihasilkan. Spektra buah salak diambil pada dua titik yang berbeda untuk setiap buah sampel seperti terlihat pada Gambar 1. Sehingga total waktu yang dibutuhkan untuk proses pengambilan spektra adalah 10 detik untuk setiap buah salak. Untuk menghindari pengaruh suhu terhadap kualitas spektra (Maeda *et al.*, 1995) maka suhu buah salak sebelum pengukuran spektra dijaga pada nilai yang relatif tetap yaitu pada suhu 25°C dengan bantuan sebuah *water bath* (Peirs *et al.*, 2003).



Gambar 1. Proses pengambilan spektra buah salak menggunakan *portable spectrometer* pada dua titik yang berbeda.

### Metode Pengukuran Kandungan Padatan Terlarut (KPT)

Untuk pengukuran KPT dilakukan dengan cara daging buah salak dipotong tepat di titik pengambilan spektra dengan ukuran diameter dan kedalaman sebesar 2 cm. Kemudian daging buah diperas dan cairan yang diperoleh diukur KPT-nya menggunakan Atago digital refraktometer (model PR-201 $\alpha$  (Brix 0,0-60,0%), ATAGO, Co., Tokyo, Jepang). Refraktometer memiliki akurasi pengukuran  $\pm 0.1\%$  dan suhu pengukuran 10-40°C (*automatic temperature compensation*). Setiap titik pengukuran merupakan rata-rata dari 2 kali pengukuran. Kemudian KPT dari dua titik pengukuran dibuat rata-ratanya. Pada penelitian ini model regresi yang dibangun menggunakan metode *full cross-validation*, yakni kalibrasi dan validasi menggunakan sampel yang sama dalam hal ini sebanyak 100 sampel. Karakteristik statistik KPT sampel tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik statistik sampel kalibrasi dan validasi yang digunakan untuk penentuan KPT buah salak.

Parameter	Jumlah sampel	Nilai rata-rata	Nilai maksimum	Nilai minimum	Standar deviasi	Unit
Sampel kalibrasi dan validasi	100	16,20	20,15	12,00	2,99	%Brix

### Spektral Analisis

Pada penelitian ini panjang gelombang 580-1040 nm digunakan untuk analisis lebih lanjut. Kemudian dihitung nilai relatif absorban untuk setiap sampel menggunakan persamaan (1) (Suhandy, 2009):

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

Di mana:

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

$D_{\lambda}$  = Intensitas gelap pada panjang gelombang  $\lambda$

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

Pada penelitian ini digunakan spektra *original* yakni spektra tanpa pengolahan lebih lanjut seperti proses *smoothing* atau *differentiation*. Kemudian menggunakan perangkat lunak The Unscrambler V.9.1 (CAMO AS, Trondheim, Norway), dibangun persamaan kalibrasi untuk penentuan KPT buah salak secara tidak merusak.

### Membangun Model Regresi Menggunakan FiPLS

Persamaan kalibrasi dibangun menggunakan teknik regresi *forward interval partial least*

*squares* (FiPLS). FiPLS atau *forward* iPLS merupakan salah satu algoritma dalam menghitung model regresi menggunakan regresi PLS. Berikut adalah langkah-langkah dalam perhitungan FiPLS seperti yang dijelaskan oleh Xiaobo *et al.* (2007). Pertama data dibagi dalam sejumlah interval dengan ukuran interval yang sama. Untuk penelitian ini spektra data (580-1040 nm) dibagi menjadi 11 interval yang sama sehingga pada penelitian ini setiap interval mengandung 14 panjang gelombang (14 peubah). Kemudian hitung regresi PLS untuk setiap interval. Langkah berikutnya adalah menghitung model regresi untuk kombinasi interval. Ini dimulai dari satu interval terbaik dengan nilai *root mean square error of cross-validation* (RMSECV) yang paling kecil. Interval kedua yang masuk merupakan interval yang bila dikombinasikan dengan interval pertama akan menghasilkan model regresi dengan nilai RMSECV paling kecil (terbaik). Ini dilakukan terus hingga interval terakhir masuk. Hasil dari perhitungan FiPLS dapat dilihat pada Tabel 2.

Untuk mengevaluasi kualitas prediksi dari model kalibrasi maka digunakan parameter RPD (*ratio prediction to deviation*). Untuk RPD diperoleh dengan cara membagi nilai standar deviasi (SD) dengan nilai RMSECV. Jika RPD lebih dari 3 maka proses prediksi suatu persamaan kalibrasi bisa dinilai sukses (Williams & Sobering, 1996; Malley *et al.*, 2002). Persamaan untuk menghitung nilai RMSECV dan RPD dapat dilihat sebagai berikut (Ying *et al.*, 2005b):

$$RMSECV = \sqrt{\frac{1}{I_c} \sum_{i=1}^{I_c} (\bar{Y}_i - Y_i)^2} \quad (2)$$

$$RPD = \frac{SD_x}{RMSECV} \quad (3)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

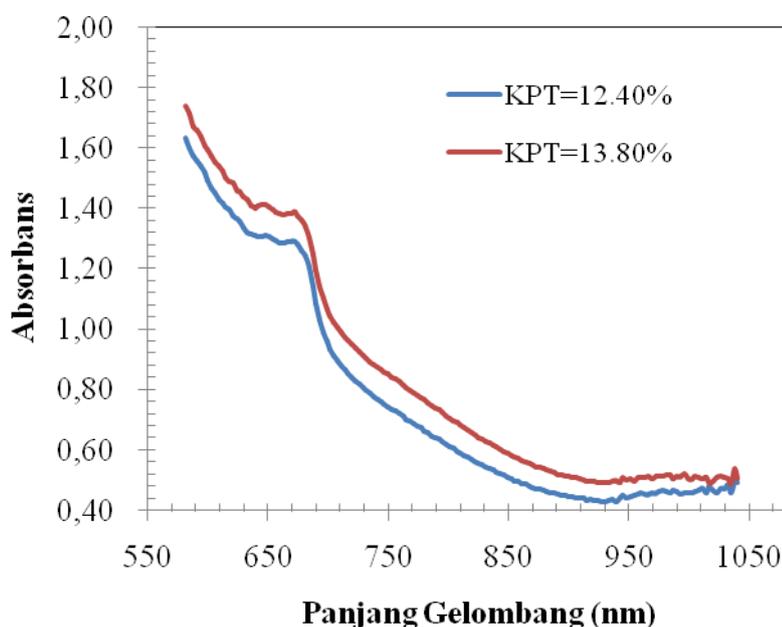
### Spektra Original NIR Buah Salak

Spektra NIR buah salak untuk *original* spektra dari dua sampel yang memiliki nilai KPT berbeda yang diambil dengan teknik *absorbance mode* dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2 maka terlihat bahwa adanya perbedaan spektra akibat adanya perbedaan nilai KPT. Meskipun demikian terdapat variasi perbedaan spektra pada keseluruhan panjang gelombang yang diamati. Juga terdapat puncak (*peak*) meskipun cukup kecil teridentifikasi pada panjang gelombang sekitar 680 nm yang berkorespondensi dengan absorpsi air.

### Membangun dan Mengevaluasi Model Kalibrasi Menggunakan Regresi FiPLS

Menggunakan regresi FiPLS, model kalibrasi untuk penentuan KPT buah salak dibangun menggunakan original spektra untuk 11 interval. Tiap interval terdiri atas 14 panjang gelombang (*wavelengths*) atau 14 buah peubah (*variables*). Tabel 2 menunjukkan hasil pembuatan model kalibrasi untuk 11 interval.

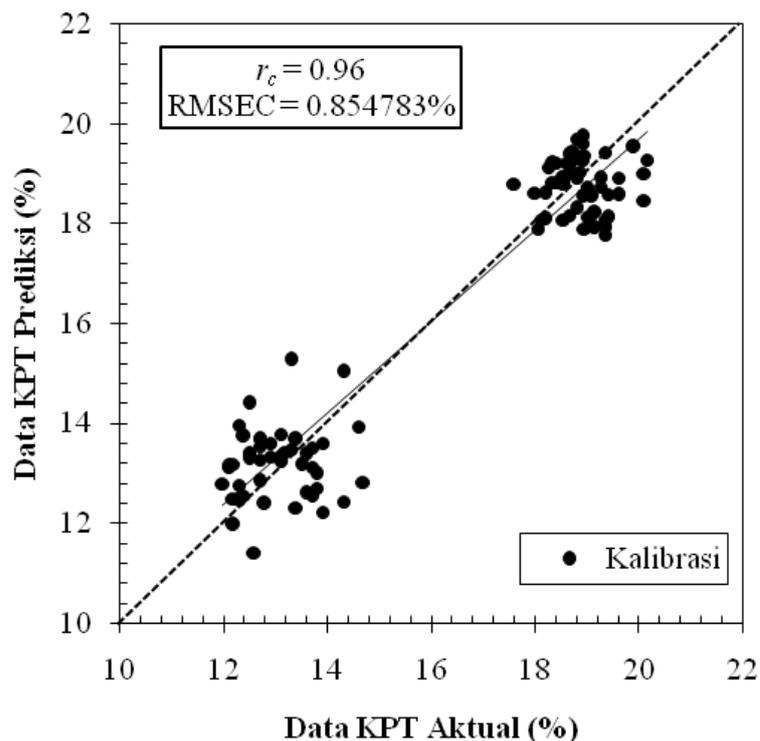
Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa nilai RMSECV terbaik diperoleh dari kombinasi 7 interval yakni interval 3, 9, 1, 10, 11, 2 dan 8. Kombinasi 7 interval tersebut menghasilkan RMSECV = 0,899828%. Kualitas model regresi ini lebih baik dibandingkan dengan model regresi menggunakan regresi iPLS untuk data yang sama. Pada penelitian sebelumnya diperoleh model terbaik iPLS dengan RMSECV = 0,914548%. Dapat dikatakan bahwa dengan menggunakan FiPLS kita dapat memperoleh model regresi yang lebih baik dan sekaligus menegaskan kembali kelebihan penggunaan FiPLS dibandingkan dengan model regresi iPLS sebagaimana dibuktikan pada riset sebelumnya (Xiaobo *et al.*, 2007; Leardi and Nørgaard, 2004; Kleynen and Leeman, 2003; Nørgaard *et al.*, 2000).



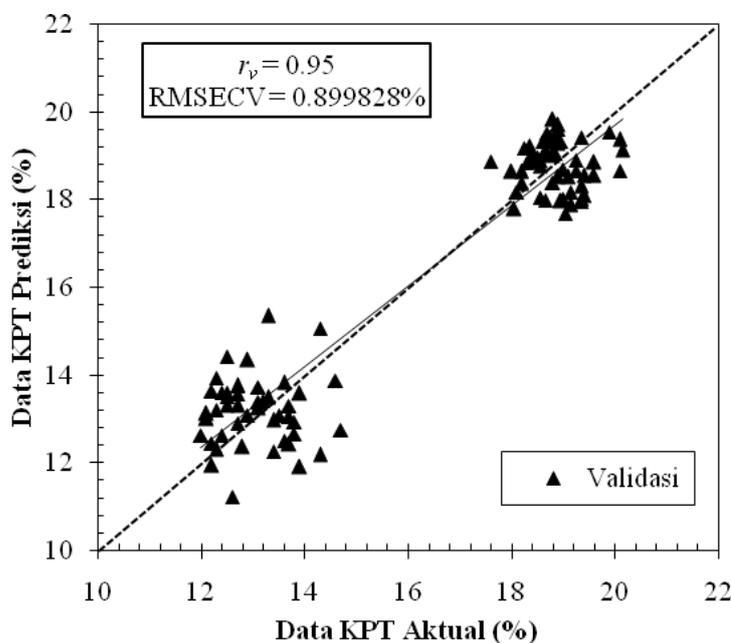
Gambar 2. Original spektra dua buah salak yang memiliki nilai KPT berbeda pada panjang gelombang 580-1040 nm.

Tabel 2. Hasil pengembangan model kalibrasi menggunakan regresi *forward interval PLS* (FiPLS).

Jumlah interval pada model	Interval yang dipilih	RMSECV (%)	Jumlah peubah
1	3	1,126048	14
2	9	1,023859	28
3	1	0,999621	42
4	10	0,943187	56
5	11	0,978932	70
6	2	0,925256	84
<b>7</b>	<b>8</b>	<b>0,899828</b>	<b>98</b>
8	5	0,957727	112
9	4	0,956705	126
10	7	0,958895	140
11	6	0,960259	154



Gambar 3. Scatter plot hasil pengembangan model kalibrasi pada penentuan KPT buah salak menggunakan model regresi FiPLS.



Gambar 4. Scatter plot hasil uji validasi dengan teknik *full cross-validation* untuk model kalibrasi pada penentuan KPT buah salak menggunakan model regresi FiPLS.

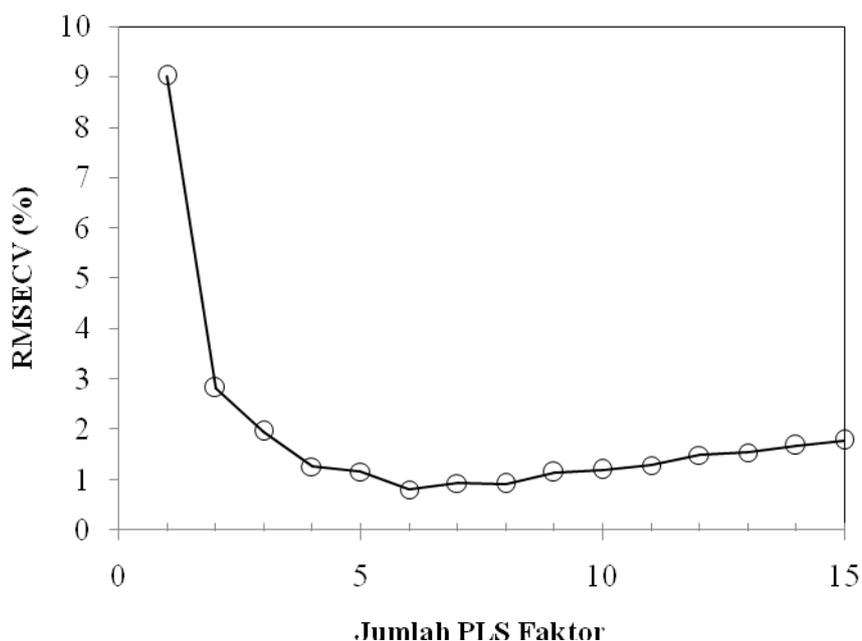
Gambar 3 menunjukkan *scatter plot* antara KPT buah salak yang aktual yang diukur menggunakan refraktometer dan KPT buah salak prediksi yang dihitung menggunakan model kalibrasi dengan menggunakan interval terpilih yakni interval 3, 9, 1, 10, 11, 2 dan 8. Kemudian,

untuk menguji kualitas persamaan kalibrasi yang dihasilkan maka dilakukan uji validasi menggunakan teknik *full-cross validation* yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4. Hasil validasi menunjukkan bahwa  $RMSECV = 0,899828\%$  dengan nilai  $RPD = 3,32$ . Dengan nilai  $RPD$  lebih dari 3 maka hal ini menunjukkan bahwa persamaan kalibrasi yang dibangun dapat diterima (*acceptable*) untuk proses penentuan KPT buah salak secara tidak merusak.

Selain itu selisih antara nilai  $RMSEC$  dan  $RMSECV$  juga relatif kecil. Pada model FiPLS dengan 98 peubah diperoleh selisih nilai  $RMSEC$  dan  $RMSECV$  hanya sebesar  $0,045045\%$ . Sehingga bisa dipastikan tidak terdapat indikasi *overfitting* model yang dihasilkan. *Overfitting* merupakan perilaku model kalibrasi di mana model yang yang dihasilkan sangat bagus kualitasnya saat kalibrasi tetapi sangat rendah kualitasnya saat model digunakan pada proses prediksi atau saat proses validasi eksternal.

### Penentuan Jumlah Faktor PLS yang Optimal

Pada penelitian ini jumlah PLS faktor yang dilibatkan dalam perhitungan model kalibrasi sebanyak 15 PLS faktor. Kemudian untuk menentukan jumlah PLS faktor yang optimal kita dapat mengetahuinya dengan cara menggambar plot jumlah PLS faktor versus  $RMSECV$ . Secara umum nilai  $RMSECV$  akan tinggi di awal kemudian akan turun dan selanjutnya sedikit naik atau konstan. PLS faktor dengan nilai  $RMSECV$  terendah dapat menjadi indikator jumlah PLS faktor yang optimal.

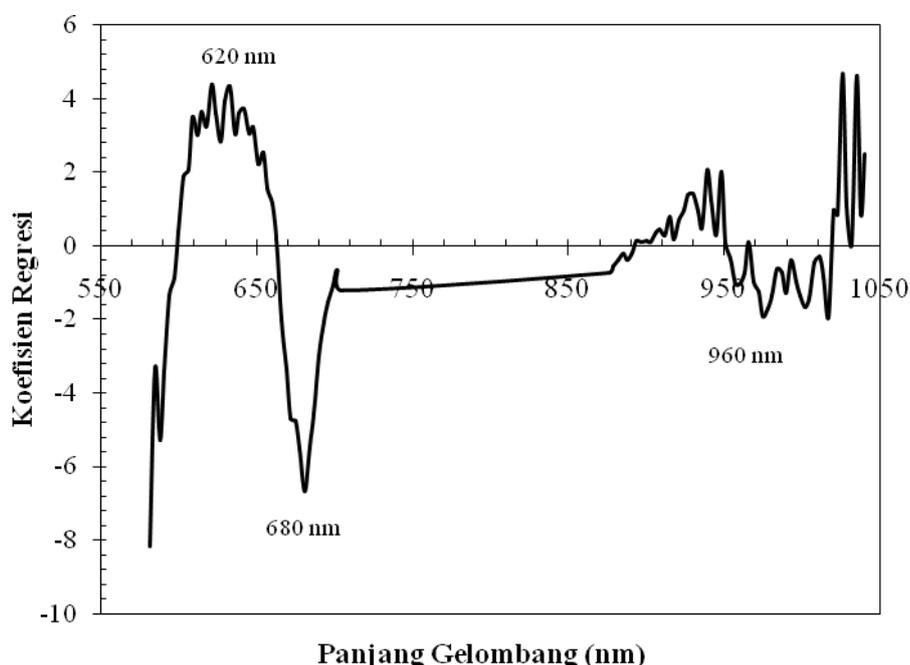


Gambar 5. Plot jumlah PLS faktor versus nilai  $RMSECV$  pada penentuan KPT buah salak menggunakan model FiPLS.

Gambar 5 menunjukkan plot PLS faktor versus nilai RMSECV pada penentuan KPT buah salak menggunakan model FiPLS. Sangat jelas terlihat bahwa nilai RMSECV sangat tinggi pada PLS faktor 1, kemudian nilainya turun dengan sangat cepat seiring bertambahnya jumlah PLS faktor yang terlibat pada model atau persamaan PLS. Pada jumlah PLS faktor sebesar 6, nilai RMSECV mencapai nilai terendah kemudian nilai tersebut kembali naik secara perlahan seiring bertambahnya jumlah PLS faktor. Dari sini kita dapat menyimpulkan bahwa jumlah PLS faktor yang optimal untuk penentuan KPT buah salak menggunakan model FiPLS adalah sebesar 6 faktor PLS.

### Evaluasi Struktur Model Kalibrasi

Model kalibrasi dengan menggunakan teknik regresi PLS seperti menggunakan regresi FiPLS secara umum sangat berguna dalam memecahkan persamaan peubah banyak dengan pendekatan linear. Namun salah satu kelemahannya adalah model kalibrasi yang dihasilkan dapat menjadi sulit untuk diilustrasikan karena melibatkan banyak sekali peubah. Pada penelitian ini dengan menggunakan FiPLS dihasilkan model terbaik dengan jumlah peubah 98 buah (lihat Tabel 2). Tentu saja sangat sulit untuk menggambarkan atau menuliskan persamaan atau model kalibrasi dengan 98 peubah dalam sebuah persamaan linear.



Gambar 6. Plot koefisien regresi versus panjang gelombang pada penentuan KPT buah salak menggunakan model FiPLS.

Salah satu teknik yang dapat digunakan dalam rangka memahami model kalibrasi yang dihasilkan dari proses regresi PLS adalah dengan menggunakan plot koefisien regresi versus

panjang gelombang. Tinggi rendahnya koefisien regresi dapat menunjukkan bagaimana struktur model kalibrasi yang dihasilkan. Semakin tinggi atau besar nilai koefisien regresi (yang dipakai nilai mutlak) maka panjang gelombang yang bersesuaian memiliki pengaruh semakin besar dalam menentukan perilaku model kalibrasi yang dihasilkan.

Gambar 6 merupakan plot koefisien regresi versus panjang gelombang pada penentuan KPT buah salak menggunakan model FiPLS dengan 98 peubah. Dari Gambar 6 kita dapat melihat terdapat beberapa panjang gelombang yang memiliki nilai koefisien regresi yang tinggi. Misalnya pada panjang gelombang sekitar 620 nm, kemudian panjang gelombang 680 nm dan panjang gelombang 960 nm. Jika dilihat dari peta spektra (*map of spectra*), panjang gelombang 620 nm, 680 nm dan 960 nm bersesuaian dengan panjang gelombang yang aktif diabsorpsi oleh molekul air. Sehingga dapat juga dikatakan bahwa proses penentuan KPT buah salak menggunakan model regresi FiPLS dapat diterima dengan kenyataan bahwa sebagian besar penyusun KPT buah salak salah satunya adalah molekul air.

## KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas maka dapat disimpulkan bahwa proses seleksi panjang gelombang yang efektif untuk membangun model kalibrasi penentuan KPT buah salak telah berhasil dilakukan. Hasil di atas menunjukkan model atau persamaan kalibrasi yang dibangun dengan menggunakan interval terpilih (interval 3, 9, 1, 10, 11, 2 dan 8) menghasilkan model kalibrasi terbaik dengan RMSEC = 0,854783%. Hasil validasi menunjukkan persamaan kalibrasi yang dihasilkan dapat diandalkan dengan RMSECV = 0,899828% dan RPD = 3,32. Persamaan kalibrasi untuk penentuan KPT buah salak menggunakan teknik regresi *forward interval* PLS (FiPLS) dapat dinyatakan telah berhasil. Hasil ini tentu saja dapat menjadi salah satu dasar dalam proses pemutuan buah salak yang cepat dan tidak merusak menggunakan teknologi NIR *spectroscopy*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Guthrie, J.A., and Walsh, K.B. 1997. Non-invasive assessment of pineapple and mango fruit quality using near infra-red spectroscopy. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 37: 253–263.
- Kleynen, O., and Leemans, V.M.F. 2003. Selection of the most efficient wavelength bands for 'Jonagold' apple sorting. *Postharvest Biology and Technology*, 30:221–232.
- Leardi, R., and Nørgaard, L. 2004. Sequential application of backward interval PLS and genetic algorithms for the selection of relevant spectral regions. *Journal of Chemometrics*, 18(11) :486–497.
- Maeda, H., Ozaki, Y., Tanaka, M., Hayashi, N., and Kojima, T. 1995. Near infrared spectroscopy and chemometrics studies of temperature-dependent spectral variations of water: relationship between spectral changes and hydrogen bonds. *J. Near Infrared Spectroscopy*, 3:191–201.

- Malley, D.F., Yesmin, L., and Eilers, R.G. 2002. Rapid analysis of hog manure and manure-amended soils using near infrared spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal*, 66: 1677-1686.
- McGlone, V.A., Jordan, R.B., Seelye, R., and Martinsen, P.J. 2002. Comparing density and NIR methods for measurement of kiwifruit dry matter and soluble solids content. *Postharvest Biology and Technology*, 26: 191-198.
- Nørgaard, L., Saudland, A., Wagner, J., Nielsen, J.P., Munck, L., and Engelsen, S.B. 2000. Interval Partial Least Squares Regression (iPLS): a comparative chemometric study with an example from near-infrared spectroscopy. *Applied Spectroscopy*, 54: 413-419.
- Peirs, A., Scheerlinck, N., and Nicolai, B. 2003. Temperature compensation for near infrared reflectance measurement of apple fruit soluble solids content. *Postharvest Biology and Technology*, 30: 233-248.
- 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.
- Subedi, P.P., Walsh, K.B., and Owens, G. 2007. Prediction of mango eating quality at harvest using short-wave near infrared spectrometry. *Postharvest Biology and Technology*, 43(3): 326-334.
- Suhandy, D. 2009. Nondestructive measurement of soluble solids content in pineapple fruit using short wavelength near infrared (SW-NIR) spectroscopy. *International Journal of Applied Engineering Research*, 4(1): 107-114.
- Suhandy, D., Yulia, M., Kuncoro, S., Rhinaldo, W., Kondo, N., and Ogawa, Y. 2010. The measurement of soluble solids content in snake fruit (*Salacca Edulis Reinw*) cv. pondoh using a portable spectrometer. *Proceeding of IFAC AGRICONTROL*. Kyoto, Japan.
- Temma, T., Hanamatsu, K., and Shinoki, F. 2002. Development of a portable near infrared sugar-measuring instrument. *J. Near Infrared Spectroscopy*, 10: 77-83.
- Ventura, M., De Jager, A., de Putter, H., and Roelofs, F.P.M.M. 1998. Nondestructive determination of soluble solids in apple fruit by near infrared spectroscopy (NIRS). *Postharvest Biology and Technology*, 14: 21-27.
- Walsh, K.B., Golic, M., and Greenhill, C.V. 2004. Sorting of fruit using near infrared spectroscopy: application to a range of fruit and vegetables for soluble solids and dry matter content. *J. Near Infrared Spectroscopy*, 12: 141-148.
- Williams, P.C., and Sobering, D.C. 1996. How do we do it: a brief summary of the methods we use in developing near infrared calibrations. In: Davies, A.M.C., Williams, P.C. (Eds.), *Near Infrared Spectroscopy: The Future Waves*. NIR Publications, Chichester, pp. 185-188.
- Winarto, Yulia, M., and Suhandy, D. 2014. Penentuan Kadar Gula Buah Salak Secara Tidak Merusak Menggunakan Near Infrared (NIR) Spectroscopy dan Interval Partial Squares (iPLS) Regression. *TekTan Jurnal Ilmiah Teknik Pertanian*, 6(1): 1-9.
- Xiaobo, Z., Jiewen, Z., Xingyi, H., and Yanxiao, L. 2007. Use of FT-NIR spectrometry in non-invasive measurements of soluble solid contents (SSC) of 'Fuji' apple based on different PLS models. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 87: 43-51.

Ying, Y.B., Liu, Y.D., Wang, J.P., Fu, X.P., and Li, Y.B. 2005a. Fourier transforms near-infrared determination of total soluble solids and available acid in intact peaches. *J. Transaction of the ASAE*, 48: 229–234.

Ying, Y.B., Liu, Y.D., and Tao, Y. 2005b. Nondestructive quantification of the soluble solids content and the available acidity of apples by Fourier-transform near-infrared spectroscopy. *Applied Optics*, 44(25): 5224–5229.