

## **PREDIKSI KANDUNGAN BAHAN KERING, PROTEIN KASAR DAN SERAT KASAR PADA KULIT KOPI (*Coffea Sp.*) SEBAGAI PAKAN TERNAK DENGAN MENGGUNAKAN METODE NEAR INFRARED REFLECTANCE SPECTROSCOPY (NIRS)**

**Andika Boy Yuliansyah, Sitti Wajizah, dan Samadi**

<sup>1</sup>Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala

\*Corresponding Author Email: samadi177@unsyiah.ac.id

**Abstrak.** Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi akurasi metode analisis pakan dengan metode (*Near Infrared Reflectance Spectroscopy*) NIRS dalam memprediksi kandungan nutrisi limbah kulit kopi serta mengetahui panjang gelombangnya. Penelitian ini menggunakan 30 sampel limbah kulit kopi. Spektrum diukur dengan menggunakan FT-IR IPTEK T-1516 pada rentang *wavelength* 1000-2500 nm dan dianalisis dengan menggunakan *software The Unscrambler X version 10.4*. *Pretreatment* yang digunakan yaitu *Multiplicative scatter analysis* (MSC) dan *DeTrending* (DT) dengan metode regresi *Principal Component Regression* (PCR). Parameter nutrisi yang dianalisis yaitu bahan kering (BK), protein kasar (PK) dan serat kasar (SK). Hasil penelitian menunjukkan bahwa NIRS dengan model yang telah dibangun tidak dapat memprediksi BK dengan baik. Hal ini ditunjukkan dengan nilai  $r$ ,  $R^2$  dan RPD yang rendah (0.58, 0.34 dan 3.06) serta RMSEC yang tinggi (3.06). Metode NIRS dapat memprediksi kandungan PK dan SK dengan baik pada penggunaan *pretreatment* MSC (PK=  $r$ : 0.87,  $R^2$ : 0.76, RMSEC: 0.45 dan RPD: 2.07; SK=  $r$ : 0.87,  $R^2$ : 0.75, RMSEC: 2.83 dan RPD: 2.03). Prediksi kasar untuk PK dan SK didapatkan dengan menggunakan *pretreatment* DT (PK=  $r$ : 0.75,  $R^2$ : 0.57, RMSEC: 0.60 dan RPD: 1.55; SK=  $r$ : 0.84,  $R^2$ : 0.71, RMSEC: 3.06 dan RPD: 1.88).

**Kata kunci:** *near infrared*, kulit kopi, MSC, DT, PCR

### **PENDAHULUAN**

Dalam usaha peternakan, pakan merupakan salah satu faktor terpenting yang harus diperhatikan. Sekitar 70% dari total biaya produksi digunakan sebagai biaya pakan. Salah satu upaya untuk menekan biaya produksi adalah dengan memanfaatkan limbah dari sektor pertanian dan industri pertanian. Selain menekan biaya produksi, pemanfaatan limbah sebagai pakan juga dapat menjaga keberlangsungan pakan dan mengatasi masalah limbah dari bidang pertanian itu sendiri. Indonesia merupakan salah satu negara penghasil biji kopi terbesar di dunia dan Aceh sebagai salah satu kontributor terbesar dalam produksi biji kopi Indonesia. Berdasarkan data statistik (Direktorat Jendral Perkebunan, 2015), produksi biji kopi di Indonesia mencapai 639.412 ton dengan hasil samping berupa kulit kopi sebanyak 287.735 ton. Pemanfaatan limbah kulit kopi sebagai pakan ternak merupakan salah satu langkah yang baik dalam menangani masalah limbah pertanian dan keberlangsungan pakan ternak. Karena kandungan gizi yang tergolong rendah dengan lignin, tanin dan kafein yang tinggi, maka perlu dilakukan pengolahan untuk memperbaiki kualitas kulit kopi (Murthy dan Naidu, 2012).

Mengetahui kandungan nutrisi setiap bahan pakan merupakan langkah awal dalam penyusunan ransum. Analisis yang umum digunakan dalam menentukan kandungan nutrisi bahan pakan adalah analisis secara kimia atau yang lebih dikenal dengan nama analisis proksimat. Analisis ini dikembangkan di Weende Experiment Station, Jerman pada pertengahan abad 19 oleh Henneberg and Stohmann. Analisis ini digunakan untuk mengetahui kadar air, protein kasar (PK), lemak kasar (LK), serat kasar (SK), bahan ekstrak tanpa nitrogen (BETN) dan abu (Greenfield *et al.*, 1996). Pada umumnya, analisis proksimat melalui proses yang cukup rumit dan penggunaan bahan-bahan kimia yang menyebabkan tidak efisien untuk digunakan dalam industri peternakan. Selain itu, beberapa parameter uji dalam analisis proksimat menggunakan bahan kimia yang tergolong korosif dan alat yang

berbahaya, sehingga dibutuhkan tenaga ahli yang terlatih untuk melakukannya. Penting adanya metode alternatif yang dapat memberikan metode yang lebih cepat dan efisien dalam analisis bahan pakan.

Metode pantulan infra merah dekat atau *Near Infrared Reflectance Spectroscopy* (NIRS) merupakan salah satu metode alternatif dalam analisis bahan pakan yang potensial karena memiliki kemampuan menganalisis dengan cepat dan dengan persiapan yang mudah. Berbeda dengan analisis proksimat atau metode kimia lainnya, analisis dengan teknologi NIRS dilakukan tanpa merusak produk (*non-destructive*), dapat menganalisis dengan cepat, persiapan preparat yang sederhana dan tanpa menggunakan bahan kimia (Andrianyta, 2006; Burns dan Ciurczak, 2009). Dalam perindustrian, pengawasan kualitas dan keamanan produk sangat penting, sehingga untuk mengawasi kualitas produk perlu dilakukan pendugaan kualitas produk dengan cepat seperti menggunakan metode analisis NIRS. Selain itu, proses grading juga dapat dilakukan dengan cepat, menggunakan metode ini (Cen dan He, 2007).

Dalam penggunaannya, kalibrasi dan validasi harus dilakukan ditahap awal sebelum spektrum NIRS dapat digunakan secara terus menerus. Kalibrasi ini dilakukan dengan membandingkan hasil prediksi NIRS dengan data hasil analisis secara kimia. Kurangnya penelitian mengenai metode ini, terutama dalam bidang pakan, menyebabkan minimnya data mengenai karakteristik spektrum *near infrared reflectance* (NIR) dan rentang panjang gelombang optimum yang relevan dengan nutrisi pada bahan pakan ternak. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis terhadap limbah kulit kopi dengan metode NIRS yang dibandingkan (kalibrasi dan validasi) dengan data hasil analisis proksimat untuk mengukur dan mengevaluasi akurasi penggunaan metode NIRS pada limbah pakan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi akurasi NIRS dalam menganalisis kandungan nutrisi limbah kulit kopi dan mengetahui karakteristik spektrumnya.

## MATERI DAN METODE

**Tempat dan Waktu.** Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Program Studi Peternakan Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala, Darussalam, Banda Aceh. Analisis secara kimia untuk parameter protein kasar (PK) dan serat kasar (SK) dilakukan di Balai Penjaminan Mutu dan Sertifikasi Pakan (BPMSP) Bekasi. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus sampai dengan September 2017.

**Bahan, dan Alat Penelitian.** Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Fourier Transform InfraRed* (FT-IR) IPTEK T-1516 dan software The Unscrambler X version 10.4. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 30 sampel limbah kulit kopi yang dikelompokkan berdasarkan spesies kopi, yaitu kopi arabika (*Coffea arabica*) dan kopi robusta (*Coffea canephora*).

**Analisis Secara kimia (*Wet Chemistry*).** Analisis kimia ditujukan untuk membandingkan antara data hasil analisis kimia dan metode NIRS. Data hasil analisis secara kimia digunakan pada tahap kalibrasi dan validasi. Pada metode NIRS, analisis secara kimia hanya dilakukan sekali, diawal analisis untuk setiap jenis sampel. Selanjutnya, untuk jenis sampel yang sama dapat langsung dianalisis dengan menggunakan NIRS tanpa harus dianalisis kembali secara kimia. Ada 3 parameter nutrisi yang dianalisis, yaitu bahan kering (BK), serat kasar (SK) dan protein kasar (PK).

## ANALISIS DENGAN TEKNOLOGI NIRS

**Akuisisi Spektrum.** Spektrum inframerah dekat untuk sampel limbah kopi didapatkan dengan menggunakan instrumen NIR (FT-IR), dengan konfigurasi alur kerja alat (*workflow*) dibangun dengan menggunakan perangkat lunak terintegrasi. *Workflow* dibuat untuk

mengatur alat agar bekerja untuk mengakuisisi spektrum *diffuse reflectance* sampel sebanyak 32 kali, merata-ratakan hasilnya dan menyimpan hasil scanning. Rentang panjang gelombang yang digunakan dalam proses pengukuran spektrum NIR ini adalah 1000 - 2500 nm dengan interval sekitar 0.02 nm.

**Analisis Data Spektrum.** Analisis data spektrum yang dilakukan meliputi: (1) *outlier removal*. Data spektrum awal diinspeksi dengan memproyeksikan data spektrum dengan *metode principal component analysis* (PCA). Metode *Hotelling T<sup>2</sup> ellipse* kemudian diterapkan pada data spektrum hasil proyeksi PCA. Jika ada data diluar ellipse, maka data tersebut ditandai sebagai outlier dan diremove (Cozzolino *et al.*, 2011). (2) Koreksi dan perbaikan data spektrum (*pretreatment*). Analisis ini dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan 'noise' pada spektrum akibat interferensi dan pembauran (*scattering*) cahaya. Metode yang digunakan dalam prosedur ini adalah *multiplicative scatter correction* (MSC) dan *DeTrending* (DT).

**Model Prediksi Kadar Nutrisi Limbah Kopi.** Kadar utama nutrisi limbah kopi diprediksi dengan cara membangun model persamaan matematik berdasarkan data sifat elektro-optik limbah kulit kopi (variabel X) dan data kadar kualitas limbah kulit kopi hasil pengukuran di laboratorium (variabel Y). Model prediksi dibangun dengan menggunakan metode: *principal component regression* (PCR).

**Validasi dan Evaluasi Model.** Model yang telah dibangun dapat digunakan untuk memprediksi kandungan nutrisi dengan menggunakan data spektrum NIR. Keakuratan model dalam memprediksi divalidasi dan dievaluasi dengan metode validasi silang (*cross validation*). Evaluasi keakuratan dan kehandalan model dievaluasi dengan melihat parameter statistik yang meliputi; koefisien korelasi (r), koefisien determinasi (R<sup>2</sup>), *root mean square error* (RMSE), *residual predictive deviation index* (RPD), dan jumlah *latent variable* (LV).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

**Analisis Secara Kimia.** Limbah kulit kopi dianalisis dengan 2 metode, yaitu metode kimia dan metode NIRS. Rangkuman data hasil analisis kimia dapat dilihat pada Tabel 1. Standar deviasi (SD) menggambarkan tingkat keragaman data dalam sebuah populasi. Dari hasil analisis secara kimia, standar deviasi terkecil terdapat pada PK dan yang tertinggi pada SK. Hal ini menunjukkan bahwa data PK memiliki data yang hampir seragam sedangkan untuk PK dan SK memiliki data yang lebih bervariasi.

Tabel 1. Rangkuman Data SK, PK dan BK Hasil Analisis secara Kimia

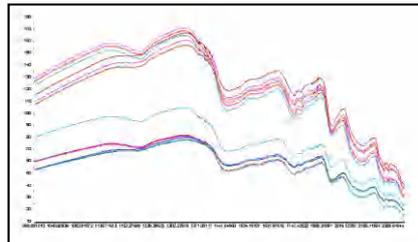
| Parameter | Minimum | Maksimum | Rataan | Standar deviasi |
|-----------|---------|----------|--------|-----------------|
| BK        | 68.90   | 90.50    | 88.12  | 3.82            |
| PK        | 9.31    | 14.53    | 11.43  | 0.93            |
| SK        | 15.08   | 30.56    | 23.00  | 5.75            |

**Analisis Data Spektrum.** Akuisisi spektra dilakukan pada rentang panjang gelombang 1000-2500 nm dengan interval 0.02 nm. Akuisisi dilakukan pada 30 sampel limbah kulit kopi. Pemotongan Panjang gelombang dibawah 1000 nm dilakukan karena pada rentang tersebut cenderung tidak memberikan informasi yang dibutuhkan. Spektrum awal limbah kulit kopi (*raw spectrum*) dapat dilihat pada Gambar 1.

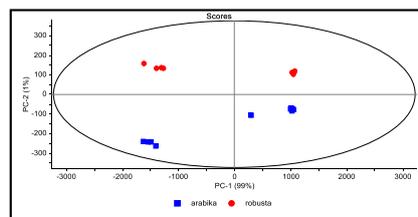
Pada panjang gelombang 1000-2500 nm dapat dilihat pada spektrum membentuk beberapa puncak. Puncak-puncak ini memiliki karakteristik masing-masing yang menggambarkan setiap kandungan nutrisi kimia yang terdapat didalam limbah kulit kopi.

Selain itu, spektrum juga tampak tidak saling tumpang tindih yang menggambarkan bahwa setiap sampel limbah kulit kopi memiliki kandungan kimia yang bervariasi.

Projeksi data spektrum dengan menggunakan PCA bertujuan untuk menginspeksi data spektrum awal (Gambar 2). Hasil menunjukkan setelah diterapkan metode *Hottelling T<sup>2</sup> ellipse*, tidak terdapat data *outlier* (data diluar *ellipse*) pada spektrum awal. Hal ini menunjukkan bahwa tidak perlu dilakukan *outlier removal* pada spektrum. Selain itu, proyeksi spektrum oleh PCA juga menunjukkan kemampuan PCA yang dikombinasikan dengan metode NIRS dalam memisahkan jenis limbah kulit kopi berdasarkan spesiesnya. Menurut (Cen dan He, 2007), PCA yang dikombinasikan dengan NIRS juga memiliki kemampuan dalam mencirikan dan mengklasifikasikan wine, buah-buahan, keju dan jenis bahan pangan lainnya.

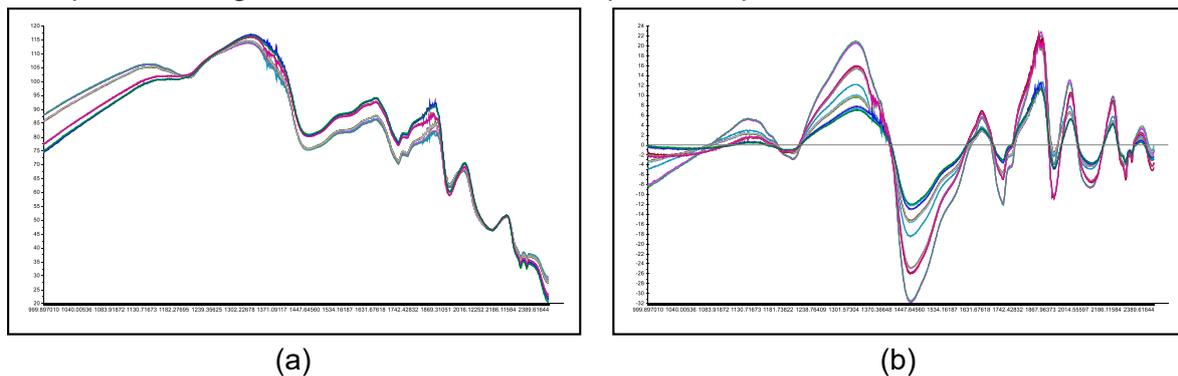


Gambar 1. Raw Spectrum Limbah Kulit Kopi



Gambar 2. Proyeksi Spektrum Awal dengan Menggunakan PCA

*Pretreatment* spektrum dilakukan untuk menghilangkan “noise” pada spektrum. Metode MSC dan DT digunakan pada spektrum awal limbah kulit kopi. Spektrum yang telah dikoreksi dan diperbaiki dengan metode MSC dan DT dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. (a) Spektrum limbah kulit kopi + MSC, (b) Spektrum limbah kulit kopi + DT

Terlihat jelas perbedaan spektrum yang telah dilakukan *pretreatment* dengan non *pretreatment*. Pada metode MSC, spektrum tampak lebih mendekati ke tengah atau rata-rata spektrum. Metode MSC dikembangkan untuk mengurangi penyebaran cahaya pada spektrum *diffuse reflectance* dan *transmission* sehingga spektrum akan lebih rapat ke tengah atau ke nilai rata-rata spektrum (berhimpit). Pada prinsipnya, metode MSC mereduksi spektrum sesuai rata-rata penyebaran data. Metode *Detrending* (DT) diterapkan untuk menghilangkan *trend nonlinear* dalam data. Seperti pada *pretreatment* lainnya, hal ini dilakukan untuk mengurangi pengaruh interferensi gelombang *noise*, sehingga spektrum menjadi lebih halus.

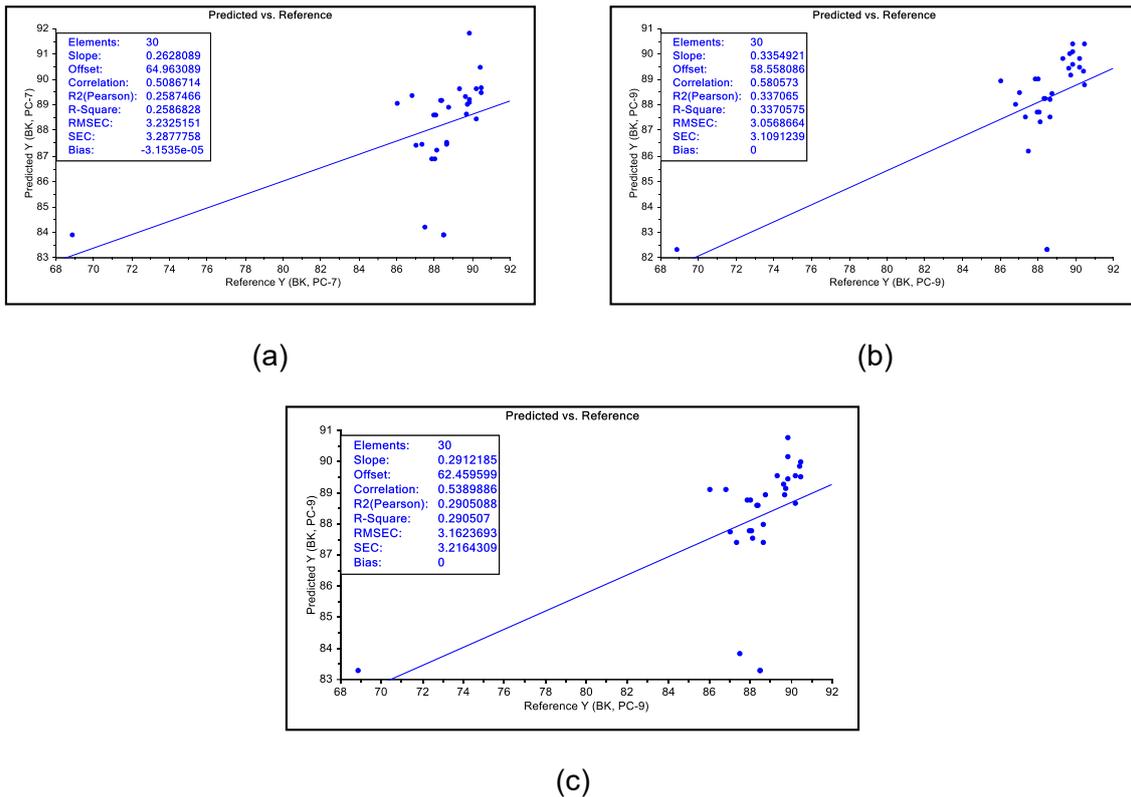
### **MODEL KALIBRASI, VALIDASI DAN EVALUASI MODEL PREDIKSI**

**Bahan Kering.** Tabel 2 menunjukkan nilai-nilai parameter statistik dari setiap perlakuan yang diterapkan pada spektrum *diffuse reflectance* untuk parameter BK. Pada parameter BK memiliki hasil evaluasi yang buruk. Hal ini dapat diketahui dari nilai setiap parameter statistik yang rendah (Gambar 4 dan Tabel 2). Nilai RPD yang masih dibawah 1,5 menyatakan prediksi yang salah dan model prediksi tersebut tidak dapat digunakan untuk prediksi selanjutnya (Karoui *et al.*, 2006). Selain itu nilai r dan R<sup>2</sup> masih tergolong rendah. Menurut William dan Norris (1990) nilai r dapat dikatakan baik apabila lebih dari 0,90. Nilai R<sup>2</sup> yang dapat diperhitungkan, apabila berkisar antara 0,50-0,65. Nilai RMSEC yang didapatkan juga tergolong tinggi. Nilai RMSEC yang tinggi dipengaruhi oleh nilai SD sampel hasil analisis kimia yang juga tinggi, walaupun nilai RMSEC masih dibawah nilai SD. Karena menurut William dan Norris (1990) nilai *error* yang lebih kecil dari SD data aktual (analisis kimia) sudah baik. Pada parameter BK, spektrum *non-pretreatment* tidak bisa digunakan untuk prediksi selanjutnya, karena nilai RPD yang masih dibawah 1,5. Namun setelah diterapkan *pretreatment* terjadi kenaikan yang signifikan.

**Protein Kasar.** Tabel 3 menunjukkan nilai-nilai parameter statistik dari setiap perlakuan yang diterapkan pada spektrum *diffuse reflectance* untuk parameter PK (Gambar 5). Untuk prediksi *pretreatment* DT model prediksi masih dapat dikatakan kasar dengan nilai 1,55. Sedangkan untuk *pretreatment* MSC menunjukkan model prediksi yang cukup baik dengan nilai 2,07. Hal ini sesuai dengan pernyataan Nicolaï *et al.* (2007) dan Rosita (2016) yang menyatakan bahwa nilai RPD antara 1,5-1,9 menunjukkan prediksi masih kasar dan masih perlu perbaikan pada kalibrasi. Nilai RPD antara 2-2,5 menunjukkan model prediksi yang cukup baik. Sedangkan nilai RPD antara 2,5-3 atau lebih menunjukkan akurasi model prediksi yang baik dan sangat baik.

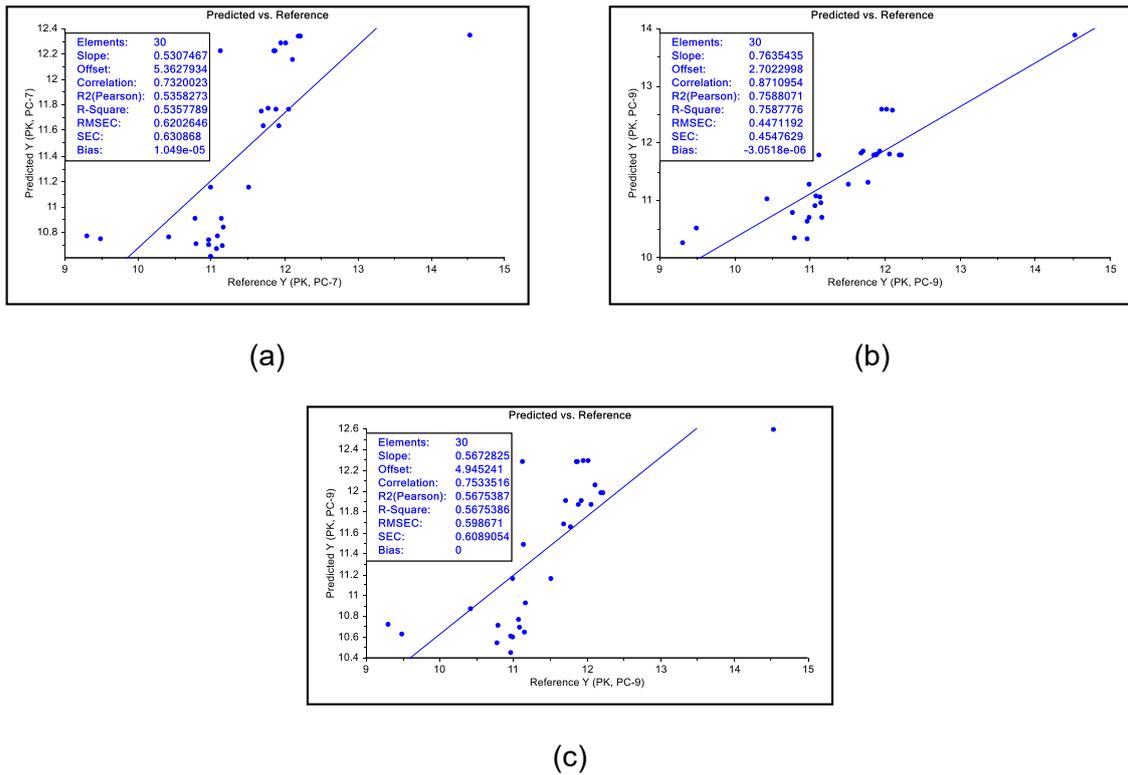
Tabel 2. Hasil Kalibrasi dan Validasi Silang (*cross validation*) Kadar BK Limbah Kulit Kopi

| Perlakuan               | <i>Latent variable</i> | R    | R <sup>2</sup> | RMSEC (%) | RPD  |
|-------------------------|------------------------|------|----------------|-----------|------|
| <i>Non-pretreatment</i> | 7                      | 0.51 | 0.26           | 3.23      | 1.18 |
| MSC                     | 9                      | 0.58 | 0.34           | 3.06      | 1.25 |
| DT                      | 9                      | 0.54 | 0.29           | 3.16      | 1.21 |



Gambar 4. Plot Data Kalibrasi BK, (a) *raw spectrum* + PCR, (b) MSC + PCR, (c) DT + PCR

Nilai  $r$  terbaik didapatkan pada *pretreatment* MSC dengan nilai 0,87. Nilai  $R^2$  pada *pretreatment* MSC juga menunjukkan bahwa model dapat memprediksi kuantitatif secara kasar. Nilai  $R^2$  yang berkisar antara 0.66-0.81 mengindikasikan bahwa model prediksi dapat memperkirakan nilai kuantitatif (Karoui *et al.*, 2006). Nilai RSMEC yang didapatkan tergolong rendah karena nilai SD data analisis kimia juga rendah. Hal ini menunjukkan bahwa data untuk PK tergolong hampir seragam. Nilai RSMEC terendah terdapat pada *pretreatment* MSC dengan nilai 0,45. **Serat Kasar**. Tabel 4 menunjukkan nilai-nilai parameter statistik dari setiap perlakuan yang diterapkan pada spektrum *diffuse reflectance* untuk parameter SK (Gambar 6). Pada parameter serat semua spektrum dapat memiliki nilai RPD lebih dari 1,5 yang berarti model prediksi dapat digunakan untuk memprediksi secara kasar. Namun untuk *pretreatment* MSC memiliki nilai RPD 2,03 yang menunjukkan bahwa model prediksi yang dibangun sudah dapat memprediksi dengan cukup baik sesuai dengan referensi sebelumnya (Nicolai *et al.*, 2007 dan Rosita, 2016).

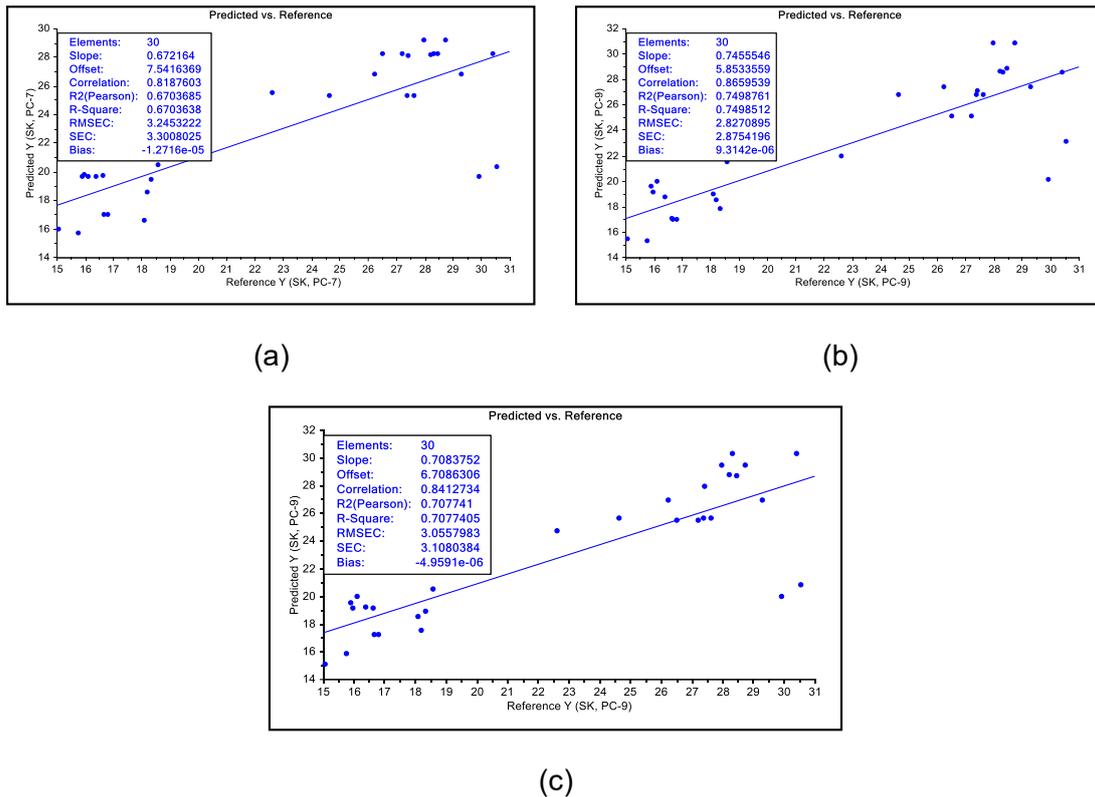


Gambar 5. Plot Data Kalibrasi PK, (a) *raw spectrum* + PCR, (b) MSC + PCR, (c) DT + PCR

Tabel 3. Hasil Kalibrasi dan Validasi Silang (*cross validation*) Kadar PK Limbah Kulit Kopi

| Perlakuan               | Latent variable | R    | R <sup>2</sup> | RMSEC (%) | RPD  |
|-------------------------|-----------------|------|----------------|-----------|------|
| <i>Non-pretreatment</i> | 7               | 0.51 | 0.26           | 3.23      | 1.18 |
| MSC                     | 9               | 0.58 | 0.34           | 3.06      | 1.25 |
| DT                      | 9               | 0.54 | 0.29           | 3.16      | 1.21 |

Nilai r untuk parameter SK merupakan nilai r terbaik bila dibandingkan dengan parameter BK dan PK dengan nilai >0,82. Nilai R2 pada *pretreatment* MSC juga menunjukkan bahwa model dapat memprediksi kuantitatif secara kasar. Nilai R2 yang berkisar antara 0.66-0.81 mengindikasikan bahwa model prediksi dapat memperkirakan nilai kuantitatif (Karoui *et al.*, 2006). Nilai RSMEC yang didapatkan cukup tinggi karena nilai SD data analisis kimia juga tinggi. Nilai RSMEC terendah terdapat pada *pretreatment* MSC dengan nilai 0,45.



Gambar 6. Plot Data Kalibrasi SK (a) *raw spectrum* + PCR, (b) MSC + PCR, (c) DT + PCR

Tabel 5. Hasil Kalibrasi dan Validasi Silang (*cross validation*) Kadar PK Limbah Kulit Kopi

| Perlakuan               | Latent variable | r    | R <sup>2</sup> | RMSEC (%) | RPD  |
|-------------------------|-----------------|------|----------------|-----------|------|
| <i>Non-pretreatment</i> | 7               | 0.82 | 0.67           | 3.25      | 1.77 |
| MSC                     | 9               | 0.87 | 0.75           | 2.83      | 2.03 |
| DT                      | 9               | 0.84 | 0.71           | 3.06      | 1.88 |

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa metode NIRS menggunakan PCR dengan *pretreatment* MSC dapat digunakan untuk memprediksi kandungan PK dan SK. Sedangkan untuk model prediksi yang menggunakan *pretreatment* DT hanya dapat memprediksi secara kasar. Namun, metode NIRS dengan model prediksi yang sudah dibangun tidak dapat memprediksi BK. *Pretreatment* terbaik didapatkan pada MSC karena mampu meningkatkan nilai r, R<sup>2</sup> dan RPD serta menurunkan *error* sehingga menghasilkan evaluasi yang baik.

Disarankan penggunaan metode *pretreatment* spektrum lain atau dengan menggabungkan 2 metode *pretreatment* untuk meningkatkan akurasi prediksi NIRS. Penggunaan metode regresi lain (seperti PLS) dan sampel yang lebih banyak juga sangat disarankan untuk meningkatkan akurasi prediksi.

## DAFTAR PUSTAKA

Andrianyta, H. 2006. Penentuan komposisi kimia jagung secara nondestruktif dengan metode near infrared reflectance (NIR) dan jaringan saraf tiruan. Tesis. Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.

- Burns, D. A., dan Ciurczak, E. W. 2009. Handbook of Near-infrared Analysis, 3rd ed. Analytical and Bioanalytical Chemistry. Florida (USA): CRC Press
- Cen, H., dan Y. He. 2007. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. *Trends in Food Science and Technology*. 18(2), 72–83.
- Cozzolino, D., W.U. Cynkar, N. Shah, dan P. Smith. 2011. Multivariate data analysis applied to spectroscopy: Potential application to juice and fruit quality. *Food Research International*, 44(7), 1888–1896.
- Direktorat Jendral Perkebunan. 2016. Statistik Perkebunan Indonesia 2015-2017 (Kopi). Jakarta
- Greenfield, H. dan D. A. T. Southgate. 1996. Food composition data. Production, management and use. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (2003)*, 57(1), 183.
- Karoui, R., A. M. Mouazen, É. Dufour, L. Pillonel, E. Schaller, J. De Baerdemaeker dan J. O. Bosset. 2006. Chemical characterisation of European Emmental cheeses by near infrared spectroscopy using chemometric tools. *International Dairy Journal*, 16(10), 1211–1217.
- Murthy, P. S., & M. M. Naidu. 2012. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition - A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 66, 45–58.
- Nicolaï, B. M., K. Beullens, E. Bobelyn, A. Peirs, W. Saeys, K. I. Theron dan J. Lammertyn. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 46(2), 99–118.
- Rosita, R. 2016. Penentuan kandungan kimia biji kopi arabika gayo secara non destruktif dengan near infrared spectroscopy. Tesis. Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- William P. dan K. Norris. 1990. Near Infrared Technology in the Agriculture and Food industries. Edisi ke-2. Minnesota (USA): American Association of Cereal Chemists Inc.