

PENGUKURAN TINGKAT KEMATANGAN BUAH PISANG CAVENDISH BERDASARKAN REFLEKTANSI CAHAYA LED MEASUREMENT OF CAVENDISH BANANA RIPENESS STAGE BASED ON LED LIGHT REFLECTANCE

Eko Kuncoro Pramono

*Pusat Penelitian Teknologi Tepat Guna Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Jl.K.S.Tubun No. 5 Subang, Jawa Barat*

E-mail: pramono.ekokuncoro@gmail.com

ABSTRAK

Penentuan tingkat kematangan buah pisang cavendish biasanya dilakukan secara manual dengan membandingkan warna kulit buah pisang dengan bagan warna standar. Hal ini mempunyai kekurangan yaitu tidak konsisten dan sangat subyektif tergantung dari keahlian operator. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan hasil pengukuran tingkat kematangan buah pisang cavendish yang lebih akurat, mudah dan tidak merusak (non destruktif). Pengukuran kematangan buah pisang dilakukan berdasarkan faktor reflektansi cahaya, yaitu cahaya hijau (500-560 nm), jingga (580-610 nm), dan merah (600-650 nm) yang diperoleh dari LED. Sebuah spektrofotometer pada rentang spektrum 350-700 nm digunakan sebagai pembanding dalam penelitian ini, dengan sumber cahaya berasal dari lampu halogen untuk dapat memenuhi rentang panjang gelombang pada spektrofotometer. Hasil terbaik didapatkan dari pengukuran nilai reflektansi dengan cahaya merah (600-650 nm), dimana didapatkan nilai reflektansi sebesar 30%-39%, 39%-49%, 49%-59%, 59%-67% dan di atas 67% untuk tingkat kematangan 2,3,4,5 dan 6. Pengujian dengan menggunakan 71 sampel pada tingkat kematangan 2 sampai dengan 6 menghasilkan pengukuran 55 benar (77%), 11 kurang matang satu tingkat (16%) dan 5 lebih matang satu tingkat (7%). Sistem pemindaian (*scanning*) pada seluruh permukaan kulit pisang atau penggunaan citra kamera digital juga dapat dilakukan untuk meningkatkan akurasi hasil pengukuran.

Kata Kunci: pisang cavendish, pengukuran tingkat kematangan, reflektansi, spektrofotometer

ABSTRACT

Eko Kuncoro Pramono, 2020. Measurement of Cavendish Banana Ripeness Stage Based on LED Light Reflectance

The determination of the ripeness stage of cavendish bananas is usually done manually by comparing banana peels with a standard color chart. This has the disadvantage of being inconsistent and very subjective depending on the expertise of the operator. This research was conducted to obtain the results of the measurement of the ripeness stage of cavendish banana which is more accurate, easy and not destructive. The ripeness stage measurement of banana was based on the light reflectance factor, which were green light (500-560 nm), orange (580-610 nm), and red (600-650 nm) obtained from the LEDs. A spectrophotometer in the spectrum range 350-700 nm was used as a comparison in this study, with light sources coming from halogen lamps to be able to meet the wavelength range of the spectrophotometer. The best results were obtained from the measurement of reflectance values with red light, where the reflectance values were 30%-39%, 39%-49%, 49%-59%, 59%-67% and above 67% for the maturity level of 2, 3, 4, 5 and 6. Testing using 71 samples at maturity level 2 to 6 resulted in a prediction of 55 correct (77%), 11 less mature one level (16%) and 5 more mature one level (7%). A scanning system on the entire surface of a banana peel or the using image of digital camera can also be done to improve the accuracy of the measurement results.

Keywords: cavendish banana, ripeness stage prediction, reflectance, spectrophotometer.

PENDAHULUAN

Pisang biasanya dipanen pada kondisi tua hijau untuk menjaga kualitas selama transportasi dan proses pasca panen. Proses pematangan buah pisang terjadi selama penyimpanan. Tahap pematangan dimulai oleh sejumlah gas etilen yang diproduksi secara alami oleh buah pisang atau diperoleh dengan mengekspos buah, untuk jangka waktu yang cukup, ke dalam ruang berkonsentrasi gas etilen¹. Selama tahap pematangan, terjadi beberapa perubahan fisiologis dan kimiawi pada buah pisang, diantaranya adalah daging buah melunak, pati diubah menjadi gula, warna kulit berubah dari hijau ke kuning dan rasa dan aroma terbentuk².

Warna kulit pisang menjadi penanda pertama yang paling mudah diidentifikasi dari proses pematangan buah pisang. Selama pematangan, kulit pisang berubah warna dari hijau menjadi kuning yang disebabkan oleh pengurangan kandungan klorofil dan penambahan pigmen karotenoid dan flavonoid pada kulit pisang³. Warna kulit pisang dapat diindera secara non destruktif dan menjadi penanda yang paling banyak digunakan. Ada tujuh tahap pematangan pisang berdasarkan warna kulitnya: tahap 1 = hijau; tahap 2 = hijau, jejak kuning; tahap 3 = lebih hijau daripada kuning; tahap 4 = lebih kuning dari hijau; tahap 5 = kuning dengan ujung hijau; tahap 6 = semua kuning, dan tahap 7 = kuning, berbintik-bintik coklat⁴. Penentuan tingkat kematangan buah pisang perlu dilakukan untuk mensortir dan mengelompokkan buah pisang sesuai dengan kelas mutunya sebelum pengemasan untuk pasar. Salah satu parameter dalam mengklasifikasikan buah pisang adalah tingkat kematangannya.

Salah satu peneliti yang sudah melakukan kajian ini adalah Adebayo dkk⁵. Dari penelitian yang dilakukan diketahui bahwa kandungan kimia pada daging buah pisang akan berbeda pada setiap tingkat kematangannya. Hal senada juga disampaikan oleh Campuzano⁶, yang melakukan penelitian terkait karakteristik fisikokimia dan nutrisi tepung pisang berdasarkan tingkat kematangan buah pisang. Wang dkk⁷ melakukan penelitian terkait perubahan pati resisten pada kultivar pisang cavendish dan pisang awak pada berbagai tingkat kematangan. Penelitian lain terkait kebutuhan penentuan tingkat kematangan buah pisang juga telah dilakukan. Yap dkk⁸ melakukan penelitian terkait mutu pure buah pisang dikaitkan dengan tingkat kematangan buah pisang. Hal ini menjadi faktor yang membuat penentuan kematangan buah pisang sangat dibutuhkan.

Penentuan tingkat kematangan buah pisang biasanya dilakukan dengan membandingkan warna kulit dengan bagan warna. Metode ini memberikan hasil yang tidak konsisten dan sangat subyektif

berdasarkan keterampilan operator. Selain itu faktor pencahayaan warna juga sangat berpengaruh terhadap hasil pembacaan⁹. Beberapa penelitian telah dilakukan terkait pengukuran tingkat kematangan buah pisang secara non destruktif. Diantaranya, Adi dkk¹⁰ melakukan penelitian terkait perubahan fisikokimia buah pisang sayur (*plantain*) selama pematangan dan didapatkan bahwa nilai a^* pada sistem warna La^*b^* menjadi variabel terbaik dalam memprediksi tingkat kematangan. Zude¹¹ melakukan penelitian untuk memprediksi tingkat kematangan pisang menggunakan spektroskopi VIS-NIR. Hasilnya menunjukkan bahwa ada korelasi yang tinggi antara kandungan klorofil dan kandungan gula pisang. Sanaeifar dkk² berhasil mengembangkan sebuah sistem komputer vision berdasarkan metode *Support Vector Regression* untuk memprediksi indikator kualitas buah pisang.

Zulkifi dkk¹² menggunakan pencitraan hamburan cahaya laser (*laser light backscattering imaging*) pada panjang gelombang 658nm untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan pisang berangan dengan akurasi 94% dan memprediksi total padatan terlarut dengan akurasi 70%. Rajkumar dkk¹³ telah menggunakan pencitraan hiperspektral untuk mempelajari hubungan kualitas dengan tingkat kematangan buah pisang dan berhasil membuat model dengan akurasi tinggi untuk parameter total padatan terlarut (TSS), kelembaban dan ketegasan pisang. Beberapa dengan metode lainnya secara non destruktif juga telah dilakukan oleh peneliti, diantaranya penggunaan karakteristik dielektrik¹⁴⁻¹⁶, karakteristik impedansi¹⁷ dan aplikasi *electronic nose*¹⁸ untuk memprediksi tingkat kematangan buah pisang.

Instrumen yang digunakan antara lain berupa spektrofotometer, kolorimeter, sistem *Computer Vision* dan perangkat pencitraan hiperspektral memberikan hasil yang lebih akurat dan konsisten tetapi masih dianggap mahal dan tidak dirancang untuk penggunaan komersial. Hal ini memberi peluang untuk mengembangkan alat yang cepat, akurat dan tidak merusak dalam menentukan tingkat kematangan buah pisang.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan suatu metode dalam menentukan tingkat kematangan buah pisang secara non destruktif. Adapun metode yang digunakan dalam mengembangkan metode pengukuran tingkat kematangan buah pisang cavendish tersebut adalah didasarkan pada pengukuran nilai reflektansi cahaya dari kulit buah pisang pada spektrum warna hijau (500-560 nm), jingga (580-610 nm), dan merah (600-650 nm) terhadap kulit buah pisang yang berubah selama proses pematangan.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Pisang cavendish (*musa accuminata AAA group*) dengan merek dagang “SUNPRIDE” dipesan dari perusahaan perkebunan pisang pada tingkat kematangan 2 berdasarkan penilaian menurut bagan warna yang ditunjukkan oleh Gambar 1.

Metode

Sampel diukur reflektansi dari cahaya tampak sampai mencapai tingkat kematangan 7. Pengukuran dilakukan setiap hari pada bagian tengah buah yang memberikan pengaruh optimal²⁰ dan selama pengukuran, sampel disimpan pada suhu kamar (26-28°C).

Pengukuran Spektrum Pantulan cahaya

Sebagai perbandingan, sampel diukur nilai reflektansi spektralnya oleh spektrofotometer merk Thorlabs CCS 100 yang memiliki rentang pengukuran panjang gelombang pada 350-700 nm. Iluminasi dipasok oleh lampu tungsten yang diatur untuk memberikan intensitas pencahayaan konstan pada 27000 lux. Intensitas pencahayaan diukur dengan lux meter merek HIOKI yang ditempatkan ke lokasi sampel dari pengukuran spektral. Nilai Reflektansi (R) dihitung sebagai:

$$R = \frac{I_r}{I_0} \quad (1)$$

Dimana I_r dan I_0 adalah intensitas cahaya yang dipantulkan dan sumber cahaya. Karena jarak antara sumber cahaya dan probe spektrofotometer

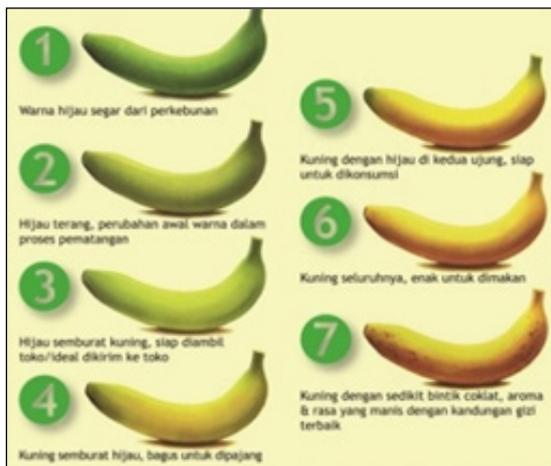
akan mempengaruhi pengukuran intensitas, untuk mempertahankan posisi yang sama antara probe spektrofotometer dengan sumber cahaya selama pengukuran I_r dan I_0 , pengukuran I_0 dilakukan dengan mengukur intensitas cahaya yang dipantulkan permukaan putih (yang didapat dari kertas putih) bukan pengukuran langsung dari sumber cahaya seperti yang terlihat dalam persamaan (2). Dengan menerapkan persamaan (2) ke dalam persamaan (1) didapatkan persamaan baru untuk menghitung nilai R. Dikarenakan tidak ada referensi dari nilai reflektansi kertas putih (R_w) yang digunakan dalam penelitian ini, maka persamaan nilai reflektansi yang digunakan adalah persamaan Reflektansi R' sebagai dilihat dalam persamaan (3). Gambar 2 menunjukkan pengukuran intensitas pantulan cahaya (I_r) dari sampel pisang.

$$I_0 = \frac{I_w}{R_w} \quad (2)$$

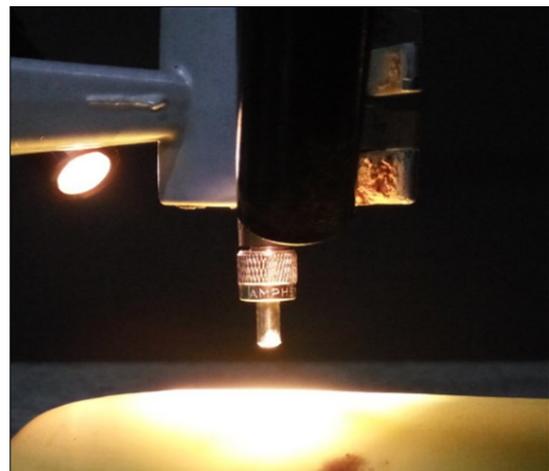
$$R = \frac{I_r}{I_w} R_w \rightarrow R' = \frac{I_r}{I_w} \quad (3)$$

Rangkaian pengukur reflektansi (R')

Untuk dapat melakukan pengukuran tingkat kematangan buah pisang pada rentang spektrum cahaya hijau, jingga dan merah, telah disiapkan rangkaian elektronik yang terdiri dari sebuah rangkaian LED menggunakan 3 jenis LED pada rentang spektrum cahaya tampak, yaitu hijau (500-560 nm, puncak pada 533 nm), jingga (580-610 nm, puncak pada 597 nm), dan merah (600-650 nm, puncak pada 632 nm), sebuah rangkaian fototransistor TEMT6000X01 yang dihubungkan dengan



Gambar 1. Bagan warna standar pisang cavendish “Sunpride” (sumber: www.sunpride.co.id)¹⁹
 Figure 1. Standard color chart of cavendish “Sunpride” (Source: www.sunpride.co.id)¹⁹



Gambar 2. Pengukuran reflektansi spektral kulit pisang oleh Spektrofotometer
 Figure 2. Spectral reflectance measurement of banana peel using spectrophotometer

Pengukuran Tingkat Kematangan Buah Pisang Cavendish Berdasarkan Reflektansi Cahaya LED (Eko Kuncoro Pramono)

pengendali mikro (*microprocessor*) dan sebuah penampil digital untuk menampilkan nilai Reflektansi (R') hasil pengukuran. Rangkaian LED menyinari permukaan sampel dan pantulan cahaya yang terlihat dari permukaan sampel kemudian ditangkap oleh phototransistor sebagai sensor. LED dan sensor disusun pada posisi tetap sehingga menyinari permukaan sampel dan cahaya yang dipantulkan dapat ditangkap oleh sensor secara langsung. Sebagai tambahan, LED dan sensor dilindungi oleh isolator untuk mencegah gangguan cahaya dari luar dan untuk memastikan sampel ditempatkan pada jarak tetap dari LED dan sensor. Gambar 3 menunjukkan sketsa dari sistem sensorik rangkaian pengukur reflektansi (R') yang digunakan dalam penelitian ini. Perhitungan nilai reflektansi memenuhi persamaan (3) seperti pada pengukuran reflektansi dengan menggunakan spektrofotometer.

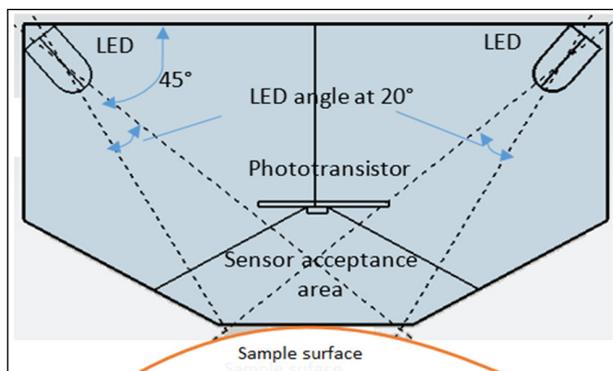
Pengukuran tingkat kematangan buah pisang cavendish dilakukan dengan cara menentukan klasifikasi rentang nilai reflektansi pada setiap tingkat kematangan. Sebanyak 8 buah sampel pisang cavendish dilakukan pengukuran nilai reflektansi mulai dari saat buah pada tingkat kematangan sampai dengan buah masuk pada

tingkat kematangan 7. Pengujian dilakukan menggunakan sampel pisang cavendish yang berbeda. Sebanyak 71 sampel pisang cavendish pada tingkat kematangan 2 sampai dengan 6 menurut penilaian berdasarkan bagan warna, dilakukan pengukuran nilai reflektansi (R') pada cahaya merah dan jingga.

HASIL DAN PEMBAHASAN

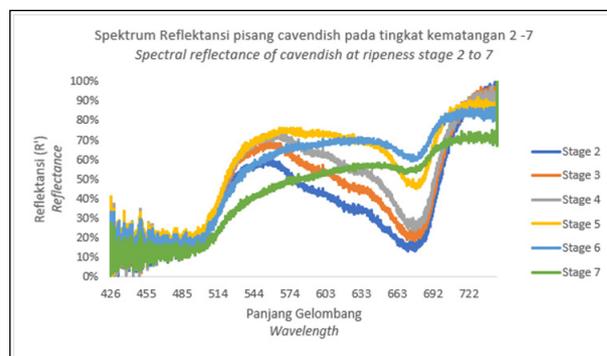
Pengukuran Spektrum Reflektansi

Spektrum reflektansi pisang cavendish ditunjukkan pada gambar 4, yang menunjukkan bahwa intensitas pantulan spektrum meningkat seiring dengan tahap kematangan. Peningkatan tertinggi spektrum terjadi pada panjang gelombang ± 680 nm, yang merupakan daerah spektrum cahaya merah dan merupakan daerah penyerapan cahaya oleh pigmen khlorofil⁴. Kenaikan tertinggi terjadi pada tahap 4 hingga 5, dimana warna kulit pisang pada bagian tengah buah berubah dari kuning sedikit hijau menjadi kuning seutuhnya. Dan pada tingkat kematangan 5 dan 6 terlihat spektrum pantulan cahaya tidak banyak mengalami perubahan. Tetapi pada



Gambar 3. Sketsa dari sistem sensorik perangkat yang diusulkan

Figure 3. Sketch of proposed sensory system
Pengukuran Tingkat Kematangan



Gambar 4. Spektrum reflektansi cahaya pisang cavendish pada tingkat kematangan 2 hingga 7

Figure 4. Spectral reflectance of cavendish at ripening stage 2 to 7.



Gambar 5. Citra sampel buah pisang cavendish pada tingkat kematangan 2 hingga 7

Figure 5. Sample image of cavendish at ripening stage 2 to 7.

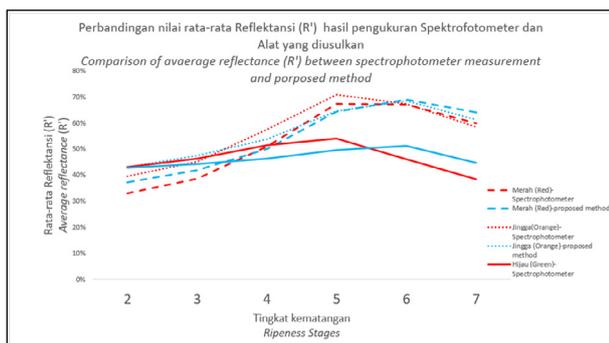
tingkat kematangan 7 spektrum reflektansi mengalami penurunan. Ini terjadi karena munculnya bintik-bintik coklat pada kulit pisang saat memasuki tingkat kematangan 7 dan jumlah titik terus meningkat. sampai pisang menjadi busuk. Hasil yang sama juga disebutkan oleh Gomes dkk²¹. Gambar 5 menunjukkan perubahan warna kulit pisang cavendish dari sampel yang diambil dari tingkat kematangan 2 hingga 7.

Perbandingan Pengukuran Reflektansi Menggunakan Rangkaian Pengukur Reflektansi dan spektrofotometer

Gambar 6 menunjukkan perbandingan pengukuran yang dicapai oleh alat pengukur reflektansi yang dikembangkan dan spektrofotometer untuk setiap cahaya merah, jingga dan hijau. Hasilnya memberikan koefisien korelasi $R^2 = 0,9632$ untuk cahaya merah, $R^2 = 0,9119$ untuk cahaya oranye dan $R^2 = 0,2609$ untuk cahaya hijau.

Hasil Pengukuran Tingkat Kematangan

Gambar 7 menunjukkan pengukuran nilai reflektansi untuk cahaya hijau memberikan hasil yang saling beririsan untuk semua tingkat kematangan, hal ini menyebabkan klasifikasi tingkat kematangan berdasarkan nilai reflektansi cahaya hijau tidak bisa dilakukan. Dan untuk tingkat kematangan 7, nilai reflektansi juga memberikan hasil yang overlap dengan tingkat kematangan 5 dan 6 baik untuk cahaya merah maupun jingga, sehingga klasifikasi tingkat kematangan 7 tidak bisa dilakukan. Sehingga didapatkan klasifikasi tingkat kematangan pisang cavendish berdasarkan



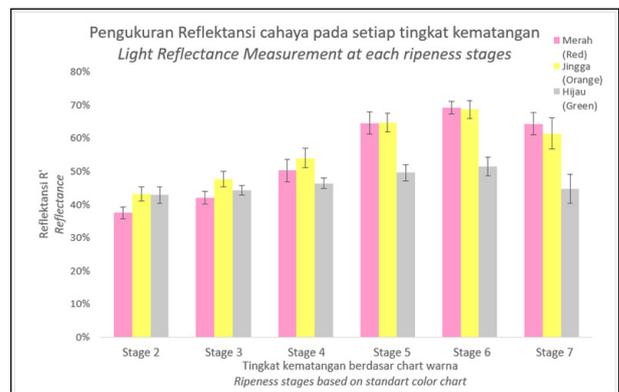
Gambar 6. Perbandingan nilai rata-rata Reflektansi (R') antara spektrofotometer dan prototipe untuk cahaya merah, jingga dan hijau.

Figure 6. Comparison of the Reflectance (R') measurement between spectrophotometer and the proposed method for red, orange and green light.

nilai reflektansi cahaya merah dan jingga seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 1.

Berdasarkan pengujian yang dilakukan terhadap 71 sampel pisang, didapatkan hasil pengukuran tingkat kematangan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8 dan Gambar 9.

Dari hasil pengujian, didapatkan hasil klasifikasi tingkat kematangan pisang berdasarkan nilai reflektansi cahaya merah memberikan nilai akurasi secara keseluruhan yang lebih baik jika dibandingkan dengan hasil klasifikasi tingkat kematangan pisang berdasarkan nilai reflektansi cahaya jingga, yaitu sebesar 77% dan 54%. Nilai akurasi didasarkan pada perbandingan hasil pengukuran tingkat kematangan pisang berdasarkan klasifikasi tersebut dengan tingkat kematangan berdasarkan penilaian chart warna. Pada hasil pengujian



Gambar 7. Pengukuran Reflektansi (R') untuk cahaya merah, jingga dan hijau pada tingkat kematangan 2 sampai dengan 7

Figure 7. Measurements of Reflectance (R') for red, orange and green light at ripening stage 2 to 7.

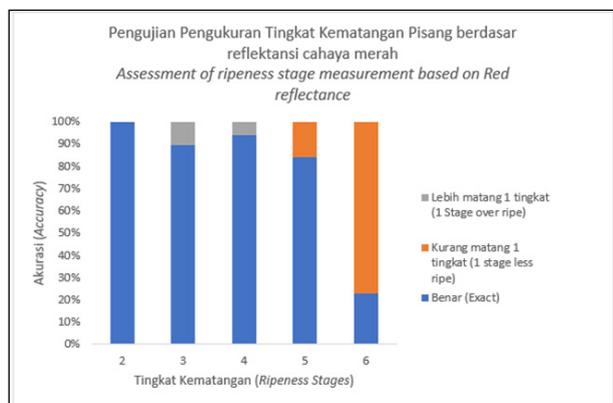
Tabel 1. Klasifikasi Tingkat kematangan pisang cavendish berdasar nilai reflektansi cahaya merah dan jingga.

Table 1. Classification of Cavendish ripening stage based on Reflectance of red and orange light

Tingkat Kematangan (Ripeness Stages)	Reflektansi Merah (Red Reflectance)	Reflektansi Jingga (Orange Reflectance)
2	30%-39%	35%-45%
3	39%-49%	45%-50%
4	49%-59%	50%-58%
5	59%-67%	58%-67%
6	67%-75%	67%-75%

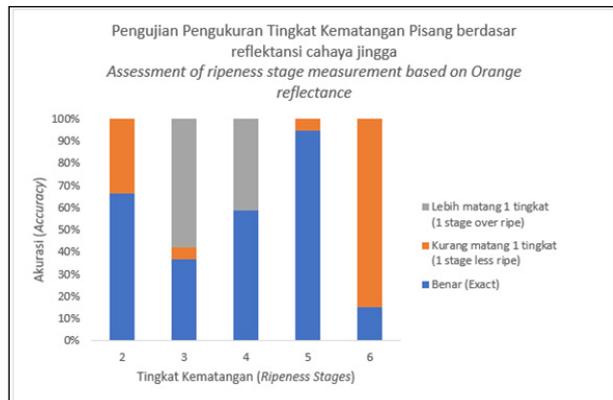
Pengukuran Tingkat Kematangan Buah Pisang Cavendish Berdasarkan Reflektansi Cahaya LED (Eko Kuncoro Pramono)

dengan cahaya merah, pengukuran tingkat kematangan memberikan hasil pengukuran dengan akurasi yang tinggi (sebesar 100%, 89% dan 94%) pada tingkat kematangan 2, 3 dan 4. Sedangkan pada tingkat kematangan 5 dan 6 memberikan hasil pengukuran dengan akurasi yang lebih rendah (sebesar 74% dan 38%)



Gambar 8. Hasil Pengujian Terhadap Pengukuran Tingkat Kematangan pisang berdasarkan reflektansi cahaya Merah.

Figure 8. Testing result of the ripening stage of cavendish based on red light measurement



Gambar 9. Hasil Pengujian Terhadap Pengukuran Tingkat Kematangan pisang berdasarkan reflektansi cahaya jingga.

Figure 9. Testing result of the ripening stage of cavendish based on orange light measurement

KESIMPULAN

Pengukuran tingkat kematangan buah pisang berdasarkan nilai reflektansi cahaya tampak telah dapat dibuat untuk jenis pisang cavendish. Pengukuran

dilakukan berdasarkan reflektansi cahaya hijau (500-560 nm), jingga (580-610 nm), dan merah (600-650 nm), dan hasil terbaik didapatkan pada penggunaan cahaya merah (600-650 nm). Tingkat kematangan buah pisang telah dapat diklasifikasikan berdasarkan nilai reflektansi (R') yang memenuhi rentang nilai reflektansi cahaya merah sebesar 30%-39%, 39%-49%, 49%-59%, 59%-67% dan 67%-75%. Hasil pengujian pengukuran tingkat kematangan buah pisang untuk tingkat kematangan 2-6 menghasilkan hasil terbaik pada pengukuran dengan cahaya merah dengan akurasi 77%. Pengukuran tingkat kematangan memberikan hasil pengukuran dengan akurasi yang tinggi (sebesar 100%, 89% dan 94%) pada tingkat kematangan 2, 3 dan 4. Sedangkan pada tingkat kematangan 5 dan 6 memberikan hasil pengukuran dengan akurasi yang lebih rendah (sebesar 74% dan 38%). Untuk meningkatkan akurasi, pengukuran tingkat kematangan buah pisang dilakukan pada beberapa titik pengukuran dengan menggunakan sistem pemindai permukaan kulit buah pisang (*scanning*), selain itu penggunaan citra kamera juga bisa dilakukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Dr. Endang Juliastuti dan Dr. Fenny Martha Dwivanny yang telah membimbing penulis dalam melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Thompson, A. K. & Burden, O. J. Harvesting and fruit care. in *Bananas and Plantains* 403–433 (Springer Netherlands, 1995). doi:10.1007/978-94-011-0737-2_14
2. Sanaeifar, A., Bakhshipour, A. & de la Guardia, M. Prediction of banana quality indices from color features using support vector regression. *Talanta* **148**, 54–61 (2016).
3. Vu, H. T., Scarlett, C. J. & Vuong, Q. V. Changes of phytochemicals and antioxidant capacity of banana peel during the ripening process; with and without ethylene treatment. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. (2019). doi:10.1016/j.scienta.2019.04.043
4. Li, M., Slaughter, D. C. & Thompson, J. F. Optical chlorophyll sensing system for banana ripening. *Postharvest Biol. Technol.* **12**, 273–283 (1997).
5. Adebayo, S. E., Hashim, N., Abdan, K., Hanafi, M. & Mollazade, K. Prediction of quality attributes and ripeness classification of bananas using optical properties. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. **212**, 171–182 (2016).

6. Campuzano, A., Rosell, C. M. & Cornejo, F. Physicochemical and nutritional characteristics of banana flour during ripening. *Food Chem.* **256**, 11–17 (2018).
7. Wang, J., Tang, X. J., Chen, P. S. & Huang, H. H. Changes in resistant starch from two banana cultivars during postharvest storage. *Food Chem.* (2014). doi:10.1016/j.foodchem.2014.02.012
8. Yap, M., Fernando, W. M. A. D. B., Brennan, C. S., Jayasena, V. & Coorey, R. The effects of banana ripeness on quality indices for puree production. *LWT* **80**, 10–18 (2017).
9. Gomes, J. F. S., Vieira, R. R., De Oliveira, I. A. A. & Leta, F. R. Influence of illumination on the characterization of banana ripening. *J. Food Eng.* **120**, 215–222 (2014).
10. Adi, D. D., Oduro, I. N. & Tortoe, C. Physicochemical changes in plantain during normal storage ripening. *Sci. African* (2019). doi:10.1016/j.sciaf.2019.e00164
11. Zude, M. Non-destructive prediction of banana fruit quality using VIS/NIR spectroscopy. *Fruits* **58**, 135–142 (2003).
12. Zulkifli, N., Hashim, N., Abdan, K. & Hanafi, M. Application of laser-induced backscattering imaging for predicting and classifying ripening stages of “Berangan” bananas. *Comput. Electron. Agric.* **160**, 100–107 (2019).
13. Rajkumar, P., Wang, N., Elmasry, G., Raghavan, G. S. V. & Garipey, Y. Studies on banana fruit quality and maturity stages using hyperspectral imaging. *J. Food Eng.* **108**, 194–200 (2012).
14. Soltani, M., Alimardani, R. & Omid, M. Evaluating banana ripening status from measuring dielectric properties. *J. Food Eng.* **105**, 625–631 (2011).
15. Jamaludin, D., Aziz, S. A. & Ibrahim, N. U. A. Dielectric Based Sensing System for Banana Ripeness Assessment. *Int. J. Environ. Sci. Dev.* **5**, 286–289 (2014).
16. Mohapatra, A., Shanmugasundaram, S. & Malmathanraj, R. Grading of ripening stages of red banana using dielectric properties changes and image processing approach. *Comput. Electron. Agric.* **143**, 100–110 (2017).
17. Chowdhury, A., Kanti Bera, T., Ghoshal, D. & Chakraborty, B. Electrical Impedance Variations in Banana Ripening: An Analytical Study with Electrical Impedance Spectroscopy. *J. Food Process Eng.* **40**, e12387 (2017).
18. Sanaeifar, A., Mohtasebi, S. S., Ghasemi-Varnamkhasti, M. & Ahmadi, H. Application of MOS based electronic nose for the prediction of banana quality properties. *Meas. J. Int. Meas. Confed.* **82**, 105–114 (2016).
19. Pramono, E. K. & Juliastuti, E. Preliminary study on development of a low cost banana ripening stage predictor using visible lights reflectance method. in *Third International Seminar on Photonics, Optics, and Its Applications (ISPhOA 2018)* (eds. Hatta, A. M. & Nasution, A. M.) 8 (SPIE, 2019). doi:10.1117/12.2503349
20. Hou, J. C., Hu, Y. H., Hou, L. X., Guo, K. Q. & Satake, T. Classification of ripening stages of bananas based on support vector machine. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* **8**, 99–103 (2015).
21. Gomes, J. F. S., Vieira, R. R. & Leta, F. R. Colorimetric indicator for classification of bananas during ripening. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. **150**, 201–205 (2013).