

Aplikasi VIS/NIR *spectroscopy* dan *partial least square regression* untuk pendugaan nilai warna kulit buah cabai rawit

Kusumiyati Kusumiyati*, Ine Elisa Putri, Wawan Sutari, dan Jajang Sauman Hamdani

Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Bandung-Sumedang KM. 21-45363, Jawa Barat, Indonesia

*Email: kusumiyati@unpad.ac.id

Abstrak: Warna kulit buah cabai rawit (*Capsicum Frutescens* L.) merupakan salah satu indikator dari kematangan buah. *Visible/near infrared (Vis/NIR) spectroscopy* merupakan teknologi alternatif untuk memprediksi warna kulit buah yang dikombinasikan dengan *partial least square regression (PLSR)*. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi warna kulit buah cabai rawit menggunakan *Vis/NIR spectroscopy*. Analisis di Laboratorium Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran. Sampel yang digunakan yaitu buah cabai rawit var. Domba. Sampel dibagi ke dalam 3 grup, buah cabai rawit hijau, oranye, dan merah. *Spectrometer* yang digunakan yaitu NirVana AG410 dengan panjang gelombang 300-1065 nm dengan interval 3 nm. Semua data absorbansi dikoreksi dengan menggunakan metode prapengolahan spektra *multiplicative scatter correction (MSC)*, *orthogonal signal correction (OSC)*, dan *standard normal variate (SNV)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prapengolahan spektra terbaik untuk memprediksi L^* dan b^* pada buah cabai rawit yaitu PLSR+OSC sedangkan a^* yaitu PLSR+SNV. Nilai akurasi L^* dengan OSC yaitu R kalibrasi = 0,99 dan b^* dengan OSC yaitu R kalibrasi = 0,76. Akurasi pada a^* dengan SNV menghasilkan R kalibrasi = 0,99. Penelitian ini membuktikan bahwa *Vis/NIR spectroscopy* dan PLSR memiliki akurasi yang tinggi dan dapat digunakan untuk memprediksi warna kulit buah cabai rawit.

Kata kunci: data absorbansi, kualitas buah, model kalibrasi, panjang gelombang, spektra koreksi

Application of VIS/NIR *spectroscopy* and *partial least square regression* for estimation of skin color in cayenne pepper fruit

Abstract: The skin fruit color of cayenne pepper (*Capsicum Frutescens* L.) is one of indicators of fruit maturity. *Visible/near infrared (Vis/NIR) spectroscopy* is alternative technology to predict of skin color fruit combined with *partial least square regression (PLSR)*. The research was aimed to predict skin color fruit of cayenne pepper using *Vis/NIR spectroscopy*. Analysis at Horticulture Laboratory, Faculty of Agriculture, Universitas Padjadjaran. The samples used was cayenne pepper var. Domba. The samples were divided into 3 groups, green, orange red cayenne pepper. The spectrometer used was NirVana AG410 spectrometer with 300 to 1065 nm with 3 nm intervals. All of absorbance data were pre-treated using spectra correction methods including *multiplicative scatter correction (MSC)*, *orthogonal signal correction (OSC)* dan *standard normal variate (SNV)*. The result showed that the best spectra correction method for predicting L^* and b^* in cayenne pepper was PLSR+ OSC while a^* was PLSR+ SNV. The accuracy value of L^* with OSC is R calibration = 0.99 and b^* with OSC is R calibration = 0.76. This research resumed that *Vis/NIR spectroscopy* and PLSR have high accuracy and can be used to predict the skin color of cayenne pepper fruit.

Keywords: absorbance data, calibration model, quality fruit, spectra correction, wavelength

How to Cite (APA 7th Style): Kusumiyati, Putri, I. E., Sutari, W., & Hamdani, J.S. (2022). Aplikasi VIS/NIR *spectroscopy* dan *partial least square regression* untuk pendugaan nilai warna kulit buah cabai rawit. *Jurnal Penelitian Saintek*, 27(1), 38-48. <https://doi.org/10.21831/jps.v1i1.47930>

PENDAHULUAN

Cabai rawit (*Capsicum Frutescens* L.) mempunyai warna kulit yang berbeda tergantung tingkat kematangannya. Buah ini mengalami perubahan warna dari hijau menjadi merah saat semakin matang. Pigmen warna menyebabkan perubahan warna kulit buah. Para petani biasanya melakukan pemanenan berdasarkan warna kulit buah. Bagi para peneliti, penilaian tingkat kematangan secara visual tersebut tentu tidak akurat karena penilaian secara visual hanya dilakukan secara subjektif.

Informasi mengenai kualitas buah menjadi jaminan terkait kualitas produk. Namun, buah cabai rawit yang telah dipanen belum dapat diketahui kualitasnya. Oleh karena itu, dirasa perlu untuk dapat melakukan penilaian secara kuantitatif pada warna kulit buah. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengukur warna kulit buah secara kuantitatif secara cepat dan tepat yaitu dengan menggunakan *visible near infrared (Vis/NIR) spectroscopy*.

Vis-NIR spectroscopy dapat digunakan sebagai metode alternatif untuk dapat mengukur warna kulit buah secara cepat dan tepat. Teknologi ini sudah digunakan pada berbagai kualitas pada buah-buahan di antaranya berbagai jenis produk pertanian (Alamar, Caramês, Poppi, & Pallone, 2016; Hadiwijaya, Kusumiyati, & Munawar, 2020b, 2020a; Kusumiyati, Hadiwijaya, Putri, & Munawar, 2021a; Kusumiyati, Hadiwijaya, Putri, & Mubarak, 2019; Kusumiyati, Hadiwijaya, Putri, Mubarak, & Hamdani, 2020; Kusumiyati, Hadiwijaya, Putri, & Munawar, 2021b; Kusumiyati, Hadiwijaya, Suhandy, & Munawar, 2021; Kusumiyati, Putri, & Munawar, 2021; Kusumiyati, Hadiwijaya, & Putri, 2019; Kusumiyati, Mubarak, *et al.*, 2018, Kusumiyati, Putri, Hadiwijaya, Sutari, & Farida, 2019; Kusumiyati, Putri, Munawar, & Suhandy, 2022; Olarewaju, Bertling, & Magwaza, 2016; Putri, Kusumiyati, & Munawar, 2021; Shao, Xuan, Hu, Gao, & Liu, 2019; Yan-De, Xing-Mao, Xu-Dong, & Yi-Bin, 2007).

Analisis data yang dapat digunakan yaitu analisis multivariat menggunakan metode *partial least square regression (PLSR)*. Tujuan penggunaan PLSR yaitu dapat mengolah variabel X (spektra UV-Vis-NIR) dan variabel Y (data aktual) secara bersamaan dan diaplikasikan sebagai bentuk prediksi serangkaian bahan organik (Yan-De *et al.*, 2007).

Pengukuran kualitas buah menggunakan *Vis/NIR spectroscopy* dapat diterapkan setelah didapatkan model kalibrasi. Keakuratan dari model kalibrasi dapat diketahui juga dengan uji validasi. Pada uji validasi dilakukan dengan menggunakan teknik *cross validation*.

Keakuratan model kalibrasi dapat berkurang karena adanya *noise*. Prapengolahan spektra dapat digunakan untuk memperbaiki keakuratan model. Berbagai faktor dapat menyebabkan *noise* terjadi, di antaranya karena guncangan saat pengambilan data spektrum, adanya cahaya lain yang masuk ke dalam detektor, dan adanya kotoran atau bahan kimia lain yang menempel pada sampel seperti lilin di kulit buah. *Noises* muncul diakibatkan oleh gangguan fisik atau kimia pada saat *scanning* (Ozaki, McClure., & Christy, 2007).

Tujuan penggunaan prapengolahan spektra ialah untuk mengurangi *noise* dalam data spektra, sehingga model kalibrasi yang dihasilkan lebih akurat (Rinnan, van den Berg, & Engelsen, 2009). Berbagai prapengolahan spektra yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *multiplicative scatter correction (MSC)*, *standard normal variate transformation (SNV)*, dan *orthogonal signal correction (OSC)*. Model kalibrasi yang didapatkan diuji menggunakan sampel yang sama dengan uji validasi silang. Beberapa indikator dalam keakuratan sebuah model yaitu koefisien korelasi (R), *root mean squares error of calibration (RMSEC)*, *root mean squares error of cross validation (RMSECV)*, dan *ratio performance to deviation (RPD)*.

Berdasarkan uraian tersebut, maka tujuan penelitian ini yaitu untuk menguji potensi penggunaan *Vis/NIR spectroscopy* sebagai teknologi alternatif untuk prediksi nilai warna kulit buah berupa nilai L^* , a^* , dan b^* pada buah cabai rawit (Henríquez *et al.*, 2010). Diterapkan juga berbagai metode prapengolahan spektra guna membantu meningkatkan akurasi pada model kalibrasi warna kulit buah cabai rawit.

METODE

Buah cabai rawit domba ditanam di Jawa Barat. Semua analisis laboratorium dilaksanakan di Laboratorium Hortikultura, Departemen Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Bandung. Penelitian dilaksanakan mulai bulan Agustus sampai bulan Desember 2020.

Alat-alat yang dipergunakan dalam penelitian ini yaitu *portable Vis/NIR spectrometer* (NirVana AG410, Australia) dengan panjang gelombang 300-1050 nm dengan interval 3nm dipergunakan untuk mengambil data spektrum. *Spectrophotometer* CM-600d Konica Minolta, INC, Japan digunakan untuk mengukur warna kulit buah. Sampel buah cabai rawit disimpan di cawan *Petri dish* diameter 10 cm (Anumbra) dipakai sebagai tempat menaruh sampel pada saat deteksi. Bahan yang digunakan yaitu buah cabai rawit var. Domba dengan masing-masing tingkat kematangan yaitu buah warna hijau, buah warna oranye, dan buah warna merah.

Buah cabai rawit dipanen sebanyak 30 unit sampel. Tiap 1 unit sampel terdiri atas $\pm 30g$. Total sampel yang dipergunakan dalam penelitian ini yaitu $\pm 900g$ buah cabai rawit. Buah disortasi berdasarkan tingkat kematangan. Buah selanjutnya dibersihkan dari debu atau kotoran yang menempel. Buah kemudian dipisahkan dengan tangkainya.

Detektor *Vis/NIR spectrometer* yang digunakan memiliki diameter ± 5 cm. Buah cabai rawit memiliki luas permukaan yang kecil sehingga sampel yang diujikan merupakan gabungan dari beberapa buah cabai rawit domba. Setiap unit sampel buah cabai rawit yang terdiri atas $\pm 30g$ yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam cawan *Petri dish* yang berdiameter 10 cm, diberi alas karton berwarna hitam dan disusun rapat agar tidak ada bagian yang kosong. Sampel kemudian diradiasi dengan cahaya dari (*Vis/NIR*) *spectrometer* sebanyak 5 kali. Bagian yang diradiasi meliputi atas, bawah, kanan, kiri, dan tengah dari cawan. Data spektrum yang diolah merupakan hasil rata-rata absorbansi tiap unit sampel.

Prinsip kerja UV-VIS-NIR *spectroscopy* yaitu berupa cahaya reflektan yang dihasilkan dari sinar yang akan dipantulkan kembali, nantinya akan dikonversi menjadi data absorbansi yang rumusnya $\log_{10}(1/\text{Reflektan})$. Spektrum NIR menyimpan berbagai informasi yang dibutuhkan dalam mendeteksi bahan organik suatu produk. Berbagai ikatan kimia seperti N-H, C-H, S-H dan O-H dapat tergambarkan dalam spektrum NIR (Pasquini, 2003).

Nilai kuantitatif warna dapat diukur dengan bantuan alat *spectrophotometer reflectant*. Setiap unit sampel dideteksi sebanyak 5 kali dan dihitung nilai rata-ratanya. Nilai yang diambil dinyatakan dengan L^* , a^* , dan b^* . Alat yang digunakan untuk mengukur warna kulit buah adalah *spectrophotometer* CM-600d Konica Minolta, INC, dan Japan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

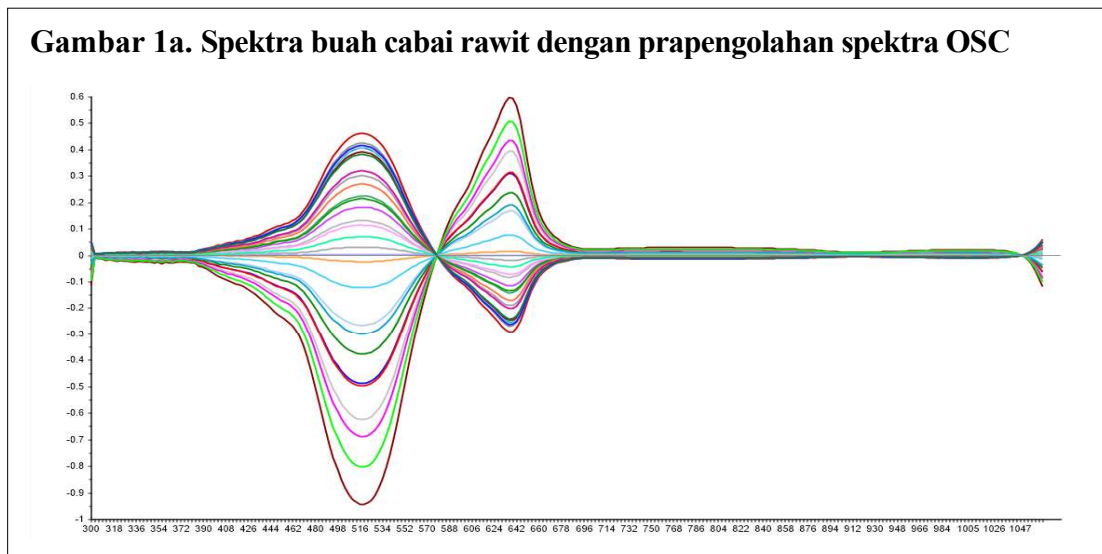
PraPengolahan Data Spektra Vis/NIR. Setiap jenis produk memiliki pola spektrum yang unik. Pola spektrum yang terkadang masih memiliki *noise* dapat dikurangi dengan penggunaan prapengolahan spektra. Hasil radiasi pada buah cabai rawit domba berbagai tingkat kematangan

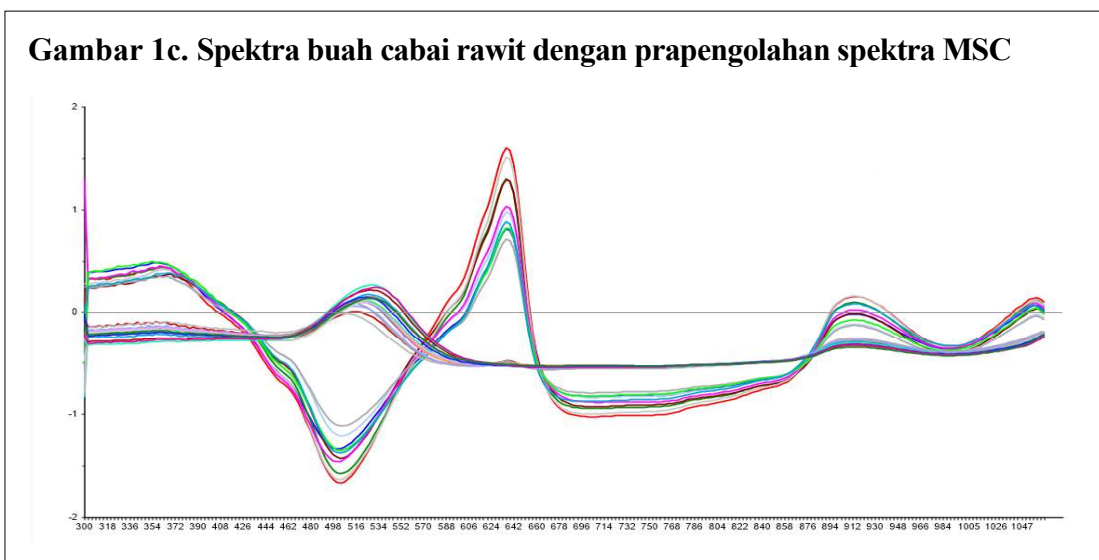
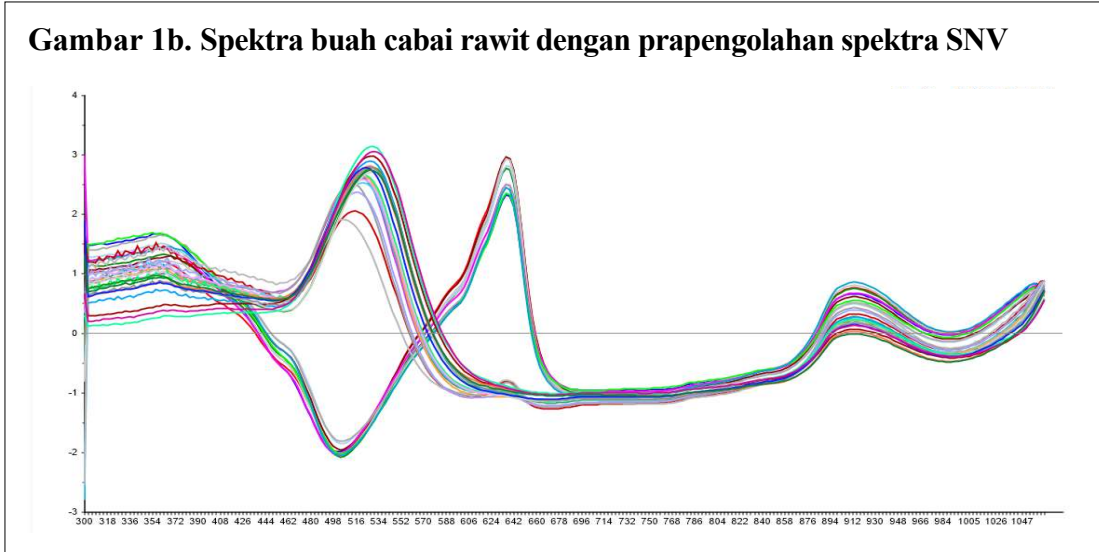
menghasilkan pola spektrum yang berbeda. *Noise* bisa terjadi disebabkan oleh adanya kontaminasi cahaya lain, bergetar saat *scanning* sampel atau adanya debu atau kotoran yang menempel pada permukaan sampel. Namun *noises* dapat terjadi karena adanya celah cahaya sehingga radiasi mengenai objek yang lain dan suhu tinggi pada alat (Syahrul, Pratiwi, & Munawar, 2018). Spektrum merupakan hasil dari gelombang yang diradiasikan dengan bahan organik penyusun objek (sampel). Pembacaan atau interpretasi data dipengaruhi oleh puncak dan lembah.

Spektra original yang digunakan pada penelitian ini yaitu data absorban. Pada Gambar 1a, b, dan c terlihat perbedaan antara berbagai spektra yang telah dikoreksi dengan menggunakan MSC, SNV dan OSC. Pada Gambar 1a merupakan data absorban yang telah dikoreksi dengan para pengolahan spektra OSC. Prapengolahan spektra OSC dapat menghilangkan keragaman nilai X (spektra) yang tidak berhubungan dengan data Y (data aktual) yang memiliki potensi untuk mengurangi keakuratan model kalibrasi. Gambar 1b adalah data absorban yang telah dikoreksi dengan para pengolahan spektra SNV sedangkan Gambar 1c merupakan data spektra absorban yang telah dikoreksi oleh MSC. SNV merupakan koreksi pada spektrum yang memusatkan pada rata-rata masing-masing spektra secara individual dan dapat mengurangi efek dari hamburan yang berasal dari bahan yang berpengaruh pada spektra (Kurniasari, Purwanto, Budiaastra, I. W., & Ridwani, 2017). Prapengolahan spektra dengan MSC memiliki cara kerja yang mirip dengan SNV, yaitu mengkoreksi spektrum berdasarkan rata-rata set data spektrum hingga ditemukan kecocokan semirip mungkin dengan spektrum rujukannya (Ramadhan, Munawar, & Nurba, 2016).

Pengukuran data aktual CIE L, a* dan b**. *Lightness* (L^*) mendeskripsikan tingkat kecerahan warna kulit buah, nilai 0 menunjukkan warna gelap (hitam) dan nilai 100 mengindikasikan warna terang (putih). Nilai a^* merupakan gradasi warna dari merah ke hijau, nilai a^* negatif mengindikasikan gradasi warna hijau sedangkan nilai a^* positif menandakan gradasi warna merah. Nilai b^* yaitu gradasi warna biru ke kuning, nilai b^* negatif adalah gradasi warna biru dan nilai b^* positif menggambarkan warna kuning (Henríquez *et al.*, 2010).

Buah cabai rawit pada berbagai tingkat kematangan yang berbeda menghasilkan nilai standar deviasi (SD) yang luas. Nilai SD menyatakan tingkat penyimpangan data individu ke nilai rata-ratanya. Nilai ini dapat digunakan juga untuk mendeskripsikan keberagaman (variasi)





Tabel 1. Data aktual CIE L^* , a^* , dan b^* buah cabai rawit domba berbagai tingkat kematangan

Parameter	Tingkat Kematangan	Minimum	Maksimum	Rerata	Standar Deviasi (%)
L^*	Hijau	34,25	64,27	56,32	10,38
	Oranye	32,94	50,00	42,62	
	Merah	30,84	39,30	37,32	
a^*	Hijau	-7,45	-1,86	-4,77	22,09
	Oranye	36,38	43,50	40,35	
	Merah	39,84	45,16	41,90	
b^*	Hijau	30,01	38,94	35,18	4,26
	Oranye	32,65	40,02	36,04	
	Merah	23,22	31,82	28,56	

data. Nilai SD untuk masing-masing parameter yaitu L^* (10,38%), a^* (22,09%), dan b^* (4,26). Sampel buah cabai rawit yang digunakan sangat beragam karena nilai SD yang diperoleh jauh dari nilai 0. Keragaman sampel juga dibuktikan dari nilai minimum dan maksimum serta rerata yang rentangnya sangat tinggi.

Pada Tabel 1, nilai L^* pada buah cabai rawit domba hijau berada di kisaran 34,25 hingga 64,27; cabai rawit domba oranye antara 32,94-50,00; dan cabai rawit domba merah sekitar 30,84 sampai 39,30. Pada nilai a^* diperoleh hasil bahwa pada buah cabai rawit domba hijau memiliki nilai dari -7,45 hingga -1,86, buah cabai rawit domba oranye 36,38 hingga 43,50 dan buah cabai rawit domba merah sekitar 39,84 sampai 45,16. Pada nilai b^* diperoleh hasil bahwa pada buah cabai rawit domba hijau nilai minimumnya 30,01 dan nilai maksimal yaitu 38,94; buah cabai rawit domba oranye antara 32,65 hingga 40,02 dan buah cabai rawit domba merah sekitar 23,22 sampai 31,82. Tingkat kecerahan warna kulit buah cabai rawit mengalami penurunan selama proses kematangan berlangsung. Hal ini tergambar dari nilai rerata buah cabai rawit dari hijau ke merah yaitu 56,32 menjadi 37,32. Penurunan nilai L^* dapat terjadi karena semakin lama dipanen akan menyebabkan buah keriput dan kusam. Tingkat kecerahan buah dan kadar air cabai rawit dari hijau ke merah pada mengalami penurunan dikarenakan perubahan warna eksternal dan transpirasi (Khairiah, Setiasih, Sukarminah, Kusumiyati, & Fudholi, 2020; Soethe, Steffens, Mattos, Ferreira, & Mayer, 2016). Hal ini menunjukkan bahwa buah yang semakin keriput dan kusam menjadi salah satu penyebab menurunnya nilai kecerahan buah.

Nilai rerata a^* mengindikasikan perubahan warna buah dari hijau ke merah. Hal ini dibuktikan dari perubahan nilai a^* . Pada buah cabai rawit hijau memiliki nilai a^* negatif sedangkan pada buah cabai rawit oranye dan merah mempunyai nilai a^* yang semakin positif. Nilai rerata b^* mengindikasikan perubahan warna kulit buah yang fluktuatif. Nilai b^* pada buah cabai rawit bernilai positif pada berbagai tingkat kematangan. Buah cabai rawit oranye memiliki nilai b^* tertinggi daripada buah cabai rawit hijau dan merah. Hal ini membuktikan bahwa warna kulit buah cabai rawit oranye lebih mengarah ke warna kuning. Hal ini disebabkan oleh kandungan klorofil yang terdegradasi dan munculnya golongan senyawa karotenoid (Syafutri, Pratama, & Saputra, 2006). Kandungan klorofil memberikan warna hijau sedangkan golongan senyawa karotenoid memberikan warna kuning-oranye-kemerahan.

Model Kalibrasi dan Validasi Silang CIE L^ , a^* , dan b^* .* Akurasi suatu model dapat didasarkan atas nilai R , RMSEC, RMSECV, dan RPD. Nilai R menunjukkan nilai hubungan antara dua variabel yaitu variabel X (spektra buah cabai rawit domba) dan variabel Y (data aktual nilai warna kulit buah cabai rawit domba). Nilai RMSE adalah nilai akar rata-rata jumlah kuadrat dari selisih antara nilai dugaan dengan nilai aktualnya. RMSE berfungsi untuk mengetahui seberapa besarnya *error* yang terjadi pada perhitungan model dibandingkan dengan nilai aktualnya. Nilai RMSE yang semakin kecil/mendekati nilai 0 menunjukkan semakin rendah kesalahan yang ada pada model kalibrasi atau validasi (RMSEC/RMSECV). Nilai RPD merupakan perbandingan antara nilai SD pada data validasi dengan RMSEP.

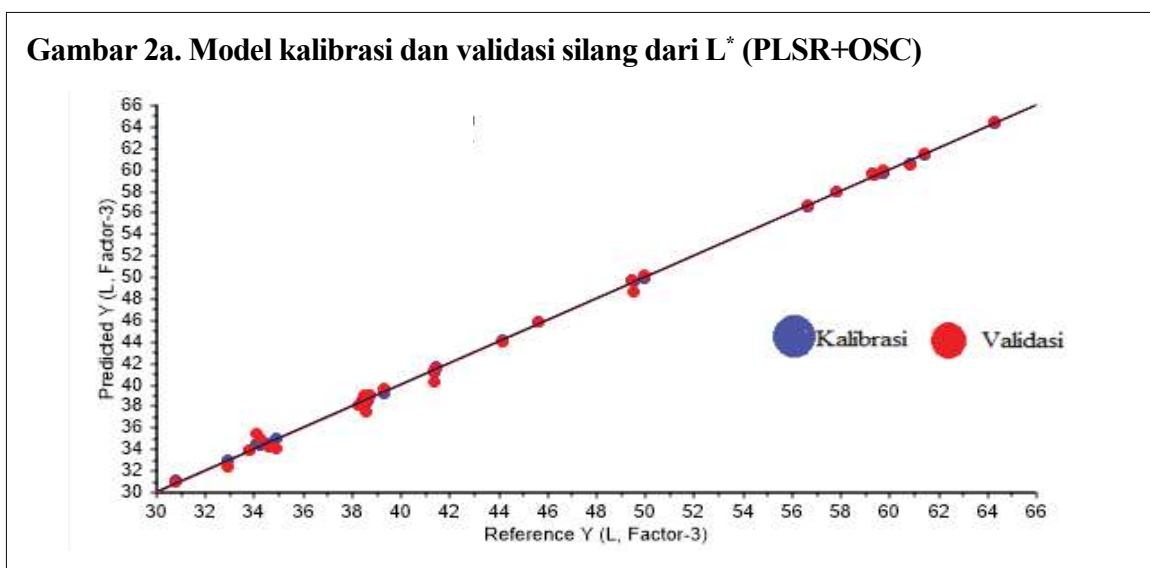
Tabel 2 menunjukkan rangkuman hasil analisis regresi dari warna buah cabai pada spektra absorban dan berbagai prapengolahan spektra. Pada parameter nilai L^* diperoleh hasil spektra terbaik dengan menggunakan prapengolahan spektra OSC. PLSR+ OSC mendapatkan nilai R kalibrasi (0,99), R validasi silang (0,99), RMSEC (0,18), RMSECV (0,50), dan RPD (20,76). Pada nilai a^* mendapatkan hasil model kalibrasi tertinggi dengan PLSR+SNV. Prapengolahan spektra dengan SNV didapatkan hasil nilai R kalibrasi (0,99), R validasi silang (0,99), RMSEC

Tabel 2. Rangkuman model kalibrasi dan validasi silang CIE L*, a* dan b* buah cabai rawit

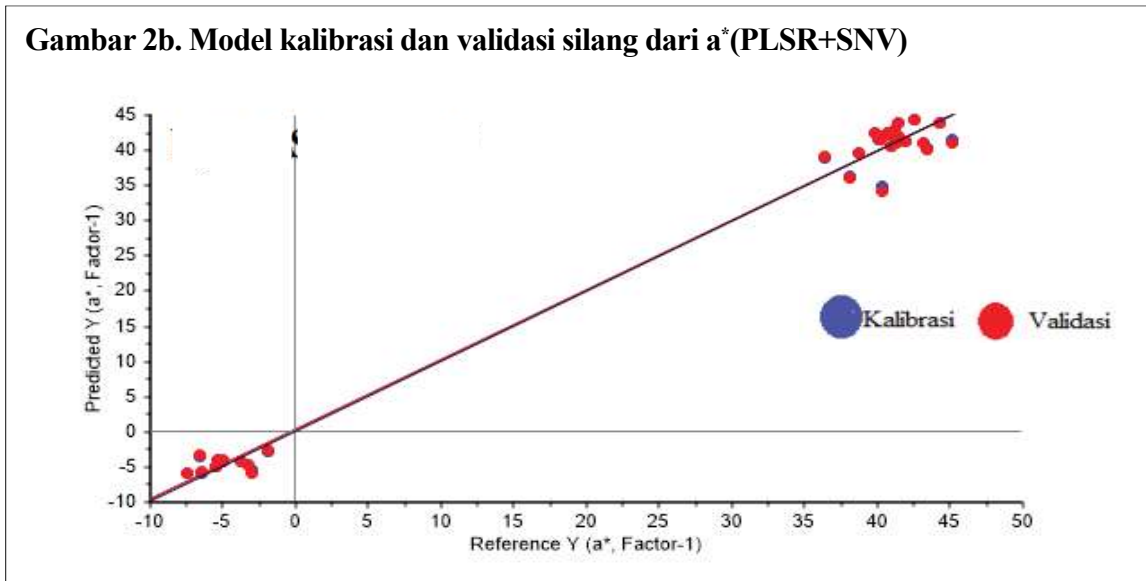
Parameter	Spektra	Faktor	Kalibrasi		Validasi		RPD
			R	RMSEC	R	RMSECV	
L*	Absorban	1	0.78	6.29	0.73	6.90	1.50
	MSC	1	0.80	5.97	0.81	6.38	1.63
	SNV	1	0.79	6.19	0.76	6.72	1.54
	OSC	3	0.99	0.18	0.99	0.50	20.76
a*	Absorban	2	0.98	2.21	0.98	2.51	8.80
	MSC	1	0.98	3.37	0.97	3.69	5.99
	SNV	1	0.99	1.99	0.99	2.15	10.28
	OSC	1	0.99	2.02	0.99	2.18	10.18
b*	Absorban	2	0.72	2.88	0.64	3.33	1.28
	MSC	5	0.82	2.37	0.64	3.44	1.24
	SNV	2	0.74	2.79	0.67	3.14	1.36
	OSC	1	0.76	2.67	0.71	2.90	1.50

(1,99), RMSECV (2,15), dan RPD (10,28). Nilai parameter b* didapatkan hasil bahwa model kalibrasi terbaik yaitu dengan menggunakan prapengolahan spektra OSC. Model kalibrasi dikatakan baik apabila nilai koefisien korelasi (R) kalibrasi/validasi yang dimiliki tinggi (mendekati nilai 1), *root mean square error of calibration* (RMSEC) dan *root mean square error of prediction* (RMSEP) yang kecil serta nilai *ratio performance deviation* (RPD) yang besar (Nicolai et al., 2007).

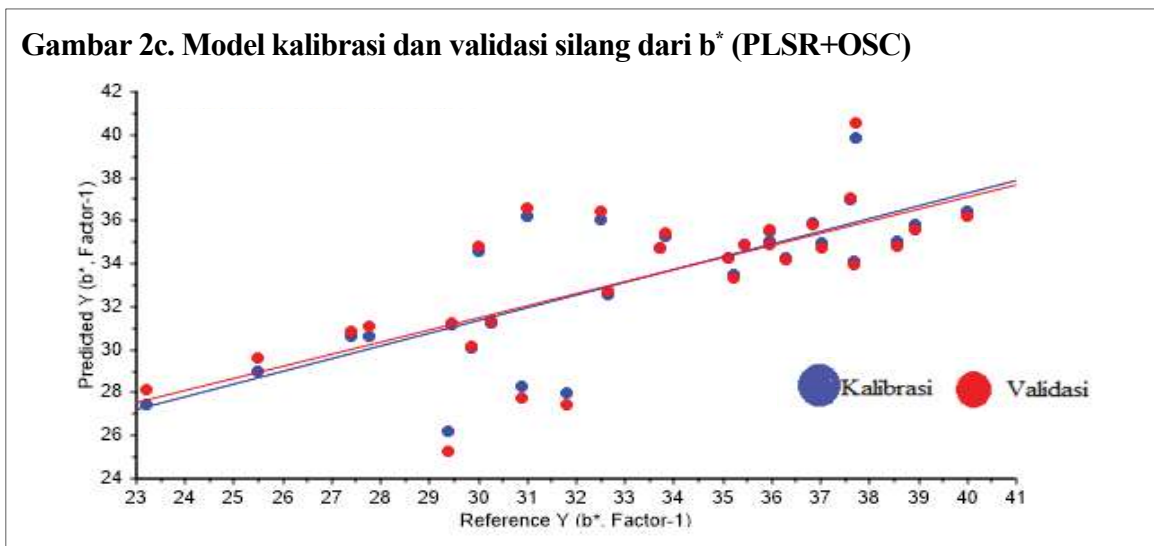
Sebaran data dari warna kulit buah cabai rawit domba berbagai tingkat kematangan berada pada Gambar 2a, b, dan c. Garis melintang berwarna hitam merupakan *target line*. Semakin sebaran mendekati *target line*, maka keakuratan model tersebut semakin tinggi. Hal ini karena data aktual dan data prediksi Vis/NIR hampir sama. Gambar 2a merupakan



Gambar 2b. Model kalibrasi dan validasi silang dari a^* (PLSR+SNV)



Gambar 2c. Model kalibrasi dan validasi silang dari b^* (PLSR+OSC)



model kalibrasi dan validasi silang L^* yang diperbaiki dengan metode OSC. Pada Gambar 2b menampilkan sebaran data a^* model kalibrasi dan validasi yang semakin mendekati *target line*. Pada gambar 2c merupakan model kalibrasi nilai b^* berasal dari model kalibrasi dan validasi silang dengan menggunakan prapengolahan spektra OSC. Prapengolahan spektra yang diterapkan dapat membantu meningkatkan keakuratan model kalibrasi dan validasi dari nilai warna L^* , a^* , dan b^* buah cabai rawit.

SIMPULAN

Vis/NIR spectroscopy dapat digunakan untuk memprediksi nilai CIE L^* , a^* , dan b^* pada buah cabai rawit domba (*Capsicum Frutescens* L.) berbagai tingkat kematangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pra perngolahan spektra terbaik untuk memprediksi nilai L^* yaitu OSC (R kalibrasi = 0.99), a^* dengan SNV (R kalibrasi = 0.99) dan b^* menggunakan OSC (R kalibrasi= 0.76).

DAFTAR PUSTAKA

- Alamar, P., Caramês, E. T. S., Poppi, R. J., & Pallone, J. A. L. (2016). Quality evaluation of frozen guava and yellow passion fruit pulps by NIR spectroscopy and chemometrics. *Food Research International*, 85, 209-214. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.027>.
- Hadiwijaya, Y., Kusumiyati, K., & Munawar, A. A. (2020a). Penerapan teknologi visible-near infrared spectroscopy untuk prediksi cepat dan simultan kadar air buah melon (*Cucumis melo L.*) golden. *Agroteknika*, 3(2), 67-74. <https://doi.org/10.32530/agroteknika.v3i2.83>.
- Hadiwijaya, Y., Kusumiyati, K., & Munawar, A. A. (2020b). Prediksi total padatan terlarut buah melon golden menggunakan vis-swnirs dan analisis multivariat. *Jurnal Penelitian Saintek*, 25(2), 103-114. <https://doi.org/10.21831/jps.v25i2>.
- Henríquez, C., Almonacid, S., Chiffelle, I., Valenzuela, T., Araya, M., Cabezas, L., Simpson, R., & Speisky, H. (2010). Determination of antioxidant capacity, total phenolic content and mineral composition of different fruit tissue of five apple cultivars grown in Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(4), 523-536. <https://doi.org/10.4067/s0718-58392010000400001>.
- Khairiah, Setiasih, I. S., Sukarminah, E., Kusumiyati, & Fudholi, A. (2020). Effect of various maturity levels on the psychochemical properties of Cayenne peppers (*Capsicum frutescens L.*). *International Journal of Botany Studies*, 5(1), 53-57.
- Kurniasari, I., Purwanto, Y. A., Wayan Budiastra, I., & Ridwani, S. (2017). Prediksi tanin dan total padatan tidak terlarut buah kesemek (*Diospyros kaki L.*) menggunakan spektroskopi NIR. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 5(3), 245-252. <https://doi.org/DOI: 10.19028/jtep.05.3.245-252>.
- Kusumiyati, Hadiwijaya, Y., & Putri, I. E. (2019). Non-destructive classification of fruits based on vis-nir spectroscopy and principal component analysis. *Jurnal Biodjati*, 4(1), 89-95. <https://doi.org/10.15575/biodjati.v4i1.4389>.
- Kusumiyati, Hadiwijaya, Y., Putri, I. E., & Mubarak, S. (2019). Water content prediction of “crystal” guava using visible-near infrared spectroscopy and chemometrics approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 393(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/393/1/012099>.
- Kusumiyati, Hadiwijaya, Y., Putri, I. E., & Munawar, A. A. (2021a). Multi-product calibration model for soluble solids and water content quantification in Cucurbitaceae family, using visible/near-infrared spectroscopy. *Heliyon*, 7(8), e07677. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07677>.
- Kusumiyati, Hadiwijaya, Y., Putri, I. E., & Munawar, A. A. (2021b). Enhanced visible/near-infrared spectroscopic data for prediction of quality attributes in Cucurbitaceae commodities. *Data in Brief*, 39, 107458. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107458>.
- Kusumiyati, Hadiwijaya, Y., Putri, I. E., Mubarak, S., & Hamdani, J. S. (2020). Rapid and non-destructive prediction of total soluble solids of guava fruits at various storage periods using handheld near-infrared instrument. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 458(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/458/1/012022>.
- Kusumiyati, Hadiwijaya, Y., Suhandy, D., & Munawar, A. A. (2021). Prediction of water content and soluble solids content of ‘manalagi’ apples using near infrared spectroscopy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 922(1), 012062. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/922/1/012062>.

- Kusumiyati, Mubarak, S., Hamdani, J. S., Farida, Sutari, W., Hadiwijaya, Y., Putri, I. E., & Mutiarawati, T. (2018). Evaluation of sapodilla fruit quality using near-infrared spectroscopy. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 16(1), 49-53. <https://doi.org/10.31227/osf.io/mghf2>.
- Kusumiyati, Putri, I., Hadiwijaya, Y., Sutari, W., & Farida. (2019). Effect of spectra correction on water content prediction of red guava fruit using UV-visible-near infrared spectroscopy. *Proceedings of the 1st International Conference on Islam, Science and Technology (ICONISTECH), 2019*. <https://doi.org/10.4108/eai.11-7-2019.2297629>.
- Kusumiyati, Putri, I. E., & Munawar, A. A. (2021). Model prediksi kadar air buah cabai rawit domba (*Capsicum frutescens* L.) menggunakan spektroskopi ultraviolet visible near infrared. *Agro Bali Agricultural Journal*, 4(1), 15-22. <https://doi.org/10.37637/ab.v0i0.615>.
- Kusumiyati, Putri, I. E., Munawar, A. A., & Suhandy, D. (2022). A data fusion model to merge the spectra data of intact and powdered cayenne pepper for the fast inspection of antioxidant properties. *Sustainability*, 14(1), 201. <https://doi.org/10.3390/su14010201>.
- Nicolai, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K. I., & Lammertyn, J. (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 46(2), 99-118. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.06.024>.
- Olarewaju, O. O., Bertling, I., & Magwaza, L. S. (2016). Non-destructive evaluation of avocado fruit maturity using near infrared spectroscopy and PLS regression models. *Scientia Horticulturae*, 199, 229-236. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.047>.
- Ozaki, Y., McClure, W. F., & Christy, A. A. (2007). *Near-Infrared Spectroscopy in Food Science and Technology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Pasquini, C. (2003). Review near infrared spectroscopy: Fundamentals, practical aspects and analytical applications. *J. Braz. Chem. Soc.*, 14(2), 198-219.
- Putri, I. E., Kusumiyati, & Munawar, A. A. (2021). Penerapan algoritma diskriminasi menggunakan metode principal component analysis (PCA) dan Vis-SWNIR spectroscopy pada buah cabai rawit domba berbagai tingkat kematangan. *SINTECH (Science and Information Technology) Journal*, 4(1), 40-46. <https://doi.org/10.31598/sintechjournal.v4i1.680>.
- Ramadhan, S., Munawar, A. A., & Nurba, D. (2016). Aplikasi NIRS dan Principal Component Analysis (PCA) untuk mendeteksi daerah asal biji kopi arabika (*Coffea arabica*). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 1(1), 954-960. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v1i1.1182>.
- Rinnan, Å., van den Berg, F., & Engelsen, S. B. (2009). Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 28(10), 1201-1222. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2009.07.007>.
- Shao, Y., Xuan, G., Hu, Z., Gao, Z., & Liu, L. (2019). Determination of the bruise degree for cherry using Vis-NIR reflection spectroscopy coupled with multivariate analysis. *PLoS ONE*, 14(9), 1-13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222633>.
- Soethe, C., Steffens, C. A., Mattos, L. M., Ferreira, N. A., & Mayer, D. M. (2016). Postharvest quality and functional compounds in “dedo-de-moça” ‘BRS Mari’ pepper fruit at different stages of maturity. *Ciência Rural*, 46(8), 1322-1328. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141795>.
- Syafutri, M. I., Pratama, F., & Saputra, D. (2006). Sifat fisik dan kimia buah mangga (*Mangifera indica* L.) selama penyimpanan dengan berbagai metode pengemasan. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 17(1), 1-11.

- Syahrul, Pratiwi, S., & Munawar, A. A. (2018). Prediksi cepat kadar air tanah menggunakan near infrared reflectance spectroscopy. *Prosiding Seminar Nasional PERTETA 2018*, 1(1), 300-308.
- Yan-De, L., Xing-Mao, C., Xu-Dong, S., & Yi-Bin, Y. (2007). Non-destructive measurement of pear internal quality indices by visible and near-infrared spectrometric techniques. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 50(5), 1051-1057. <https://doi.org/10.1080/00288230709510385>.