

AKUISISI SPEKTRUM NEAR INFRARED REFLECTANCE PADA BIJI KAKAO

NEAR INFRARED REFLECTANCE SPECTRA ACQUISITION OF COCOA BEANS

*Zulfahrizal¹⁾, Sutrisno²⁾, I Wayan Budiastara²⁾, Kudang B. Seminar²⁾, dan Agus A. Munawar³⁾

¹⁾ Ilmu Keteknikan Pertanian, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor
Jalan Kamper, Wing 4 Level 5 Kampus IPB Darmaga, Bogor Indonesia 16680

*zoelfs@yahoo.com

²⁾ Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian,
Institut Pertanian Bogor

Jalan Kamper, Wing 4 Level 5 Kampus IPB Darmaga, Bogor Indonesia 16680

³⁾ Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, UNSYIAH

Jalan Tengku Hasan Krueng Kalee No. 3 Kopelma Darussalam, Aceh Indonesia 2311

(Tanggal diterima: 22 Desember 2012, direvisi: 24 Januari 2013, disetujui terbit: 26 Februari 2013)

ABSTRAK

Akuisisi spektrum *Near Infrared Reflectance Spectroscopy* (NIRS) untuk produk olahan kakao telah banyak dilakukan dalam berbagai penelitian namun untuk biji kakao utuh masih belum dilakukan. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengembangkan teknik akuisisi spektrum NIRS untuk mendeteksi tingkat fermentasi biji kakao dan menentukan selang panjang gelombang yang mengandung informasi kualitas biji kakao secara nondestruktif. Penelitian ini dilakukan di Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jember-Indonesia dan *Georg August University of Göttingen* di Göttingen-Jerman pada Juli 2012 sampai Februari 2013. Penelitian menggunakan *Multiplicative Scatter Correction* (MSC) dan *Standard Normal Variate* (SNV), *Savitzky-Golay smoothing* (SGs) dan *derivative* pertama (D1), *derivative* kedua (D2) sebagai metode koreksi spektrum dan *Principal Component Analysis* (PCA) sebagai metode pengolahan data spektrum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa akuisisi spektrum NIRS pada biji kakao tumpukan mampu menggantikan akuisisi NIRS pada biji kakao individu. NIRS juga diketahui mampu membedakan tingkat fermentasi pada biji dan bubuk kakao. Melalui studi ini ditemukan juga selang panjang gelombang yang dapat mengidentifikasi kualitas kakao sehingga dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya dalam pengembangan model identifikasi kualitas kakao.

Kata Kunci: Biji kakao, NIRS, metode nondestruktif

ABSTRACT

Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) spectra acquisition for processed cocoa products has been widely applied in various studies. The application of this method for whole intact cocoa beans is however scarce. The objectives of this research were to develop a spectral acquisition technique of NIRS to detect fermentation level of cocoa beans and determine the wavelength range interval containing cocoa bean quality information nondestructively. This research was performed in Indonesian Coffee and Cocoa Research Institute, Jember-Indonesia for fermentation treatment and Georg-August University of Göttingen, Germany for spectra acquisition. These were conducted from July 2012 to February 2013. Multiplicative Scatter Correction (MSC), Standard Normal variate (SNV), Savitzky-Golay Smoothing (SGS) and spectra transformation into its first and second derivative (D1 and D2 respectively) were used as spectral pre-processing method whilst principal component analysis (PCA) was applied as a method of data processing. The results showed that NIRS spectrum acquisition on bulk of cocoa beans could replace NIRS acquisition on the individual beans. NIRS is able to distinguish the fermentation stages both in cocoa beans and cocoa powder. The study also found several NIR wavelength range interval associated with cocoa quality so that it can be used for further studies to develop cocoa quality attributes prediction models.

Keywords: Cocoa beans, NIRS, nondestructive method

PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai negara pengekspor biji kakao ketiga dunia. Biji kakao sebagai bahan baku cokelat merupakan salah satu komoditi perkebunan yang strategis. Ekspor biji kakao Indonesia tidak memiliki daya saing karena produk biji kakao Indonesia dikenal hanya menjadi bahan campuran di negara-negara industri kakao, padahal 82% ekspor kakao Indonesia adalah dalam bentuk biji. Namun biji kakao Indonesia sebenarnya masih dapat dikembangkan jika kualitas pemutuan biji kakao dapat ditingkatkan sesuai permintaan negara-negara tujuan ekspor kakao seperti ASEAN, USA, Uni Eropa dan China (Hasibuan *et al.*, 2012).

Kalangan industri menilai mutu biji kakao tergantung tiga aspek, yaitu: (1) rendemen lemak, (2) kemurnian dan kontaminasi, dan (3) aroma dan citarasa. Aspek pertama selain ditentukan oleh bahan tanaman juga oleh kondisi lingkungan kebun (kesuburan dan agroklimat), sedangkan aspek kedua dan ketiga lebih banyak dipengaruhi oleh faktor-faktor pengolahan (Mulato *et al.*, 2009). Oleh karena itu metode penentuan mutu secara cepat dan tepat diperlukan untuk menghasilkan komoditas kakao standar kualitas tinggi yang disyaratkan negara konsumen.

Salah satu metode yang saat ini sedang berkembang dan digunakan untuk mendeteksi kualitas suatu produk pertanian adalah metode pantulan infra merah dekat atau *Near Infrared Reflectance Spectroscopy* (NIRS). Metode ini dapat menganalisis kualitas produk pertanian dengan waktu yang sangat cepat dan dilakukan secara nondestruktif atau tanpa merusak buah bahkan tanpa menyentuh produk tersebut.

Penelitian yang terkait dengan penggunaan NIRS pada produk kakao sebagian besar adalah pada produk olahan kakao dan sebagian yang lain pada kakao mentah tapi dalam bentuk biji yang telah dihancurkan menjadi bubuk. Penelitian terkait penentuan tingkat fermentasi dilakukan oleh Aculey *et al.* (2010) pada biji kakao yang dibubukkan. Begitu juga penelitian oleh Whitacre (2003) kakao *liquors* mentah dan panggang untuk melihat perbedaan genotipe dan tingkat fermentasi dengan menganalisis kandungan *procyanidin*, sedangkan penelitian terkait kandungan mutu kakao misalnya Kaffka *et al.* (1982), Permanyer dan Perez

(1989), dan Vesela *et al.* (2007). Penelitian tersebut bertujuan menguji kadar air, kadar lemak, kadar protein, kadar karbohidrat, kadar nitrogen, dan kadar sukrosa pada bubuk kakao. Selanjutnya Moros *et al.* (2007) melakukan penelitian pada cokelat komersial untuk menguji kadar karbohidrat, kadar lemak dan kadar protein. Cambrai *et al.* (2009) membuat penelitian pada *dark chocolates* untuk mengelompokkan asal kakao dengan menganalisis senyawa volatile kakao. Sementara Davies *et al.* (1991) mencoba untuk membandingkan spektrum mulai dari bubuk biji kakao mentah, bubuk biji sangrai, mass cokelat dan cokelat jadi. Sehingga bisa dikatakan bahwa penelitian terkait langsung pada biji kakao utuh menjadi menarik mengingat 82% ekspor Indonesia adalah dalam bentuk biji utuh.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengembangkan teknik akuisisi spektrum *Near Infrared Reflectance Spectroscopy* (NIRS) untuk mendeteksi tingkat fermentasi biji kakao dan menemukan selang panjang gelombang yang mengandung informasi kualitas biji kakao secara nondestruktif.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian dimulai pada bulan Juli 2012 dan berakhir pada bulan Februari 2013. Penelitian dilaksanakan di dua tempat, yaitu pengambilan sampel dan perlakuan awal sampel dilakukan di Pusat Penelitian Kopi dan Kakao, Jember. Selanjutnya pengambilan spektrum biji kakao dilakukan di *Abteilung Qualität Tierischer Erzeugnisse* (Kualitas Hasil Ternak) dan *Abteilung Qualität Pflanzlicher Erzeugnisse* (Kualitas Hasil Tanaman). Kedua laboratorium ini di *Georg August University of Göttingen* di Kota Göttingen, Jerman.

Sampel Kakao

Biji kakao diberi 7 (tujuh) macam perlakuan pada tingkat fermentasi yakni non fermentasi, fermentasi 1 hari, fermentasi 2 hari, fermentasi 3 hari, fermentasi 4 hari, fermentasi 5 hari dan fermentasi 7 hari. Perlakuan fermentasi menurut ketentuan :

- a) Bahan baku berupa buah kakao matang jenis kakao Lindak yang merupakan hasil panen dari kebun yang sama.
- b) Proses fermentasi dilakukan dalam peti kayu dangkal ukuran 40 cm x 40 cm x 50 cm.
- c) Contoh biji untuk tiap fermentasi diambil dari proses fermentasi, dimulai pada hari yang sama dalam wadah berbeda untuk tiap perlakuan fermentasi.
- d) Pengeringan dilakukan dengan menggunakan pengering mekanis sampai diperoleh biji kering standar SNI yakni 6-7%.

Setting Alat NIRS

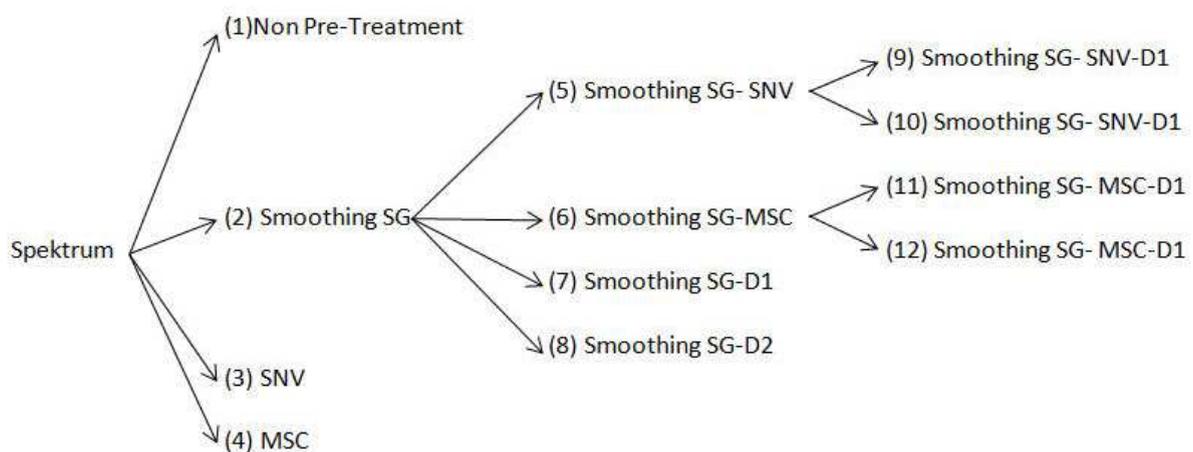
Alat NIRS yang dipakai adalah *AntarisTM II Method Development Sampling (MDS)*. Kalibrasi *background/reference* dilakukan tiap jam. Proses bekerjanya alat menggunakan *integrating sphere*. Pengendalian kerja alat untuk pembuatan *workflow* dan menjalankan *workflow* menggunakan *software termo integration[®]* dan untuk *running* alat dilakukan oleh *termo operation[®]*. Selang panjang gelombang yang dipakai adalah 1000-2500 nm dengan interval 0.4 nm. *Workflow* dibuat untuk mengatur alat agar bekerja mengakuisisi spektrum absorban, memindai sampel sebanyak 64 kali lalu meratakan hasilnya, menyimpan hasil pemindaian dalam 3 bentuk file yakni *.SPA, *.JDX, dan *.CSV.

Akuisisi Spektrum Absorban

Akuisisi spektrum biji kakao akan dilakukan dalam dua bentuk yakni dalam bentuk biji utuh dan dalam bentuk biji yang dibubukkan. Dalam bentuk biji utuh akan dilakukan dalam dua cara yakni biji secara individu dan biji secara tumpukan. Untuk biji kakao individu, pengambilan spektrumnya dengan cara biji diletak langsung pada lubang cahaya (diameter 1 cm). Untuk itu perlu dipilih biji yang sesuai agar hasilnya baik. Biji dalam bentuk *bulk* (tumpukan) dan bubuk, pengambilan spektrumnya dengan cara memasukkan biji atau bubuk ke dalam cawan petri yang tersedia lalu cawan petri diatur berputar 360 derajat selama proses pemindaian sampel.

Metode Pengolahan Spektrum

Pengolahan data spektrum menggunakan *Unscrambler software[®] X version 10.1*, sedangkan untuk koreksi data spektrum menggunakan *Multiplicative Scatter Correction (MSC)* dan *Standard Normal Variate (SNV)*, *Savitzky-Golay smoothing (SGs)* dan *derivative pertama (D1)*, *derivative kedua (D2)* serta mengkombinasikannya sehingga menjadi 12 kombinasi pilihan (Gambar 1). Pengolahan data spektrum menggunakan *Principal Component Analysis (PCA)*.



Gambar 1. Metode koreksi spektrum
Figure 1. Spectrum correction method

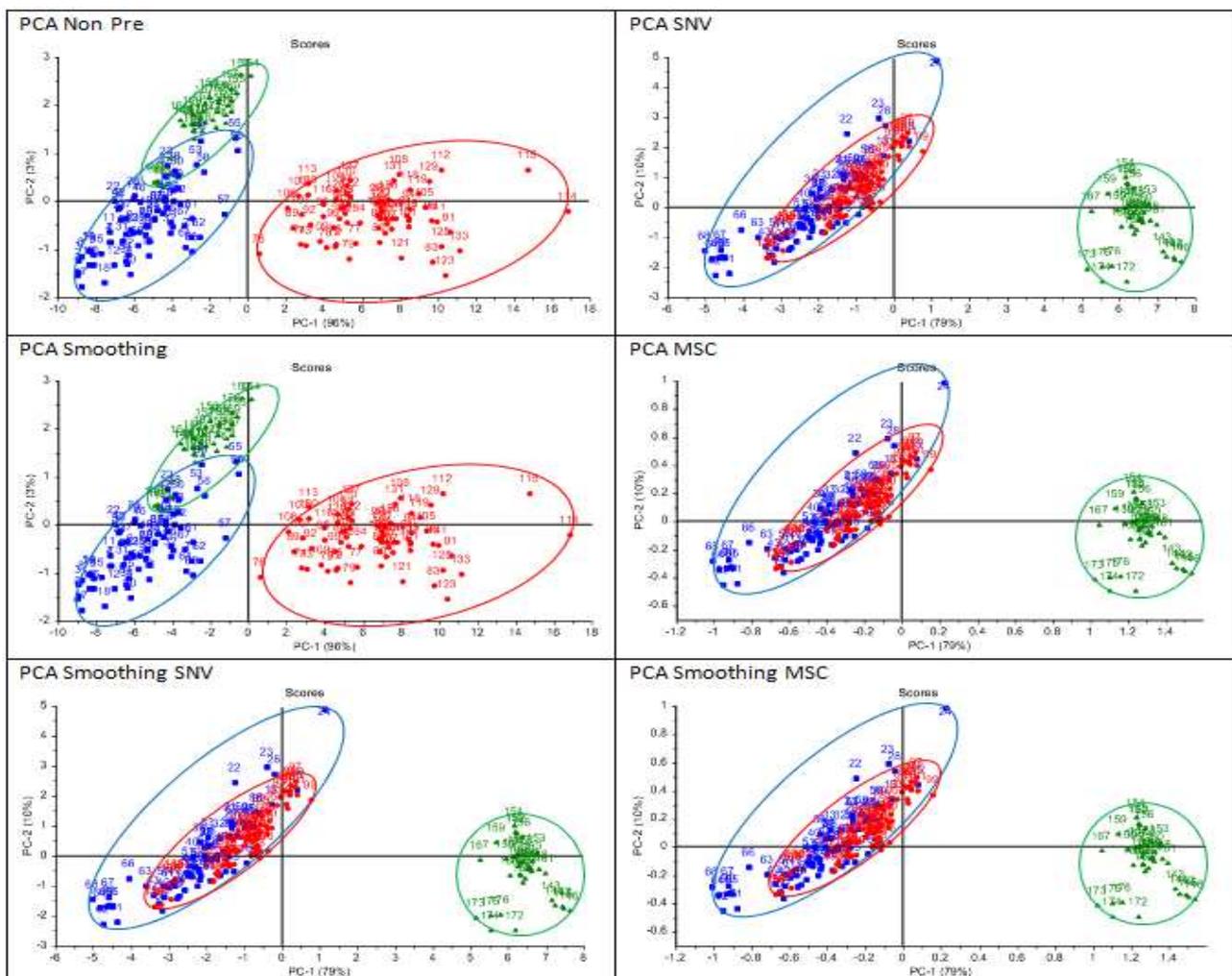
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Teknik Akuisisi Spektrum NIRS untuk Biji Kakao

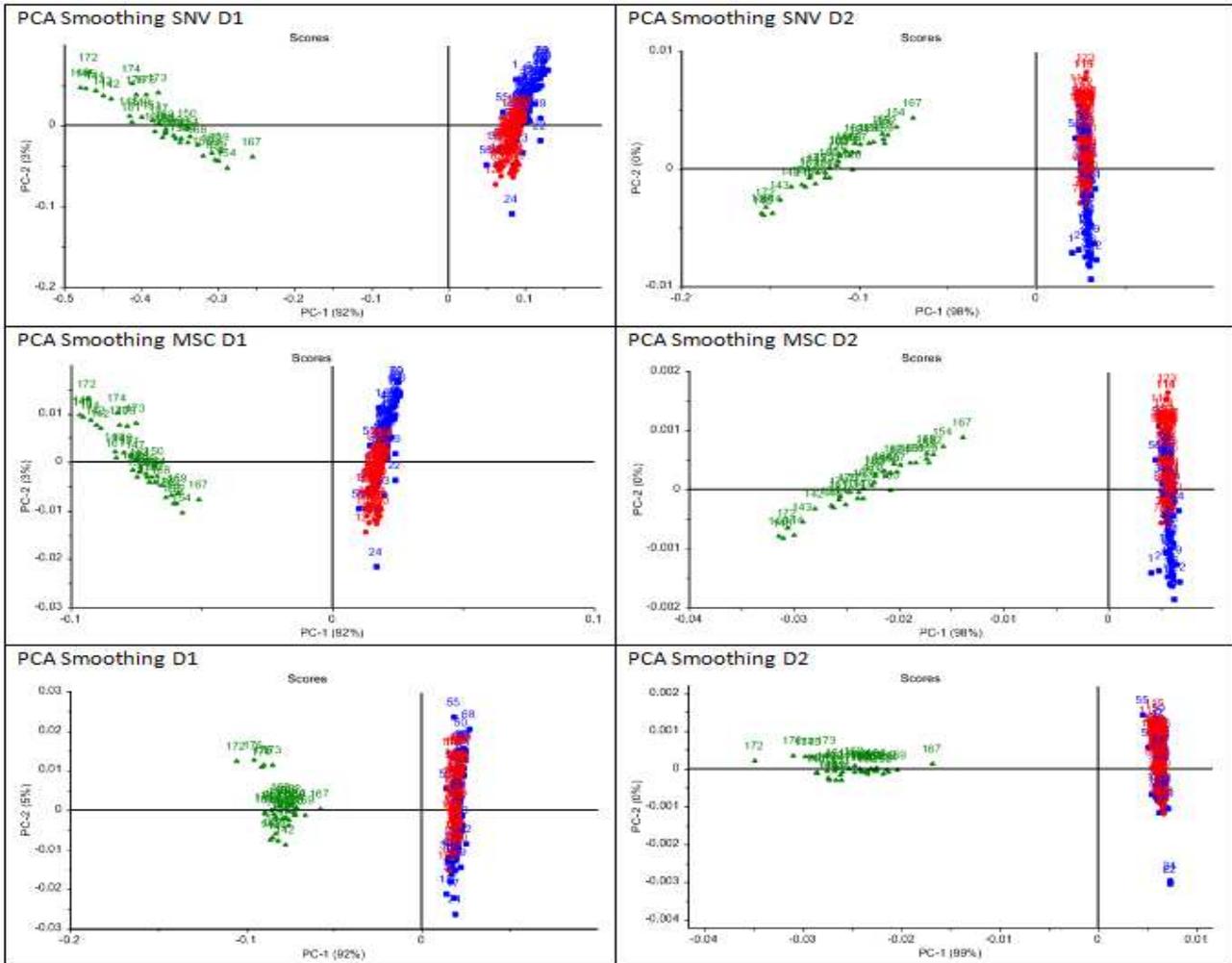
Ada dua alternatif teknik akuisisi spektrum dalam bentuk biji utuh yang akan diuji dalam penelitian ini yakni dalam bentuk biji individu dan biji tumpukan. Pada bagian ini hasil pengolahan data diarahkan untuk analisis perbandingan hasil akuisisi spektrum NIRS untuk biji individu, biji tumpukan, dan biji yang dibubukkan. Dari 12 kombinasi itu ditemukan bahwa Metode MSC dan SNV adalah koreksi spektrum yang paling sesuai digunakan. Sementara Metode SGs tidak mampu bekerja dengan baik (Gambar 2). Adapun Metode *derivative* (D1 dan D2) terjadi *over fitting* hal ini bisa

dilihat dari sebaran data yang menumpuk-numpuk (Gambar 3).

PCA membuktikan bahwa tidak ada perbedaan antara data spektrum kakao dalam bentuk biji individu (biru) dengan kakao dalam bentuk biji tumpukan (merah) sehingga akuisisi spektrum NIRS biji kakao dalam bentuk tumpukan dapat menggantikan akuisisi spektrum NIRS biji kakao dalam bentuk biji individu. Hasil ini tentunya sangat penting mengingat pada kegiatan di lapangan, pengukuran dalam bentuk tumpukan adalah lebih efisien dibanding dengan pengukuran dalam bentuk biji individu. Namun untuk kakao dalam bentuk bubuk (hijau) berbeda nyata sehingga untuk selanjutnya pengukuran akan dibagi atas dua macam yakni pengukuran kakao dalam bentuk biji tumpukan dan dalam bentuk bubuk.



Gambar 2. Sampel kakao dengan koreksi spektrum SGs, MSC dan SNV
Figure 2. Cocoa samples with pretreatment SGs, MSC and SNV



Gambar 3. Sampel kakao dengan penambahan koreksi spektrum D1 dan D2
Figure 3. Cocoa samples with addition of pretreatment D1 and D2

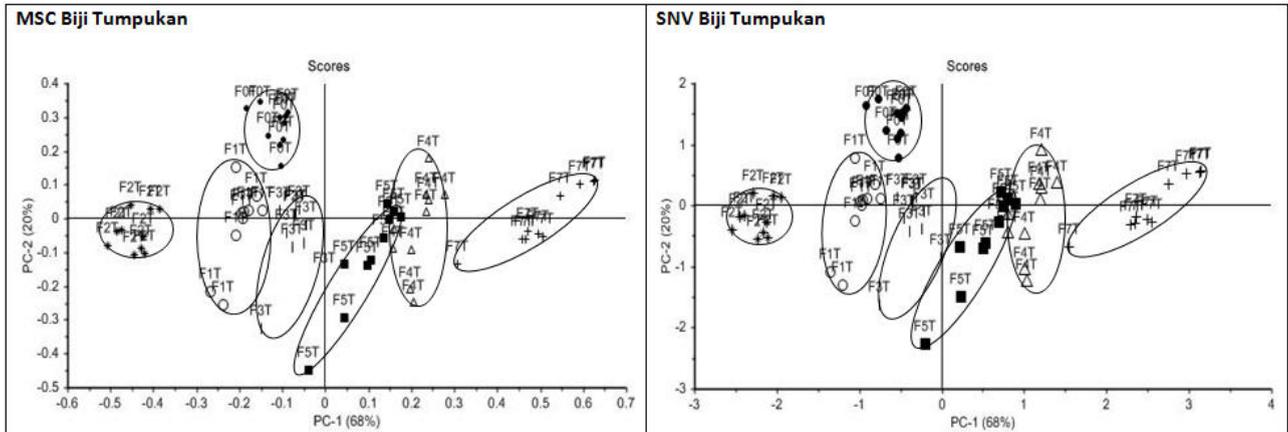
Spektrum NIRS dalam Membedakan Tingkat Fermentasi

Selanjutnya analisis PCA diarahkan pada perbedaan perlakuan sampel. Tujuannya untuk membuktikan bahwa NIRS mampu membedakan tingkat fermentasi kakao baik dalam bentuk biji utuh maupun bubuk. Metode koreksi yang dipakai adalah MSC dan SNV karena merujuk pada kemampuan bekerja MSC dan SNV sebelumnya.

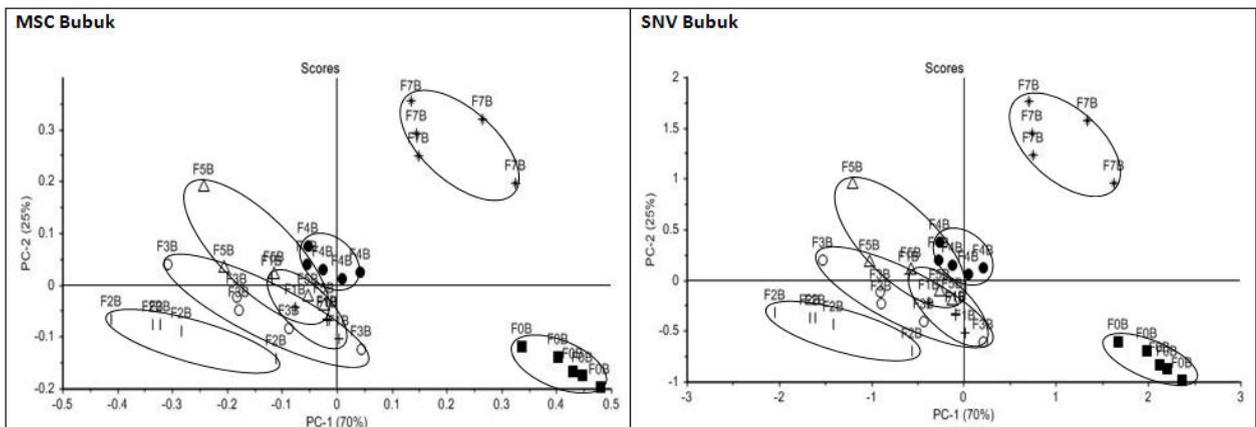
Hasil PCA membuktikan bahwa NIRS mampu mengelompokkan data berdasarkan tingkat fermentasi pada kakao. Hasil ini serupa dengan hasil penelitian Aculey *et al.* (2010) yang juga menggunakan PCA sebagai metode evaluasi variasi mengatakan bahwa secara umum, tingkat

fermentasi kakao dapat dijelaskan dengan metode yang digunakan. Sehingga pengujian NIRS memiliki potensi untuk menjadi pengganti tes belah pada biji.

Namun jika diamati secara lebih detail dapat dilihat bahwa NIRS lebih baik dalam membedakan tingkat fermentasi kakao bentuk biji utuh dibanding dengan kakao bentuk bubuk. Gambar 4 memperlihatkan bahwa semua biji kakao dapat terkelompok dengan baik sesuai tingkat fermentasi. Sementara untuk kakao dalam bentuk bubuk hanya tiga tingkat fermentasi yang mampu terkelompok dengan baik yakni F0, F2 dan F7 (Gambar 5).



Gambar 4. Analisis PCA dengan MSC (88%) dan SNV (88%) untuk biji tumpukan (●)F0, (○) F1, (*) F2, (l) F3, (Δ) F4, (■) F5, (+) F7
Figure 4. PCA analysis with MSC (88%) and SNV (88%) for bulk seeds (○) F1, (*) F2, (l) F3, (Δ) F4, (■) F5, (+) F7



Gambar 5. Analisis PCA dengan MSC (95%) dan SNV (95%) untuk bubuk (■) F0, (+) F1, (l) F2, (o) F3, (●) F4, (Δ) F5, (*) F7
Figure 5. PCA analysis with MSC (95%) and SNV (95%) for powder (■) F0, (+) F1, (l) F2, (o) F3, (●) F4, (Δ) F5, (*) F7

Pada dasarnya fermentasi biji kakao mampu merubah penampakan fisik biji dan kandungan biji. Perubahan fisik bisa berupa perubahan warna pada kulit luar biji menjadi 80% kecokelatan, bisa juga berupa perubahan tekstur dalam biji yang awalnya pejal menjadi berongga. Sementara perubahan kandungan bisa menyebabkan hilangnya rasa sepat dan munculnya aroma khas coklat (Mulato *et al.*, 2009; Siregar, 2010; Agustina, 2011). Pengolahan kakao menjadi bubuk dengan ukuran seragam tentunya menghilangkan pengaruh perubahan fisik tersebut sehingga NIRS hanya mampu mendeteksi perubahan kandungan zat saja tanpa melihat perubahan fisik. Sedangkan untuk kakao dalam bentuk biji, selain mendeteksi perubahan kandungan zat dalam biji, NIRS juga membedakan tingkat fermentasi berdasarkan perubahan fisik dari biji selama proses fermentasi.

Procyanidin adalah zat yang akan dideteksi untuk mengukur tingkat fermentasi kakao. Menurut Whitacre *et al.* (2003), *proanthocyanidins* kakao adalah kelas senyawa polyphenol yang ditemukan dalam tanaman genus *Theobroma*. Kelas-kelas yang paling umum ditemukan pada kakao adalah *procyanidin*. Selanjutnya penelitian Misnawi *et al.* (2004) dan Hii *et al.* (2009) menemukan bahwa kandungan total polyphenol dalam biji kakao adalah sekitar 120-180 gram per kg dari berat kering biji kakao, *procyanidin* yang merupakan zat penentu tingkat fermentasi hanya sekitar 58% dari kandungan total polyphenol dalam biji kakao kering. Fermentasi sampai 8 hari hanya mampu mengurangi sampai 58% kandungan polifenol itu, sehingga wajar jika NIRS kurang mampu mengelompokkan secara sempurna biji kakao dalam bentuk bubuk berdasarkan tingkat

fermentasi mengingat kecilnya perubahan kandungan *procyanidin* selama fermentasi.

Penentuan Selang Panjang Gelombang NIRS untuk Deteksi Kandungan Zat

Secara umum bisa dikatakan bahwa spektrum biji dan spektrum bubuk kakao mempunyai tipikal yang sama. Begitu juga untuk spektrum biji atau bubuk untuk tiap perlakuan fermentasi. Namun walaupun tipikal spektrumnya sama tapi jika ditinjau secara detail akan terlihat beberapa perbedaan yang menarik untuk dibahas. Lebih jelasnya dapat dipilih satu saja spektrum yang mewakili tiap perlakuan untuk diperbandingkan.

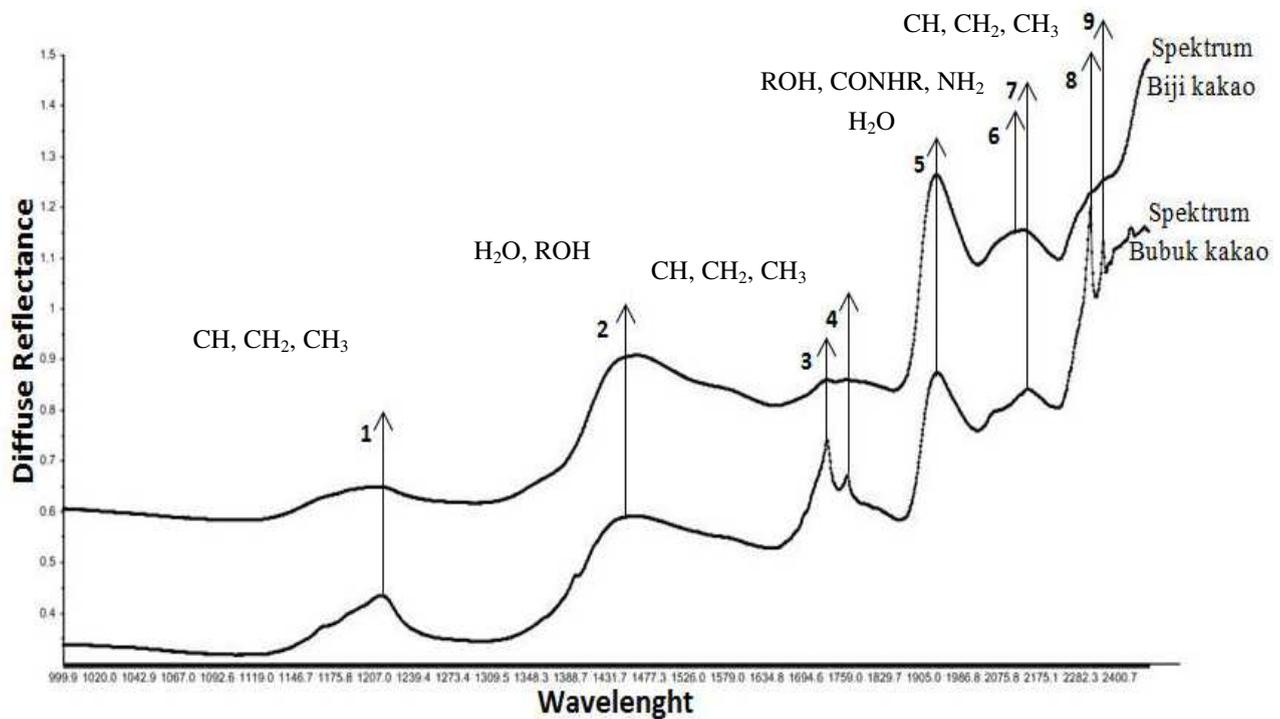
Pembahasan dimulai dari perbedaan antara spektrum biji dan spektrum bubuk kakao. Untuk mempermudah analisis akan dipilih dua spektrum tunggal dari spektrum biji dan spektrum bubuk pada tingkat fermentasi yang sama. Analisis dimulai dari menganalisis informasi puncak spektrum berdasarkan Gambar 6.

Informasi yang ada dari Gambar 6 dipergunakan untuk menganalisa informasi ikatan

kimia yang terkandung dari spektrum biji dan bubuk kakao. Puncak 1 mempunyai kisaran panjang gelombang antara 1200-1220 nm disinyalir memberikan informasi adanya kemungkinan ikatan CH, CH₂ dan CH₃. Puncak 2 mempunyai kisaran panjang gelombang antara 1445-1465 nm disinyalir memberikan informasi adanya kemungkinan ikatan H₂O dan ROH. Puncak 3 dan 4 mempunyai kisaran panjang gelombang antara 1730-1750 nm dan 1755-1775 nm disinyalir memberikan informasi adanya kemungkinan ikatan CH atau CH₂ dan CH₃. Puncak 5 mempunyai kisaran panjang gelombang antara 1935-1955 nm disinyalir memberikan informasi adanya kemungkinan ikatan H₂O. Puncak 6 dan 7 mempunyai kisaran panjang gelombang antara 2110-2130 nm dan 2130-2150 nm disinyalir memberikan informasi adanya kemungkinan ikatan ROH, CONHR dan NH₂. Puncak 8 dan 9 mempunyai kisaran panjang gelombang antara 2320-2340 nm dan 2340-2360 nm disinyalir memberikan informasi adanya kemungkinan ikatan CH atau CH₂ dan CH₃ (Gambar 7).

14286	12500	11111	10000	9090	8333	7692	7143	6666	6250	5882	5556	5263	5000	4762	4545	4348	4168	4000	cm ⁻¹	
700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	nm	
																			Bonds	
4	3				2						C									H ₂ O
..									ROH
..									NH ₂
..									CONH ₂
..									CONHR
5	4	3	2	2						C									ArCH	
..	CH ₃
..	CH ₂
..	CH
																			Grease Acid	
																			CH ₂	
																			Others	
																			Acid	
																			SH	
																			Acid	
																			C=O	
																			CHO	
																			Fat	

Gambar 6. Distribusi ikatan organik utama di dalam gelombang elektromagnetik (Cen dan He, 2007)
Figure 6. The distribution of main organic bonds in electromagnetic wave (Cen and He, 2007)



Gambar 7. Ikatan kimia dalam spektrum kakao
Figure 7. Chemical bonding in cocoa spectrum

Selanjutnya informasi yang didapat disesuaikan dengan rumus kimia dari air, lemak dan polyphenol (*procyanidin*) untuk tingkat fermentasi maka dapat disimpulkan bahwa puncak 1 adalah lemak, puncak 2 adalah *procyanidin* dan air, puncak 3 dan 4 adalah lemak, puncak 5 adalah air, puncak 6 dan 7 adalah *procyanidin* dan terakhir puncak 8 dan 9 adalah lemak. Kesimpulan ini ternyata memiliki kemiripan dengan penelitian sebelumnya yang terkait bubuk kakao dan olahannya.

Penelitian pertama yang telah dilakukan oleh Davies *et al.* (1991) menunjukkan bahwa lemak terdapat pada bubuk biji kakao mentah, bubuk biji kakao panggang, bubuk cokelat dan cokelat jadi untuk panjang gelombang spektrum 1200 nm, 1730 nm, 1760 nm dan 2250-2300 nm. Sementara kadar air terdapat pada panjang gelombang spektrum 1940 nm. Permanyer dan Perez (1989) menyimpulkan bahwa kadar air terdapat pada bubuk kakao untuk panjang gelombang spektrum 1939 nm.

Selanjutnya Whitacre *et al.* (2003) menyimpulkan bahwa *procyanidin* terdapat pada kakao *liquors* untuk panjang gelombang spektrum 1460 nm dan 2140 nm. Hasil penelitian Moros *et al.* (2007) menunjukkan bahwa kadar lemak terdapat pada cokelat komersial untuk panjang gelombang spektrum 2340 nm dan 2343 nm. Vesela *et al.* (2007) menyimpulkan bahwa kadar lemak terdapat pada bubuk kakao untuk panjang gelombang spektrum 1744 nm, 2322 nm, 2334 nm dan 2360 nm dan kadar air pada 1906 nm.

Hal menarik yang dapat dilihat adalah pola puncak 1, 3, 4, 8 dan 9 sangat nyata terlihat pada spektrum bubuk kakao, tetapi tidak begitu nyata terlihat pada spektrum biji kakao. Sementara untuk pola puncak 2, 5, 6 dan 7 dapat dilihat dengan mudah baik pada spektrum biji maupun bubuk. Hal ini dapat diduga bahwa kadar lemak mudah dideteksi oleh NIRS untuk bubuk kakao, tetapi sebaliknya untuk biji kakao. Namun untuk kadar air dan tingkat fermentasi (*procyanidin*), baik bubuk kakao maupun biji kakao tidak sulit dideteksi dengan NIRS.

KESIMPULAN

Teknik akuisisi spektrum NIRS untuk biji kakao utuh secara tumpukan dapat menggantikan teknik akuisisi spektrum dalam bentuk biji individu. Teknik ini dipilih karena lebih cepat dan efisien. Secara umum NIRS mampu membedakan tingkat fermentasi (yang menggambarkan jumlah hari fermentasi) pada kakao baik pengukuran dalam bentuk biji utuh maupun dalam bentuk bubuk. Pengukuran dalam bentuk biji utuh dapat menghasilkan hasil yang lebih baik dibanding dalam bentuk bubuk kakao.

Selang panjang gelombang yang berperan memberi informasi kadar air adalah 1445-1465 nm dan 1935-1955 nm, sedangkan untuk kadar lemak 1200-1220 nm, 1730-1750 nm, 1755-1775 nm, 2320-2340 nm, dan 2340-2360 nm. Selanjutnya panjang gelombang *procyanidin* yang berperan adalah 1445-1465 nm, 2110-2130 nm, dan 2130-2150 nm.

Pengetahuan mengenai panjang gelombang yang berperan dapat memberikan informasi tentang kandungan zat dalam kakao sehingga dapat berfungsi dalam mendukung penelitian selanjutnya dalam pengembangan model identifikasi kualitas kakao.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Dirjen Pendidikan Tinggi (DIKTI) Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah membantu dalam pembiayaan penelitian ini melalui Program Beasiswa *Sandwich-Like* Luar Negeri Tahun Anggaran 2012.

Ucapan terima kasih juga kepada Dr. Daniel Mörlein dan Prof. Dr. Elke Pawelzik atas bantuannya untuk pemakaian peralatan NIRS di *Abteilung Qualität Tierischer Erzeugnisse* dan *Abteilung Qualität Pflanzlicher Erzeugnisse*, *Georg August University of Göttingen*, Jerman.

DAFTAR PUSTAKA

- Aculey, P. C., P. Snitkjaer, M. Owusu, M. Bassompierre, J. Takrama, L. Norgaard, M. A. Petersen, and D. S. Nielsen. 2010. *Ghanaian Cocoa Bean Fermentation Characterized by Spectroscopic and Chromatographic Methods and Chemometrics*. *J. Food Sci.* 75: 300-3007.
- Agustina, R. 2011. Sistem Pendukung Keputusan Teknologi Penanganan dan Kelayakan Investasi Pascapanen Kakao. Tesis. Universitas Gajah Mada.
- Cambrai, A., C. Marcic, S. Morville, P. S. Houer, F. Bindler, and E. Marchioni. 2009. Differentiation of chocolates according to the cocoa's geographical origin using chemometrics. *J. Agric. Food Chem* 30.
- Cen, H. and Y. He. 2007. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. *J. Trends in Food Sci & Technol.* 18: 72-83.
- Davies, A. M. C., J. G. Franklin, A. Grant, N. M. Griffiths, R. Shepherd, and G. R. Fenwick. 1991. Prediction of chocolate quality from near-infrared spectroscopic measurements of the raw cocoa beans. *J. Vibrational Spectroscopy* 2: 161-172.
- Hasibuan, A. M., R. Nurmalina, dan A. Wahyudi. 2012. Analisis kinerja dan daya saing perdagangan biji kakao dan produk kakao olahan indonesia di pasar internasional. *Buletin RISTRI.* 3 (1): 57-70.
- Hii, C. L., C. L. Law, S. Suzannah, Misnawi, and M. Cloke. 2009. Polyphenol in cocoa. *As. J. Ag-Ind.* 2 (4): 702-722.
- Kaffka, K. J., K. H. Norris, F. Kulcsár, and, I. Draskovits. 1982. Attempts to determine fat, protein and carbohydrate content in cocoa powder by the nir technique. *Acta Alimentaria* 11 (3): 271-288.
- Misnawi, S. Jinap, B. Jamilah, and S. Nazamid. 2004. Sensory properties of cocoa liquor as affected by polyphenol concentration and duration of roasting. *Food Quality and Preference* 15: 404-409.
- Moros, J., F. A. Inon, S. Garrigues, and M. de la Guardia. 2007. Near-infrared diffuse reflectance spectroscopy and neural networks for measuring nutritional parameters in chocolate samples. *Anal. Chim. Acta* 584: 215-222.
- Mulato, S., S. Widyotomo, Miswani, dan E. Suharyanto. 2009. Pengolahan Produk Primer dan Sekunder Kakao. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. Jember.

- Permanyer, J. J. and M. L. Perez. 1989. Compositional analysis of powdered cocoa products by near infrared reflectance spectroscopy. *J. Food Sci.* 54: 768-769.
- Siregar, H. S. T. 2010. Budidaya Cokelat. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Vesela, A., A. S. Barros, A. Synytsya, I. Delgadillo, J. Copikova, and M. A. Coimbra. 2007. Infrared spectroscopy and outer product analysis for quantification of fat, nitrogen, and moisture of cocoa powder. *Anal. Chim. Acta* 601: 77-86.
- Whitacre, E., J. Oliver, R. Van Den Broek, P. Van Engelen, B. Kremers, B. Van Der Horst, M. Stewart, and A. Jansenbeuvink. 2003. Predictive analysis of cocoa procyanidins using near-infrared spectroscopy techniques. *J. Food Sci.* 68: 2618-2622.