

Aplikasi Analisis Multivariat Berdasarkan Warna untuk Memprediksi Brix dan pH pada Pisang

Multivariate Analysis Based on Color Value to Measure Brix and pH of Banana

Yohanita Maulina Akbar¹, Rudiati Evi Masithoh¹, Nafis Khuriyati²

¹Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jl. Flora No 1, Yogyakarta 55281, Indonesia

²Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jl. Flora No 1, Yogyakarta 55281, Indonesia
Email: evi@gadjahmada.edu

Submisi: 31 Juli 2015; Penerimaan: 7 April 2016

ABSTRAK

Pada penelitian ini, model *Multiple Linear Regression* (MLR) digunakan untuk memprediksi Brix dan pH pada buah pisang berdasarkan nilai warna Red Green Blue (RGB) dan Lab. Pisang yang dianalisis mempunyai variasi warna dari kurang masak sampai masak. Parameter warna RGB dan Lab dilakukan secara non-destruktif dengan menggunakan colormeter, sedangkan pengukuran kualitas internal yaitu Brix dan pH ditentukan secara destruktif atau dengan prosedur konvensional di laboratorium. Aplikasi analisis multivariat yang digunakan adalah Unscrambler ® X 10.3 (CAMO, AS, OLISO, Norway, versi trial). Analisis data menunjukkan bahwa model kalibrasi MLR dapat digunakan untuk memprediksi Brix dan pH berdasarkan parameter warna RGB dan Lab pada buah pisang. Selanjutnya, data validasi digunakan untuk menguji model MLR terpilih. Model kalibrasi MLR dapat memprediksi Brix berdasarkan nilai RGB dan Lab dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,8 dan 0,84, secara berurutan. Sedangkan koefisien determinasi (R^2) untuk pH berdasarkan warna RGB dan Lab adalah 0,71 dan 0,79.

Kata kunci: Brix; Lab; *Multiple Linear Regression* (MLR); pH; RGB

ABSTRACT

In this research, Multiple Linear Regression (MLR) model was used to predict Brix and pH of banana based on RGB and Lab color values. Banana samples varied in color and ripening level from less ripen to ripen. RGB and Lab values were measured non-destructively using colormeter, while Brix and pH were determined using conventional method in laboratory. Multivariate analysis was done using the Unscrambler ® X 10.3 (CAMO, AS, OLISO, Norway, and trial version). Results showed that calibration model using MLR was able to predict Brix and pH of banana based on RGB and Lab color values. Furthermore, validation data were used to test the selected models. MLR model to predict Brix based on RGB and Lab validation resulted in 0.8 and 0.84 of determination coefficient between observation and prediction data. The model was also able to predict pH based on RGB and Lab values with 0.71 and 0.79 of determination coefficient between observation and prediction data.

Keywords: Brix; Lab; Multiple Linear Regression (MLR); pH; RGB

PENDAHULUAN

Kualitas pisang ditentukan dari beberapa parameter antara lain adalah warna kulit, rasa, dan tekstur. Pada pisang, pH merupakan salah satu indikator penting dari kualitas buah pisang karena terlibat dalam persepsi asam dan manis buah pisang. Tergantung dari varietasnya tetapi biasanya semakin masak pisang maka warnanya akan semakin kuning atau pada beberapa varietas akan mengalami kenaikan pada nilai L, a, dan b (Lab) (Chen dan Ramaswamy, 2002). Hal ini disebabkan karena penurunan kadar klorofil pada kulit pisang (Li dkk., 1997). Pemasakan pisang diikuti dengan pengurangan kadar air dan pelunakan dinding sel karena aktivitas enzim (Imsabai dkk., 2006). Pada pemasakan pisang juga ditandai dengan kenaikan total padatan terlarut dan penurunan kadar pati (Prabha dan Bhagyalakshmi, 1998).

Penentuan parameter mutu pisang dapat dilakukan secara konvensional di laboratorium (Imsabai dkk., 2006) atau secara non-destruktif dengan instrumen yang bekerja berdasarkan prinsip optik, misalnya menggunakan NIR spectroscopy (Liew dan Lau, 2012) atau pengolahan citra (Masithoh dan Kusuma, 2011) (Quevedo dkk., 2008). Penentuan mutu non-destruktif semakin berkembang dengan perkembangan instrumen ukur warna dan teknologi komputer. Perkembangan perangkat lunak telah memberikan solusi penyelesaian dari data multivariabel dengan menggunakan persamaan kalibrasi atau regresi. Regresi multivariat bertujuan untuk membangun hubungan antara nilai-nilai respon dengan satu atau lebih parameter independen (Cozzolino dkk., 2011). Metode yang paling banyak digunakan adalah *Multiple Linear Regression* (MLR), *Principle Component Regression* (PCR), atau *Partial Least Squares Regression* (PLS) (Dardenne dkk., 2000).

Model kalibrasi dengan menggunakan PLS atau MLR dapat digunakan untuk memprediksi komposisi suatu bahan untuk menggantikan metode konvensional yang membutuhkan waktu lama di laboratorium (Nicolai dkk., 2007). Meskipun kalibrasi dengan MLR dianggap kurang kuat dibandingkan dengan PLS tetapi untuk variabel yang lebih kecil dari 20 (dua puluh) maka MLR lebih tepat digunakan (CAMO, 2011).

Kombinasi parameter warna dengan analisis multivariat telah diaplikasikan untuk memprediksi komposisi kimia pada bahan pangan dan komoditi pertanian dengan akurasi tinggi (Clement dkk., 2008; Esteban-Diez dkk., 2004; Jha dkk., 2007). Salvador dkk. (2007) menemukan hubungan yang cukup signifikan antara warna (nilai a dan b) terhadap kualitas pisang. Beberapa penelitian tentang kualitas buah menggunakan MLR antara lain pengukuran kualitas tomat berdasarkan parameter warna Lab (Masithoh dkk., 2011), penentuan model kualitas mangga berupa Brix dan indeks kematangan yang ditentukan secara non-destruktif

berdasarkan parameter warna Lab (Jha dkk., 2007), penentuan kadar flavonoid total, total fenol, ABTS dan aktivitas radikal DPPH, serta penentuan kadar gula dari mulberi (*Morus alba* L.) berdasarkan fluorescence dan nilai warna Red-Green-Blue (RGB) (Lou dkk., 2012).

Warna kulit pisang yang mengalami perubahan dramatis selama pemasakan dapat digunakan untuk memprediksi mutu internal pisang. Mendoza dan Aguilera (2004) menemukan koefisien korelasi (r) yang tinggi, yaitu 0,9, antara Brix dan pH dengan nilai warna a*, namun belum digunakan untuk memprediksi kadar Brix dan pH dari pisang. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk memprediksi Brix dan pH pisang pada berbagai warna menggunakan model kalibrasi MLR berdasarkan parameter warna RGB dan Lab.

METODE PENELITIAN

Dasar Teori

Model umum MLR adalah seperti pada Persamaan (1). Tujuannya adalah mencari koefisien regresi β yang mempunyai e minimal.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + e \quad (1)$$

Akurasi model kalibrasi yang disusun dinilai menggunakan metode statistik, meliputi bias, r, dan SEP. Bias merupakan beda antara data aktual dan prediksi, r atau koefisien korelasi menunjukkan seberapa dekat data aktual dan prediksi, SEP atau *Standard Error of Prediction* merupakan standar error dari beda antara data aktual dan prediksi.

Sampel

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah pisang emas sebanyak 100 buah yang berasal dari sisir bagian atas pada berbagai tingkat kemasakan yang ditunjukkan dari warna hijau masak sampai kuning masak. Tingkat kemasakan pisang ditentukan dari warna kulit pisang. Jumlah masing-masing pisang dari 7 (tujuh) tingkat kemasakan antara 10-15 buah. Pisang sebagai sampel tidak semuanya berasal dari tandan yang sama tetapi mempunyai varietas yang sama. Setelah buah dibersihkan, buah disimpan selama 30 menit pada suhu ruang 28-30 °C untuk selanjutnya dilakukan analisis. Analisis dilakukan di Laboratorium Fisika Hayati, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, UGM.

Penentuan Nilai Warna RGB dan Lab

Warna kulit pisang diukur pada 3 (tiga) titik pada kulit pisang. Warna ditentukan menggunakan colormeter (TES 135) dan dinyatakan dalam nilai R (*Red*), G (*Green*), dan B (*Blue*) serta *Lightness* (L), *redness* (a), dan *yellowness* (b).

Penentuan Nilai Brix dan pH

Brix ditentukan berdasarkan rata-rata dari 3 (tiga) kali pengukuran dari bubuk pisang (Gardjito dan Wardana, 2003) menggunakan refraktometer digital (ATAGO CO., Ltd., Japan). Nilai pH ditentukan berdasarkan 3 (tiga) kali pengukuran menggunakan pH meter pada suhu ruang 28-30 °C.

Analisis Data

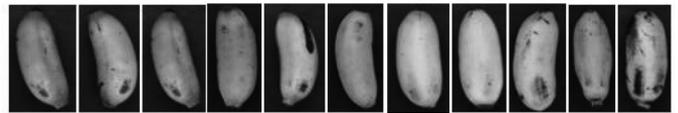
Data warna RGB dan Lab yang diperoleh dari colormeter dipindahkan ke MS-Excel untuk perhitungan lanjutan yaitu R, G, B, R², G², B², R×G, R×B, G×B dan L, a, b, L², a², b², L×a, L×b, a×b. Selanjutnya, semua parameter warna RGB dan Lab, serta parameter Brix dan pH dari masing-masing sampel dipindahkan ke program multivariate analysis menggunakan The Unscrambler® X 10.3 (CAMO, AS, OLSO, Norway, versi trial) untuk analisis Multiple Linear Regression (MLR). Oleh karena itu terdapat 9 (sembilan) variabel independen (parameter warna) dan 2 (dua) variabel dependen atau respon yaitu Brix dan pH. Pemilihan variabel independen berdasarkan variabel yang memiliki korelasi tertinggi dengan y. Untuk variabel x_i yang dipilih, koefisien regresi diperoleh, dan jika koefisien tersebut dianggap signifikan maka variabel x_i dipertahankan dan variabel lain yang dipilih sesuai dengan yang parsial koefisien korelasi.

Sebelum membangun model kalibrasi MLR dilakukan pemilihan sampel yang digunakan sebanyak 70 dari 100 total sampel dan sisanya 30 sampel digunakan sebagai validasi untuk menguji model. Beberapa model kalibrasi dilakukan dan akurasi ditentukan berdasarkan koefisien korelasi (r), *Standar Error of Prediction* (SEP), dan bias. Model yang baik adalah berdasarkan korelasi r yang tinggi serta SEP dan bias terkecil (Williams, 2001). Selanjutnya dengan menggunakan data validasi maka model yang terpilih diuji untuk memprediksi Brix dan pH dari pisang. Hubungan antara nilai observasi dan prediksi dari model MLR dinilai dari R² (koefisien determinasi). Semakin tinggi nilai R² maka model akan semakin baik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai Warna dan Parameter Internal Pisang

Sampel pisang yang digunakan pada penelitian disajikan pada Tabel 1. Pisang yang digunakan sebagai sampel mempunyai variasi warna yang cukup luas (Gambar 1), terlihat dari nilai warna RGB dan Lab, yang menunjukkan tingkat kematangan yang berbeda-beda pula. Variasi tingkat kematangan pisang juga ditunjukkan dari nilai Brix dengan rentang cukup luas meskipun untuk pH rentang nilainya hanya kecil.



Gambar 1. Sampel pisang yang digunakan dalam berbagai warna dan tingkat kematangan

Sejalan dengan tingkat kematangannya, warna pisang akan berubah dari warna hijau ke kuning, seperti yang dinyatakan oleh Imsabai dkk. (2006) bahwa terjadi kenaikan nilai a selama pemasakan. Mendoza dan Aguilera (2004) juga menemukan bahwa secara umum terjadi kenaikan nilai a dan penurunan nilai L dan b pada pisang selama pemasakan karena terjadinya kehilangan klorofil yang menyebabkan degradasi warna hijau.

Nilai warna RGB jarang digunakan untuk menjelaskan fenomena fisiologi pada buah, namun pada penelitian ini nilai warna tersebut diukur dan digunakan pada pengembangan model agar dapat dibandingkan hasilnya dengan nilai warna Lab. Dari Tabel 1 tampak bahwa nilai RGB dari semua sampel yang digunakan mempunyai rentang yang cukup lebar, mulai dari sampel pisang warna hijau sampai kuning (Gambar 1) mempunyai nilai R antara 41,91–258,45, mempunyai nilai G antara 137,75–199,25, serta nilai B antara 59,26–94,26.

Sedangkan dari parameter internal, yaitu angka kemanisan atau Brix menunjukkan rentang nilai yang cukup lebar yaitu pisang paling manis yang berwarna kuning mempunyai nilai Brix 29,8 dan nilai Brix dari pisang yang paling hijau ditunjukkan oleh angka 9,9. Brix merupakan satuan dari Total Padatan Terlarut (TPT) dan biasa digunakan sebagai ukuran kesukaan konsumen. Pada pisang, saat pemasakan terjadi kenaikan gula karena pati dikonversi ke dalam padatan terlarut, total gula pada pisang masak penuh terdiri atas sukrosa lebih dari 70 % (Liew dan Lau, 2012). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa Brix pisang saat pemasakan juga mengalami kenaikan.

Nilai pH yang menunjukkan tingkat keasaman merupakan ukuran aktivitas dari ion hidrogen bebas. Untuk sampel pisang yang digunakan tampak bahwa dari pisang yang masih hijau sampai dengan yang masak berwarna kuning mempunyai nilai keasaman (pH) antara 4,83-5,94. Nilai ini sesuai dengan hasil pengukuran yang dilakukan Alkarkhi dkk. (2011) bahwa pH pisang dari yang mentah sampai masak yang berkisar antara 4,80 dan 5,47. Keasaman pada pisang terutama disebabkan oleh keasaman pada vakuola yang dipengaruhi oleh komposisi ionnya yaitu asam organik dan kation mineral. Saat pemasakan, asam oksalat menghilang karena hidrolisis pati, sehingga asam malat dan asam sitrat menjadi kontributor utama terhadap keasaman pisang (Etienne dkk., 2013).

Tabel 1. Karakter statistik parameter dari sampel pisang yang digunakan pada penelitian

Parameter	Min-maks	Rerata	Standar deviasi
R	41,91–258,45	184,34	58,76
G	137,75–199,25	174,72	11,64
B	59,26–94,26	75,46	7,67
L	55,79–78,56	70,81	4,82
a	-25,23–15,86	-0,26	11,39
b	32,95–55,32	47,12	5,57
Brix (°)	9,90–29,80	25,21	5,41
pH	4,83–5,94	5,23	0,31

Kalibrasi Model *Multiple Linier Regression* (MLR) untuk Memprediksi Brix

Pengembangan model MLR untuk memprediksi Brix berdasarkan nilai warna RGB dan Lab dilakukan dengan menggunakan berbagai variasi model yang melibatkan semua elemen warna RGB dan Lab. Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan beberapa model MLR yang disusun disertai nilai korelasi (r), SEP, serta bias. Model yang baik adalah berdasarkan r yang tinggi dengan SEP dan Bias yang rendah (Williams dkk., 2001).

Nilai SEP paling kecil (2,94), serta nilai korelasi (r) yang terbesar (0,86) diperoleh dari model MLR nomer 3. Model MLR nomer 3 juga mempunyai nilai bias ($1,49 \times 10^{-2}$) yang paling kecil. Model 4 mempunyai nilai yang mendekati model 3, yaitu mempunyai nilai korelasi yang cukup tinggi (0,82), dengan nilai SEP dan bias yang rendah pula, yaitu 3,28 dan $1,48 \times 10^{-2}$. Meskipun demikian, model 4 mempunyai persamaan yang lebih sederhana dibandingkan model 3, sehingga model 4-lah yang dipilih sebagai model terbaik. Dari model 4 dapat dinyatakan bahwa prediksi nilai Brix pisang dipengaruhi oleh nilai warna R dan R, serta interaksi antara R dan G.

Model MLR untuk memprediksi nilai Brix berdasarkan nilai Lab disajikan pada Tabel 3. Dari tabel tersebut tampak bahwa model terbaik berdasarkan nilai korelasi, SEP dan bias diperoleh dari model 2, 3, dan 4. Model 3 yang dipilih sebagai model terbaik karena mempunyai nilai korelasi terbesar (0,89), serta nilai SEP dan bias terkecil (2,49 dan $-1,92 \times 10^{-2}$). Selain daripada itu, model 3 juga dipilih karena mempunyai persamaan yang lebih sederhana sehingga lebih mudah dalam perhitungan. Model 3 menunjukkan bahwa nilai a, yang menunjukkan nilai ‘redness’, serta nilai b, yang menunjukkan nilai ‘yellowness’ mempunyai peran yang besar pada penentuan kadar Brix pada pisang. Pada pisang, kemasakan diikuti perubahan warna karena sintesis klorofil

sehingga buah menjadi lebih kuning, serta terjadi kenaikan total padatan terlarut (Brix) (Prabha dan Bhagyalakshmi, 1998). Komponen L, yang menunjukkan *brightness* yaitu nilai dari hitam ke putih, tidak mempunyai peran signifikan dalam memprediksi Brix. Hal ini tampak dari model 1 yang mempunyai nilai r, SEP, dan bias yang paling buruk dibandingkan model yang lain.

Model MLR untuk memprediksi Brix berdasarkan parameter RGB dan Lab sudah dapat dikatakan merupakan model yang baik karena mempunyai nilai korelasi yang tinggi, serta SEP dan bias yang rendah. Nilai korelasi yang tinggi (0,8) menunjukkan bahwa model dapat digunakan untuk melakukan *screening* serta melakukan pendekatan kalibrasi terhadap data Brix, serta dapat digunakan untuk prediksi Brix secara baik (William, 2001). Model MLR untuk prediksi Brix pisang dengan menggunakan parameter warna Lab menghasilkan model prediksi yang lebih baik dibandingkan dengan warna RGB.

Kalibrasi Model *Multiple Linier Regression* (MLR) untuk Memprediksi pH

Tabel 4 menunjukkan model kalibrasi MLR yang digunakan untuk memprediksi pH pada pisang berdasarkan warna RGB kulit pisang. Tampak bahwa seluruh model mempunyai hasil yang serupa, yaitu mempunyai nilai korelasi 0,7 serta mempunyai nilai SEP yang sama yaitu 0,2. Apabila ditinjau dari nilai bias terkecil, maka model 3 merupakan model yang terbaik. Namun demikian, model 3 mempunyai komponen yang cukup rumit karena mengandung banyak variabel sehingga model 4-lah yang dipilih sebagai model terbaik untuk memprediksi pH buah pisang. Pada model 4 tampak bahwa semua komponen warna RGB digunakan sebagai variabel dalam memprediksi pH pisang.

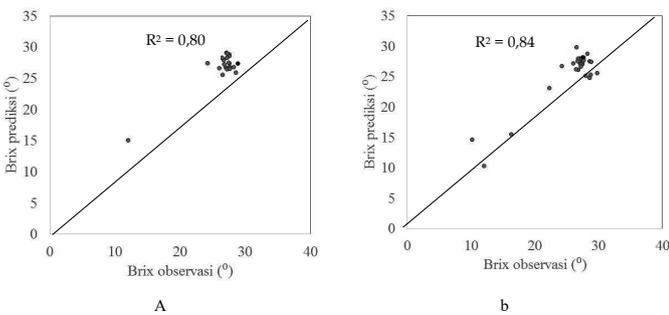
Model MLR untuk memprediksi pH berdasarkan warna Lab ditunjukkan pada Tabel 5. Dari tabel tersebut tampak bahwa model 2 dan 5 mempunyai nilai korelasi yang sama, dengan nilai SEP yang hampir sama. Akan tetapi model 5 mempunyai nilai bias yang lebih rendah, sehingga model 5-lah yang dipilih sebagai model terbaik untuk memprediksi pH berdasarkan nilai Lab. Sama dengan model MLR untuk prediksi Brix, maka jika dilihat dari variabel penyusun model MLR, maka hanya nilai a dan b dari kulit pisang saja yang mempunyai peran signifikan untuk memprediksi kadar pH pada pisang.

Model MLR untuk prediksi pH berdasarkan parameter RGB dan Lab mempunyai nilai korelasi yang tinggi, serta SEP dan bias yang rendah. Nilai korelasi lebih besar dari 0,5 menunjukkan batas korelasi yang baik untuk sebuah model. Nilai SEP dan bias yang diperoleh juga kecil, sehingga model sudah cukup baik untuk digunakan dalam *screening* data kalibrasi selanjutnya (William, 2001). Model MLR

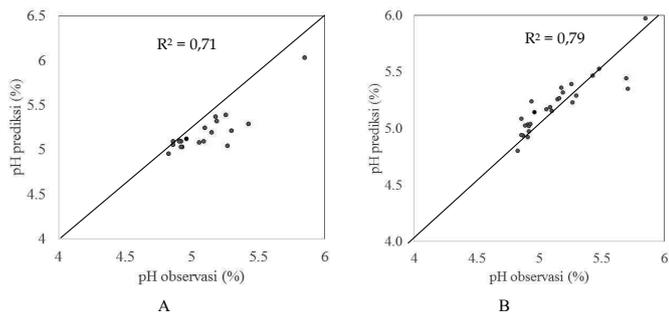
untuk prediksi pH pisang menghasilkan model prediksi yang lebih baik dengan menggunakan parameter warna Lab dibandingkan dengan warna RGB.

Prediksi Brix Berdasarkan Parameter Warna RGB Menggunakan MLR

Untuk mengetahui kinerja model kalibrasi MLR yang telah dipilih, seluruh koefisien regresi yang diperoleh digunakan untuk memprediksi Brix dan pH pisang dengan menggunakan sampel untuk validasi. Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan hubungan antara Brix aktual dan prediksi serta pH aktual dan prediksi dengan menggunakan MLR model yang terpilih (Tabel 2 sampai 5). Gambar 2 menunjukkan koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh antara Brix prediksi dan observasi menggunakan MLR berdasarkan nilai warna RGB dan Lab adalah 0,8 dan 0,84, secara berurutan. Sedangkan koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh antara pH prediksi dan observasi berdasarkan nilai warna RGB dan Lab adalah 0,71 dan 0,79, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Dapat dikatakan bahwa model MLR berdasarkan warna Lab lebih baik dalam memprediksi Brix dan pH dibandingkan jika menggunakan warna RGB. Uji-t ($p < 0,05$) menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan antara nilai observasi dan prediksi, baik untuk Brix maupun pH. Hubungan tersebut mengkonfirmasi bahwa parameter warna RGB dan Lab dapat digunakan untuk memprediksi Brix dan pH buah pisang.



Gambar 2. Brix aktual vs prediksi pisang menggunakan model MLR berdasarkan parameter (a) RGB dan (b) Lab.



Gambar 3. pH aktual vs prediksi pisang menggunakan model MLR berdasarkan parameter (a) RGB dan (b) Lab.

Tabel 2. Model MLR yang digunakan untuk menentukan Brix berdasar nilai warna RGB

Variabel	Model	r	SEP	Bias
R, G, B	$Brix = 11,36 + (1,42 \times 10^{-2}) R + (7,47 \times 10^{-2}) G + 0,10 B$	0,83	3,18	$6,13 \times 10^{-3}$
R, G	$Brix = -5,89 + (6,44 \times 10^{-2}) R + 0,11 G$	0,79	3,49	$2,73 \times 10^{-2}$
R, G, R^2 , G^2 , RG	$Brix = -100,17 + 0,26 R + 1,12 G - (6,9 \times 10^{-4}) R^2 - (3,17 \times 10^{-3}) G^2 + (1,38 \times 10^{-4}) RG$	0,86	2,94	$1,49 \times 10^{-2}$
R, G, RG	$Brix = -62,31 + 0,40 R + 0,45 G - (2 \times 10^{-3}) RG$	0,82	3,28	$1,48 \times 10^{-2}$
R^2 , G^2	$Brix = 5,77 + (1,74 \times 10^{-4}) R^2 + (4,06 \times 10^{-4}) G^2$	0,73	3,91	$2,75 \times 10^{-2}$
R, RG	$Brix = 11,41 + (2,08 \times 10^{-2}) R + (2,93 \times 10^{-4}) RG$	0,77	3,63	$2,89 \times 10^{-2}$

Tabel 3. Model MLR yang digunakan untuk menentukan Brix berdasar nilai warna Lab

Variabel	Model	r	SEP	Bias
L, a, b	$Brix = -6,45 + (4,04) \times 10^{-2} L + 0,11a + 0,61b$	0,77	3,65	$-6,46 \times 10^{-3}$
a, b, a^2 , ab	$Brix = 1,81 + 2,28a + 0,52b + (9,29 \times 10^{-3}) a^2 - 0,048 ab$	0,89	2,57	$2,84 \times 10^{-2}$
a, b, ab	$Brix = 6,33 + 1,79a + 0,44b - (3,79 \times 10^{-2}) ab$	0,89	2,49	$-1,92 \times 10^{-2}$
a, b, a^2 , b^2 , ab	$Brix = -44,5 + 1,99 a + 2,58 b + (1,09 \times 10^{-2}) a^2 - (2,27 \times 10^{-2}) b^2 - (4,16 \times 10^{-2}) ab$	0,89	2,58	$-5,39 \times 10^{-2}$
a^2 , b^2	$Brix = 17,96 - (2,24 \times 10^{-2}) a^2 + (4,42 \times 10^{-3}) b^2$	0,83	3,16	$-1,4 \times 10^{-3}$
a, b, b^2	$Brix = -129,94 + 0,12a + 6,45b - (6,61 \times 10^{-2}) b^2$	0,85	3,02	$-7,77 \times 10^{-2}$

Bias = beda rata-rata antara data aktual dan prediksi

r = koefisien korelasi

SEP = square error of prediction

Tabel 4. Model MLR yang digunakan untuk menentukan pH berdasar nilai warna RGB

Variabel	Model	R	SEP	Bias
G, B, R^2 , G^2 , RG	$pH = 15,50 - 0,123G + (8,73 \times 10^{-3}) B + (5,56 \times 10^{-5}) R^2 + (3,96 \times 10^{-4}) G^2 - (1,11 \times 10^{-4}) RG$	0,71	0,21	$-2,7 \times 10^{-4}$
R, G, R^2 , G^2 , RG	$pH = 15,311 - (1,45 \times 10^{-2}) R - 0,10G + (6,06 \times 10^{-3}) R^2 + (3,07 \times 10^{-4}) G^2 - (3,53 \times 10^{-5}) RG$	0,70	0,22	$4,67 \times 10^{-4}$
R, G, B, R^2 , G^2 , RG	$pH = 11,98 - (1,45 \times 10^{-2}) R - (6,69 \times 10^{-2}) G + 8,73 \times 10^{-3} B + (4,85 \times 10^{-5}) R^2 + (1,82 \times 10^{-4}) G^2 - (1,28 \times 10^{-5}) RG$	0,71	0,21	$1,11 \times 10^{-4}$
R, B, R^2 , RG	$pH = 5,93 - (1,21 \times 10^{-2}) R + (9,36 \times 10^{-3}) B + (5,16 \times 10^{-5}) R^2 - (3,37 \times 10^{-5}) RG$	0,72	0,21	$1,41 \times 10^{-3}$
R, R^2 , B^2 , RG	$pH = 6,28 - (1,21 \times 10^{-2}) R + (5,15 \times 10^{-5}) R^2 + (6,22 \times 10^{-5}) B^2 - (3,4 \times 10^{-5}) RG$	0,72	0,21	$1,66 \times 10^{-3}$
R, B, R^2 , G^2	$pH = 6,33 - (1,59 \times 10^{-2}) R + (1,03 \times 10^{-2}) B + (4,57 \times 10^{-5}) R^2 - (2,16 \times 10^{-5}) G^2$	0,72	0,21	$5,19 \times 10^{-4}$

Tabel 5. Model MLR yang digunakan untuk menentukan pH berdasar nilai warna Lab

Variabel	Model	R	SEP	Bias
a, b, a ² , b ² , ab	$pH = 8,41 - 0,11a - 0,12b + (8,06 \times 10^{-5})a^2 + (1,09 \times 10^{-3})b^2 + (2,74 \times 10^{-3})ab$	0,85	0,16	-6,7×10 ⁻⁴
a, b, ab	$pH = 6,26 - 0,13a - (2,48 \times 10^{-2})b + (3,24 \times 10^{-3})ab$	0,86	0,15	-9,3×10 ⁻⁴
L, a, ab	$pH = 6,22 - (1,61 \times 10^{-2})L - 0,16a + (3,62 \times 10^{-3})ab$	0,83	0,17	-8,4×10 ⁻⁴
a ² , b ² , ab	$pH = 5,33 + (1,88 \times 10^{-3})a^2 + (1,88 \times 10^{-3})b^2 + (1,88 \times 10^{-3})ab$	0,77	0,19	1,73×10 ⁻³
a, b ² , ab	$pH = 5,69 - 0,14a - (2,70 \times 10^{-4})b^2 + (3,35 \times 10^{-3})ab$	0,86	0,16	-1,1×10 ⁻³
b, a ² , ab	$pH = 5,74 - (1,56 \times 10^{-2})b + (1,81 \times 10^{-3})a^2 + (3,37 \times 10^{-3})ab$	0,78	0,19	1,93×10 ⁻³

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa baik parameter warna RGB maupun Lab dari kulit pisang dapat digunakan untuk memprediksi Brix dan pH pisang dengan menggunakan model *Multiple Linier Regression* (MLR). Nilai warna RGB serta a dan b signifikan berpengaruh untuk memprediksi Brix dan pH pada pisang. Model kalibrasi MLR dapat memprediksi Brix berdasarkan nilai RGB dan Lab dengan nilai koefisien determinasi (R²) antara observasi dan prediksi sebesar 0,8 dan 0,84, secara berurutan. Sedangkan koefisien determinasi (R²) yang diperoleh antara pH prediksi dan observasi berdasarkan nilai warna RGB dan Lab adalah 0,71 dan 0,79.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkarkhi, A., Ramli, S.Y., dan Easa, A. (2011). Comparing physicochemical properties of banana pulp and peel flours prepared from green and ripe fruits. *Food Chemistry* **129**: 312–318.
- CAMO (2011). *Multivariate Data Analysis*. http://www.camo.com/multivariate_analysis.html. [20 September 2011].
- Chen, C., & Ramaswamy, H. (2002). Color and Texture Change Kinetics in Ripening Bananas. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* **35**: 415–419.
- Clement, A., Dorais, M., dan Vernon, M. (2008). Nondestructive measurement of fresh tomato lycopene content and other physicochemical characteristics using Visible-NIR spectroscopy. *J.Agric. Food Chem.* **56**: 9813-9818.
- Cozzolino, D., Cynkar, W., Shah, N., dan Smith, P. (2011). Multivariate data analysis applied to spectroscopy: Potential application to juice and fruit quality. *Food Research International* **44**: 1888–1896.
- Dardenne, P., Sinnaeve, G., dan Baeten, V. (2000). Multivariate calibration and chemometrics for near infrared spectroscopy: which method? *J. Near Infrared Spectrosc.* **8**: 229-237.
- Esteban-Diez, I., Gonzalez-Saiz, J., dan Pizarro, C. (2004). Prediction of roasting colour and other quality parameters of roasted coffee sampels by near infrared spectroscopy. A feasibility study. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* **12**: 287-297.
- Etienne, A., Génard, M., Bancel, D., Benoit, S., & Bugaud, C. (2013). A model approach revealed the relationship between banana pulp acidity and composition during growth and post harvest ripening. *Scientia Horticulturae* **162**: 125–134.
- Gardjito, M., dan Wardana, A. S. (2003). *Hortikultura Teknik Analisis Pasca Panen*. Yogyakarta: Transmedia Global Wacana.
- Imsabai, W., Ketsa, S., & van Doorn, W. (2006). Physiological and biochemical changes during banana ripening and finger drop. *Postharvest Biology and Technology* **39**: 211–216.
- Jha, S. N., Chopra, S., & Kingsly, A. R. (2007). Modeling of color values for nondestructive evaluation of maturity of mango. *Journal of Food Engineering* **78**: 22–26.
- Li, M., Slaughter, D., & Thompson, J. (1997). Optical chlorophyll sensing system for banana ripening. *Postharvest Biology and Technology* **12**: 273–283.
- Liew, C., & Lau, C. (2012). Determination of quality parameters in Cavendish banana during ripening by NIR spectroscopy. *International Food Research Journal* **19**: 751-758 .
- Lou, H., Hu, Y., Zhang, L., Sun, P., & Lu, H. (2012). Nondestructive evaluation of the changes of total flavonoid, total phenols, ABTS and DPPH radical scavenging activities, and sugars during mulberry (*Morus alba* L.) fruits development by chlorophyll fluorescence and RGB intensity values. *LWT - Food Science and Technology* **47**: 19-24.
- Masithoh, R. E., Rahardjo, B., Sutiarmo, L., & Harjoko, A. (2011). Pengembangan computer vision system sederhana untuk menentukan kualitas tomat. *Agritech* **31**: 116-123.

- Masithoh, R., & Kusuma, N. (2011). Segmentasi ganda pengolahan citra untuk menentukan luas browning pada pisang. *Agrotekno* **6**: 34-38.
- Mendoza, F., & Aguilera, J. M. (2004). Application of image analysis for classification of ripening bananas. *Journal of Food Science* **69**: 471-477.
- Nicolaï, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K. I., dan Lammertyn, J. (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology* **46**: 99-118.
- Prabha, T., & Bhagyalakshmi, N. (1998). Carbohydrate metabolism in ripening banana fruit. *Phytochemistry* **48**: 915-919.
- Quevedo, R., Mendoza, F., Aguilera, J. M., Chanona, J., & Gutiérrez-López, G. (2008). Determination of senescent spotting in banana (*Musa cavendish*) using Fractal Texture Fourier image. *Journal of Food Engineering* **84**: 509-515.
- Salvador, A., Sanz, T., & Fiszman, S. (2007). Changes in colour and texture and their relationship with eating quality during storage of two different dessert bananas. *Postharvest Biology and Technology* **43**: 319-325.
- Williams, P. (2001). Implementation of near-infrared technology. Dalam: P. Williams, & K. Norris. *Near-infrared technology in the agricultural and food industries*. Minnesota, American Association of Cereal Chemists, Incorporation.