

Technical Paper

Pendugaan Kadar Air dan Total Karoten Tandan Buah Segar (TBS) Kelapa Sawit Menggunakan NIR Spektroskopi

Prediction of Oil Palm Fresh Fruit Bunch (FFB) Water Content and Total Carotene Using NIR Spectroscopy

Zaqlul Iqbal, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor,

Email: zaqlul@hotmail.com

Sam Herodian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor,

Email: s_herodian@ipb.ac.id

Slamet Widodo, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor,

Email: slamet.ae39@gmail.com

Abstract

The aim of this research is to develop a Near Infrared (NIR) calibration model based on water content and total carotene that can be used as a standard of ripe fruit. There are three steps of the research. The first step is NIR spectral data acquisition of 60 samples by using NIRFlex N-500. Next step is measuring water content and total carotene from each sample using destructive method. The last step is development of NIR calibration model using (Partial Least Square) PLS and applying pretreatment data Standard Normal Variate (SNV), normalization (N01), dan First Derivative Savitzky-Golay 9 Point (DG1). The result show that water content could be predicted well by applying SNV with R^2 (calibration) = 0.89, R^2 (validation) = 0.88 and RPD = 2.84. Total carotene also could be predicted well by applying DG1 with R^2 (calibration) = 0.84, R^2 (validation) = 0.77 and RPD = 2.06.

Keywords: Fresh Fruit Bunch (FFB) maturity, NIR spectra, calibration model, water content, total carotene

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membangun model kalibrasi dari kadar air dan total karoten yang dapat dijadikan standar kematangan buah. Terdapat tiga tahapan pada penelitian ini, pertama akuisisi spektrum *Near Infrared* (NIR) pada 60 sampel menggunakan NIRFlex N-500. Langkah selanjutnya adalah pengujian kadar air dan total karoten tiap sampel secara destruktif. Langkah terakhir adalah pembuatan model kalibrasi menggunakan metode (*Partial Least Square*) PLS dan menerapkan *pretreatment* data *Standard Normal Variate* (SNV), normalisasi (N01), dan *First Derivative Savitzky-Golay* 9 titik (DG1). Hasil menunjukkan bahwa kadar air dapat diprediksi dengan baik menggunakan SNV dengan R^2 (kalibrasi) = 0.89 dan R^2 (validasi) = 0.88 dan RPD = 2.84. Total karoten juga dapat diprediksi dengan baik menggunakan DG1 dengan R^2 (kalibrasi) = 0.84 dan R^2 (validasi) = 0.77 dan RPD = 2.06.

Kata kunci: Kematangan Tandan Buah Segar (TBS), spektrum NIR, model kalibrasi, kadar air, total karoten

Diterima: 13 Agustus 2014 ; Disetujui: 30 September 2014

Pendahuluan

Penentuan kematangan Tandan Buah Segar (TBS) sawit di perkebunan sangat mempengaruhi rendemen dalam produksi minyak sawit. Apabila minyak pada buah mentah atau lewat matang ikut diekstraksi, maka dapat menurunkan hasil rendemen. Salah satu upaya peningkatan rendemen minyak yaitu dengan dengan mengoptimalkan kegiatan penentuan kematangan buah, karena sampai saat

ini masih menggunakan metode konvensional yaitu dengan melihat secara visual. TBS dikatakan layak panen apabila sudah menjatuhkan brondol (buah kecil) sebanyak 10-15 butir. Kenyataan di lapangan, terdapat TBS yang sulit menjatuhkan brondol atau brondol tersangkut di sela pelepah. Penentuan secara konvensional ini juga sangat bergantung pada pengalaman, kondisi psikis serta pengetahuan pemanen saat menentukan kematangan buah.

Belakangan ini, penggunaan spektroskopi NIR untuk menentukan karakteristik buah telah banyak dilakukan. Lengkey (2013) dapat menduga kadar air pada buah jarak dengan baik. Saranwong *et al.* (2003) menggunakan NIR untuk memprediksi kualitas tingkat kematangan buah mangga. Dalam penelitian Yanto (2007), reflektansi Vis/NIR mampu menunjukkan karakteristik optik buah pisang lampung selama pematangan. Melihat potensi penggunaan NIR spektroskopi, terdapat kemungkinan untuk menggunakannya dalam penentuan kematangan TBS sawit dengan mengetahui karakteristik kimia yang terkandung di dalamnya secara non destruktif. Ditambah lagi, data karakteristik tersebut dapat menjadi suatu acuan standar untuk mengembangkan suatu alat bantu penentuan kematangan sawit di lapangan. Sehingga dapat mencegah pemanenan buah mentah atau lewat matang.

Bahan dan Metode

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan mulai Mei 2014 sampai Agustus 2014, di Laboratorium Teknik Pengolahan dan Hasil Pertanian (TPPHP), Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB untuk akuisisi data spektrum NIR dan pengujian kadar air. Sedangkan untuk pengujian karoten dilakukan di Balai Besar Pasca Panen, Bogor.

Bahan dan Alat

Bahan penelitian adalah TBS kelapa sawit klon Sungai Pancur (SP) yang ditentukan dari pohon dengan umur panen 4, 5, 6 dan 7 bulan dihitung mulai terbentunya brondol sawit, berdasarkan penaksiran mandor panen. Masing-masing umur terdiri dari 15 sampel TBS, sehingga total sampel berjumlah 60. TBS berasal dari Perkebunan Cikasungka PTPN 8, Bogor, Jawa Barat. Peralatan yang digunakan untuk akuisisi data spektrum NIR adalah Spektrometer NIRFlex N-500 dengan panjang gelombang 1000-2500 nm. Untuk membangun model kalibrasi berdasarkan data spektrum NIR dengan kandungan kimia sawit digunakan *software* NIRCal 5.2.

Metode Penelitian

Penelitian ini dibagi dalam tiga bagian utama, yaitu tahap pengambilan spektrum NIR pada sampel, kemudian pengambilan data kadar air dan karoten untuk masing-masing sampel. Lalu membangun model kalibrasi berdasarkan data spektrum NIR terhadap nilai kimia aktual.

1. Akuisisi Data Spektrum NIR

Brondol (buah sawit kecil) dilepaskan dari bagian bawah sebanyak 6 butir untuk pengujian kadar air dan 9-15 butir untuk pengujian karoten dalam 1 TBS. Kemudian dibungkus dengan plastik

dan dimasukkan ke dalam *ice box*, lalu dibawa ke Laboratorium TPPHP untuk akuisisi data spektrum NIR. Pengukuran sampel dilakukan dengan menembakkan cahaya inframerah menggunakan *gun* NIRFlex N-500 pada tiap persatu brondol sawit sebanyak satu kali tembakan. Prinsip pengukuran spektrum adalah menembakkan cahaya di panjang gelombang inframerah dekat ke sampel. Sebagian energi yang dipantulkan akan diterima oleh detektor sebagai data reflektan atau data spektrum.

2. Pengukuran Kandungan Kimia

Pengukuran Kadar Air

Pengukuran kadar air sampel dengan menggunakan metode oven. Langkah awal dalam pengukuran kadar air sampel dengan mengeringkan cawan kosong di dalam oven bersuhu 105°C selama 30 menit kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Sampel yang berupa cacahan serabut sawit sejumlah 5 g dimasukkan ke dalam cawan tersebut dan sampel dikeringkan di dalam oven bersuhu 105°C. Setelah 21 jam sampel tersebut dikeluarkan dari dalam oven dan dimasukkan ke dalam desikator untuk didinginkan. Setelah 30 menit, sampel dikeluarkan dari desikator dan ditimbang, lalu dimasukkan lagi sampai hasil kadar airnya konstan. Perbedaan berat sampel sebelum dan sesudah pengeringan dihitung sebagai persen kadar air menggunakan persamaan SNI 01-3555-1998.

$$m = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana,

m = kadar air sampel dalam basis basah (%b.b.)

a = berat sampel sebelum dikeringkan (g)

b = berat sampel setelah dikeringkan (g)

Pengukuran Total Karoten

Pengukuran total karoten dilakukan dengan metode spektroskopi UV/VIS. Sebanyak 5 g sampel dimasukkan dalam labu erlemeyer dan ditambah 100 ml larutan Aceton: Hexan (40:60) dan dikocok. Sampel didiamkan 1 malam dan disaring, lalu dicuci dengan campuran 25 ml aceton dan 25 ml Hexan. Kemudian dimasukkan ke dalam labu pisah dan dicuci dengan air suling. Ambil fasa organik dan tambahkan 9 ml aceton dan ditera hingga 100 ml (C) dengan hexan. Kocok dan ukur dengan spektro pada panjang gelombang 436 nm, lalu ukur standar karoten sebagai β karoten. Hitung total karoten dengan Persamaan 2 (Apriyantono 1989).

$$\text{microgram karoten}/100 \text{ gr} = \frac{C \times V \times P \times 100}{\text{bobot sampel}} \quad (2)$$

Dimana,

C = nisbah absorban spektroskopi dengan slope pada diagram spektroskopi

V = fasa organik + 9 ml aceton + hexan hingga 100 ml
 P = volume pengencer (jika dibutuhkan)

3. Pembuatan Model Kalibrasi

Data kandungan kimia kelapa sawit disandingkan sesuai dengan data spektrum NIR

Pada software NIRCal 5.2. Dari keseluruhan data, ditentukan terlebih dahulu 2/3 data untuk set data kalibrasi dan 1/3 untuk set data validasi. Kemudian dipilih metode PLS (*Partial Least Square*) untuk membangun model kalibrasi. Untuk memperoleh model kalibrasi terbaik, selain spektrum asli (original) juga dilakukan *pretreatment* pada data spektrum. Beberapa *pretreatment* yang digunakan dalam memperbaiki model kalibrasi adalah *Standard Normal Variate* (SNV), *First Derivative Savitzky-Golay* 9 titik (DG1), dan Normalisasi (N01).

Evaluasi dilakukan agar mengetahui seberapa baik model kalibrasi yang dibangun dengan membandingkan hasil validasi. Parameter keberhasilannya ditentukan oleh nilai *Standard Error of Calibration* (SEC) dan *Standard Error of Prediction* (SEP). Nilai galat baku diharapkan mendekati standar deviasi nilai referensi kimia (Lengkey, 2013).

$$SEP, SEC = \sqrt{\frac{\sum (Y_{nir} - Y_{ukur})^2}{n}} \quad (3)$$

Faktor lain yang perlu diperhatikan dalam evaluasi model adalah nilai *Ratio of Performance to Deviation* (RPD). RPD merupakan nisbah antara standar deviasi dengan nilai SEP. RPD dikatakan baik jika bernilai lebih dari 2 (William dan Sobering, 1993).

$$RPD = \frac{SD}{SEP} \quad (4)$$

Hasil dan Pembahasan

Kandungan Kimia TBS Kelapa Sawit Secara Destruktif

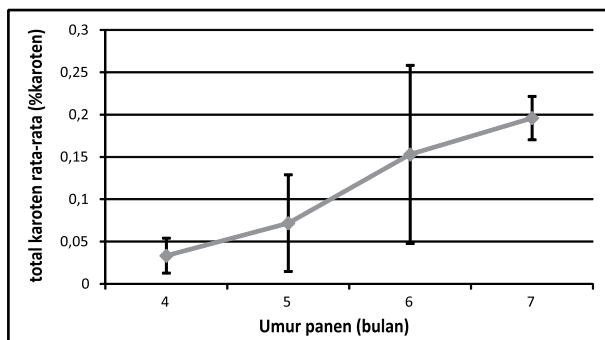
Sebanyak 60 sampel diuji untuk didapatkan masing-masing kadar air dan total karoten. Data tersebut kemudian akan dijadikan referensi untuk

dilihat kesesuaiannya dengan data spektrum NIR. Air merupakan salah satu parameter yang menentukan bahwa buah kelapa sawit telah matang atau tidak. Sehingga parameter ini cukup penting untuk diuji dalam penelitian. Standar kadar air untuk buah yang matang adalah sebesar 27% (Ketaren 1986). Berdasarkan hasil pengukuran pada 4 umur kematangan TBS kelapa sawit didapatkan kandungan kadar air berada diantara 22.05% - 86.15%.

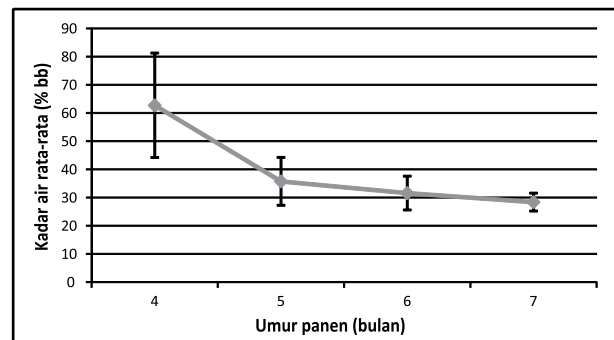
Pada Gambar 1 terlihat bahwa kadar air menurun cukup besar dari umur panen 4 bulan ke umur panen 5 bulan, lalu pada umur panen 6 bulan sampai 7 bulan, kadar air mengalami penurunan yang tidak terlalu besar. Menurut Keshvadi *et al* (2012), semakin meningkat usia buah maka semakin berkurang kandungan airnya. Penurunan kadar air di tiap umurnya juga diikuti oleh peningkatan kadar minyak. Pada bulan ke 4, terlihat bahwa variasi data tinggi jika dibandingkan bulan ke 5, 6 atau 7. Hal tersebut dapat disebabkan akibat sampel di umur 4 bulan dekat dengan umur 3 bulan yang memiliki kadar air lebih tinggi dari umur 4 bulan. Terdapat 6 data dengan kisaran nilai antara 74.56% sampai 86.15% yang menyebabkan besarnya variasi data.

Minyak kelapa sawit juga memiliki komponen minor, salah satunya adalah karoten. Karoten merupakan salah satu komponen kimia yang berperan dalam perubahan warna buah sawit menjadi jingga kemerahan. Sama halnya dengan kadar air, parameter ini juga memiliki nilai standar untuk buah matang. Standar karoten untuk buah kelapa sawit matang adalah sebesar sebesar 500-700 ppm atau 0.05-0.07% (Ketaren 1986). Secara visual buah sawit mengalami perubahan warna selama fase kematangan. Buah sawit mentah memiliki warna hitam, kemudian berubah menjadi jingga kehitaman dan pada buah matang pada umumnya berubah menjadi jingga kemerahan. Pada pengujian sampel, total karoten menunjukkan nilai antara 0.008% hingga 0.446%.

Dari Gambar 2 terlihat bahwa tren menunjukkan terjadi peningkatan total karoten seiring dengan peningkatan umur buah. Pada bulan ke 5 dan ke 6, terlihat bahwa variasi data lebih tinggi dibandingkan bulan ke 4 dan bulan ke 7. Pada umur 5 bulan,



Gambar 1. Grafik kadar air TBS kelapa sawit.



Gambar 2. Grafik total karoten TBS kelapa sawit.

terdapat 2 data dengan perbedaan nilai yang cukup besar dibandingkan data lainnya, hal inilah yang menyebabkan rata-rata keseluruhan data meningkat dan variasi tinggi. Pada umur 6 bulan data yang didapat memiliki keragaman yang tinggi dengan rentang nilai antara 0.024 sampai 0.163.

Karakteristik Spektrum NIR TBS Kelapa Sawit

Berdasarkan pemindaian data spektrum NIR yang tersaji pada Gambar 3, pada panjang gelombang tertentu, terdapat spektrum yang tumpang tindih, namun ada pula yang memiliki pola spektrum seragam dengan tingkat reflektansi yang berbeda-beda. Perbedaan tingkat reflektansi disebabkan karena sampel yang diambil memiliki perbedaan tingkat usia kematangan. Data spektrum awal merupakan reflektan hasil pengukuran. Spektrum reflektan perlu diubah menjadi spektrum absorban untuk mempermudah dalam melihat puncak-puncak mana saja yang terbentuk pada spektrum kelapa sawit. Pola spektrum NIR untuk kelapa sawit memiliki puncak-puncak yang mengandung informasi kandungan kimia pada sawit. Dari Gambar 3 terdapat puncak gelombang yang terlihat pada kisaran panjang gelombang 1190-1219 nm, 1408-1470 nm, 1724 nm, 1886-1960 nm, dan 2380-2500 nm.

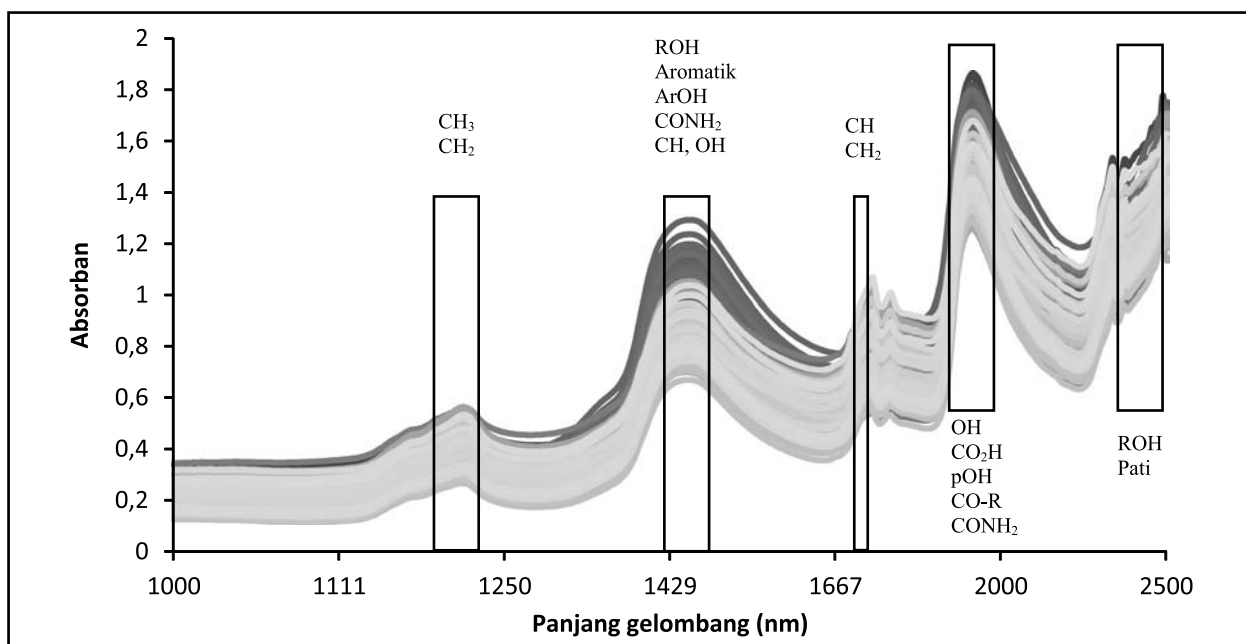
Menurut Osborne (1986) kisaran panjang gelombang 1190-1219 nm memuat informasi ikatan CH₃ dan CH₂. Pada 1408-1470 nm memuat informasi ROH, CH₂, ikatan aromatik, Ar-OH, CONH₂, Pati, CH, dan ikatan O-H H₂O. Panjang gelombang 1724 nm memuat informasi CH dan CH₂. Panjang gelombang 1886-1960 nm memuat informasi pati, CO₂H, P-OH, CONH, H₂O, -CO-R, dan CONH₂. Sedangkan pada ganjang gelombang 2380-2500 nm memuat informasi pati.

Berturut-turut puncak dominan pertama berada pada panjang gelombang 1886-1960 nm, kemudian 1408-1470 nm, 1724 nm, dan 1190-1219 nm. Untuk panjang gelombang 2380-2500 nm memiliki penyerapan yang cukup dominan, akan tetapi puncak yang terbentuk dari sampel terlihat tumpang tindih dan tidak sebaik puncak lainnya. Hal tersebut dapat menyulitkan pembuatan model kalibrasi, sehingga pendugaan kandungan kimia di panjang gelombang tersebut tidak sebaik di puncak lainnya. Berdasarkan puncak-puncak tersebut, kadar air berupa ikatan O-H terindikasi di 1408-1470 nm dan 1886-1960 nm. Dalam penelitian Lengkey (2013) mengenai jarak pagar, kadar air dapat diprediksi dengan baik menggunakan NIR spektroskopi meskipun kadar air bukan termasuk senyawa organik.

Karoten merupakan salah satu pigmen yang berperan dalam warna merah, jingga, dan kuning pada daun, buah dan bunga, dan merah (Pfander H (1992) dalam Omayma AE (2013)). Karoten terdiri atas ikatan karbon poliena sebanyak 40 atom C (Omayma AE 2013). Meskipun puncak yang terbentuk tidak sebesar puncak lainnya, kandungan yang memiliki ikatan CH₃ ini dapat terindikasi di panjang gelombang 1190-1219 nm.

Kalibrasi Spektrum NIR Kelapa Sawit

Kalkulasi prediksi kandungan kimia dilakukan dengan metode PLS. Sebelum dilakukan prediksi, akan dibentuk *Primary Component* (PC) terlebih dahulu. Data spektrum original merupakan deretan angka hasil pengukuran instrumen di setiap panjang gelombang dari 1000 nm sampai 2500 nm yang berjumlah ribuan. Maka untuk mempermudah prediksi kandungan kimia perlu dilakukan reduksi data menjadi variabel-variabel baru (PC) yang



Gambar 3. Spektrum absorban NIR kelapa sawit.

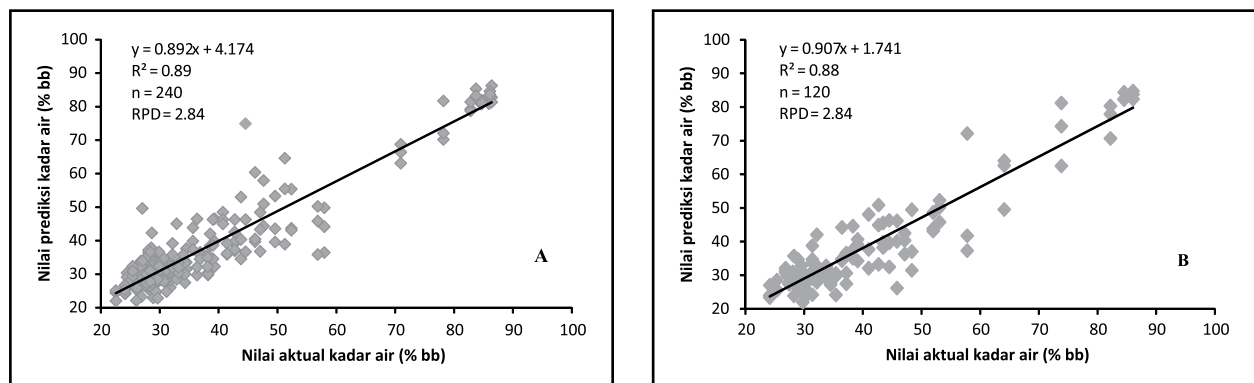
Tabel 1. Hasil kalibrasi dan validasi NIR untuk kadar air dan total karoten.

| Kandungan Kimia | Pretreatment | Faktor | R ² Kalibrasi | R ² Validasi | SEC | SEP | RPD (%) |
|-----------------|--------------|----------|--------------------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Kadar Air | Original | 8 | 0.87 | 0.85 | 6.19 | 6.43 | 2.56 |
| | SNV | 8 | 0.89 | 0.88 | 5.72 | 5.80 | 2.84 |
| | DG1 | 7 | 0.90 | 0.85 | 5.46 | 6.42 | 2.57 |
| | N01 | 8 | 0.89 | 0.87 | 5.75 | 5.84 | 2.82 |
| Karoten | Original | 14 | 0.76 | 0.62 | 0.04 | 0.05 | 1.57 |
| | SNV | 13 | 0.76 | 0.64 | 0.04 | 0.04 | 1.63 |
| | DG1 | 8 | 0.84 | 0.77 | 0.03 | 0.03 | 2.06 |
| | N01 | 13 | 0.75 | 0.66 | 0.04 | 0.04 | 1.67 |

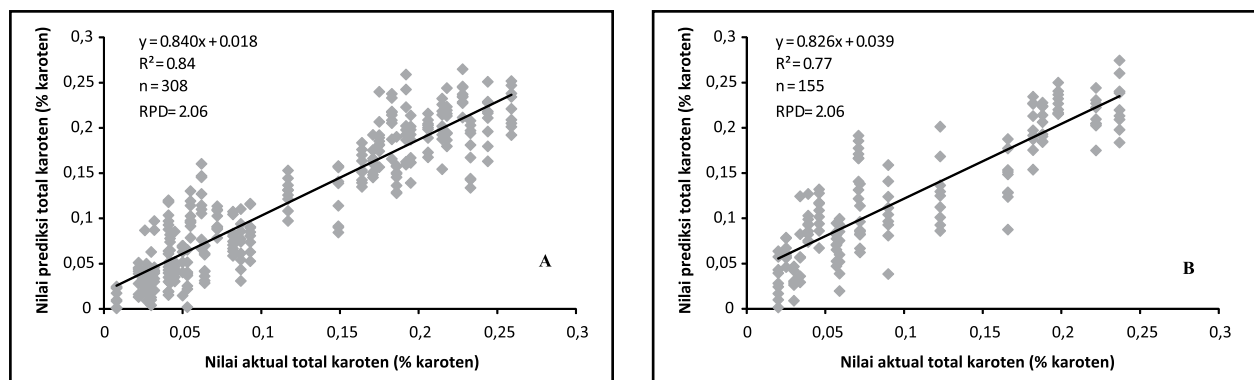
tetap menyimpan informasi kandungan kimia. Disamping itu perlu dilakukan *pretreatment* data untuk mengurangi *noise* pada spektrum. Setelah dihasilkan koefisien korelasi (R²) dan RPD pada set kalibrasi dan validasi, nilai-nilai tersebut harus memenuhi syarat. Menurut Williams (2003) dalam Karoui *et al* (2006), nilai R² diantara 0.66 dan 0.81 mengindikasikan prediksi mendekati nilai kuantitatif. Nilai diantara 0.82 dan 0.9 menunjukkan prediksi yang baik dan R² diatas 0.91 menunjukkan prediksi yang sangat baik.

Akuisisi spektrum kadar air, diukur pada 6 brondol untuk 1 sampel, sehingga didapat total 360 spektrum. Sebanyak 240 spektrum digunakan untuk set kalibrasi dan 120 untuk set validasi. Berdasarkan Tabel 1, prediksi kadar air tanpa

menggunakan *pretreatment* sudah menunjukkan hasil yang baik. Saat dilakukan *pretreatment* terjadi perbaikan nilai prediksi baik dengan SNV, DG1, ataupun N01 dengan standar R² dan RPD yang memenuhi syarat. Saat dilihat prediksi set kalibrasi, DG1 menghasilkan prediksi terbaik dibandingkan yang lainnya, namun pada set validasi DG1 menghasilkan prediksi paling buruk dan terpaut jauh jika dibandingkan dengan SNV dan N01. Dari keseluruhan *pretreatment* SNV memiliki nilai R², *standar error* dan RPD yang tinggi dan seimbang antara set kalibrasi dan validasinya. Gambar 4 menunjukkan nilai aktual dengan prediksi untuk set kalibrasi dan validasi SNV. Pada SNV, R² (kalibrasi) bernilai 0.89, R² (validasi) bernilai 0.88 dan RPD 2.84. SNV biasa digunakan untuk menghilangkan



Gambar 4. Nilai aktual vs prediksi kadar air dengan SNV untuk (A) kalibrasi dan (B) Validasi.



Gambar 5. Nilai aktual vs prediksi total karoten dengan DG1 untuk (A) kalibrasi dan (B) Validasi.

gangguan dari pembauran cahaya, keragaman ukuran objek yang dipindai, dan perubahan cahaya (Moghimi *et al* 2010).

Akuisisi spektrum total karoten dilakukan pada 9-15 buah brondol sawit. Untuk 60 sampel didapat total data spektrum sebanyak 540. Ketika data kimia total karoten diuji sebaran normalnya, terdapat 4 sampel yang mengandung 36 spektrum merupakan *outlier* (pencilan). Saat dilakukan proses kalibrasi, masih terdapat 41 spektrum yang tergolong *outlier*. Spektrum *outlier* tersebut kemudian dieliminasi dan menghasilkan total spektrum sebanyak 463 dari 54 sampel untuk kalibrasi model. Hasil kalibrasi pada Tabel 1 menunjukkan bahwa penggunaan *pretreatment* DG1 adalah yang terbaik dibandingkan SNV atau N01. Gambar 5 menunjukkan nilai aktual dengan prediksi untuk set kalibrasi dan validasi DG1. Penggunaan DG1 menghasilkan R^2 (kalibrasi) bernilai 0.84, R^2 (validasi) bernilai 0.77 dan RPD 2.06. Sehingga dengan nilai R^2 yang baik dan RPD lebih dari 2, dapat dikatakan model PLS yang dibentuk baik untuk menentukan nilai aktual total karoten. DG1 merupakan metode untuk mengkalkulasi turunan orde pertama atau orde yang lebih besar yang meliputi faktor *smoothing* didalamnya, sehingga dapat menentukan seberapa besar variable yang berdekatan untuk memprediksi pendekatan polinomial pada suatu turunan (Karoui *et al* 2006).

Simpulan

Spektrum original kelapa sawit menunjukkan adanya puncak-puncak gelombang di panjang gelombang pada kisaran panjang gelombang 1190-1219 nm, 1408-1470 nm, 1724 nm, 1886-1960 nm, dan 2380-2500 nm. Secara kuantitatif, pendugaan kadar air dan total karoten TBS kelapa sawit klon SP dengan metode PLS dapat dilakukan dengan baik. Untuk kadar air *pretreatment* SNV menghasilkan nilai prediksi yang paling baik dengan R^2 kalibrasi dan validasi sebesar 0.89 dan 0.88 serta RPD 2.84. Untuk pendugaan total karoten, *pretreatment* DG1 menghasilkan nilai yang paling baik dengan R^2 kalibrasi dan validasi sebesar 0.84 dan 0.77 serta RPD 2.06.

Daftar Pustaka

Apriyantono A. 1989. *Analisis Pangan : Penuntun Praktek*. Bogor : PAU-IPB.

- Badan Standarisasi Nasional. 1998. SNI 01-3555-1998 : *Cara Uji Minyak dan Lemak*.
- Karoui R, Mouazen AM, Dufour E, Pillonel L, Schaller E, Baerdemaeker JD, and Bosset JO. 2006. *Chemical Characterisation of European Emmental Cheeses by Near Infrared Spectroscopy Using Chemometric Tools*. International Dairy Journal. 16(1): 1211-1217. doi:10.1016/j.idairyj.2005.10.002.
- Keshvadi A, Endan JB, Harun H, Ahmad D, and Saleena F. 2012. *The Reflection of Moisture Content on Palm Oil Development During the Ripening Process of Fresh Fruits*. Journal of Food, Agriculture and Environment. 10(1): 203-209.
- Ketaren S. 1986. *Minyak dan Lemak Pangan*. Jakarta: UI-Press.
- Lengkey, LCECH., Budiastira IW, Seminar KB, dan Purwoko BS. 2013. *Model Pendugaan Kandungan Air, Lemak Dan Asam Lemak Bebas pada Tiga Provenan Biji Jarak Pagar (Jatropha curcas L.) Menggunakan Spektroskopi Inframerah Dekat Dengan Metode Partial Least Square (PLS)*. Jurnal Littri. 19(4): 203-211.
- Moghimi A, Aghkhani MH, Sazgarnia A, and Sarmad M. 2010. *Vis/NIR Spectroscopy and Chemometrics for the Prediction of Soluble Solids Content and Acidity (pH) of Kiwifruit*. Biosystem Engineering. 106(1): 295-302. doi:10.1016/j.biosystemseng.2010.04.002
- Omayma AE and Abdel NBS. 2013. *Carotenoids*. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2(1): 225-234.
- Osborne BG, Fearn T, Hindle PH. 1993. *Practical NIR Spectroscopy with Application in Food and Beverage Analysis*. Singapore: Longman Singapore Publishers (Pte) Ltd.
- Saranwong S, Sornsrivichai J, and Kawano S. 2004. *Prediction of Ripe-Stage Eating Quality Of Mango Fruit From Its Harvest Quality Measured Nondestructively by Near Infrared Spectroscopy*. Postharvest Biology and Technology. 31(1): 137-145. doi:10.1016/j.postharvbio.2003.08.007.
- William PC and Sobering DC. 1993. *Comparison of Commercial Near Infrared Transmittance and Reflectance Instruments for Analysis of Whole Grain and Seeds*. Journal Near Infrared Spectrosc. 1: 25-32.
- Yanto A. 2007. *Karakterisasi optik buah pisang lampung selama pematangan dengan metode reflektansi VIS/NIR*. (Skripsi). Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB. Bogor.