

## PENDETEKSIAN THERMAL IMAGE UNTUK TINGKAT KEMATANGAN BUAH PISANG DAN APOKAT

### *THERMAL IMAGE DETECTION FOR FRUIT MATURITIES OF BANANA AND AVOCADO*

Soesiladi Esti Widodo<sup>1\*</sup>, Sri Waluyo<sup>2</sup>, Agus Karyanto<sup>1</sup>, Zulferiyenni<sup>3</sup>,  
Nanda Febrianingrum<sup>4</sup>, Reza Latansya<sup>5</sup>, dan Maya Dwi Putri<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Agronomi dan Hortikultura, <sup>2</sup> Jurusan Teknik Pertanian, <sup>3</sup> Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, <sup>4</sup> Program Studi Magister Agronomi, <sup>5</sup> Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

\*Email: sestiwidodo@gmail.com

\* Corresponding Author, Diterima: 28 Sep. 2022, Direvisi: 12 Jan. 2023, Disetujui: 5 Feb. 2023

#### ABSTRACT

*Banana 'Cavendish' and avocado are climacteric fruits and are perishable after harvest. The facts that both fruits are harvested when they are green make difficulties in detecting fruit maturities. This occurs because the harvest criteria are carried out physically, even though fruits with the same physical criteria may have different levels of physiological maturity. Thermal image (TI) is a non-invasive, non-contact and non-destructive technology used to determine the thermal properties and features of various objects, including fruits. This study aimed to analyze the various levels of fruit maturities of banana 'Cavendish' and avocado fruits with the thermal image method. The results showed that (1) the maturity level of 'Cavendish' bananas could not be represented by the fruit finger diameter, but could be represented by the position of the hand in the bunch, (2) thermal image could distinguish the level of maturity, both the maturity level between each hand on the bunches (<sup>1st</sup> hand had the highest temperature of 28.91°C, <sup>8th</sup> hand had the lowest of 28.71°C), as well as bananas in the ripe (29.17°C) and mature (28.91°C) phases; (3) the mature fruit of avocado had a lower temperature than the immature one, but when the fruit was getting ripe, the mature fruit had a higher temperature than immature one. Thus, it can be stated that the fruit temperature radiations represented by the thermal image of both fruits have the opportunity to be used as a method of detecting the level of maturity in banana 'Cavendish' and avocado fruits.*

**Keywords :** *Avocado, banana, Cavendish, maturity, thermal image*

#### ABSTRAK

Pisang 'Cavendish' dan apokat dikelompokkan ke dalam buah klimakterik dan bersifat mudah rusak setelah dipanen. Fakta bahwa kedua buah tersebut dipanen saat masih hijau menyulitkan pendeteksian kematangan buah. Hal ini terjadi karena kriteria pemanenan dilakukan secara fisik, padahal buah dengan kriteria fisik yang sama dapat memiliki tingkat kematangan fisiologis yang berbeda. Thermal image (TI) adalah teknologi non-invasif, non-kontak dan non-destruktif yang digunakan untuk menentukan sifat termal dan fitur berbagai objek, termasuk buah-buahan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis berbagai tingkat kematangan buah pisang 'Cavendish' dan buah apokat dengan metode citra termal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa (1) bahwa tingkat kematangan (*maturity level*) buah pisang 'Cavendish' tidak bisa diwakili oleh diameter *finger* buah, tetapi bisa diwakili oleh letak sisir dalam tandan, (2) citra termal dapat membedakan tingkat kematangan, baik tingkat kematangan antara masing-masing sisir pada tandan pisang 'Cavendish' (sisir-1 bersuhu tertinggi 28,91°C, sisir-8 bersuhu terendah 28,71°C), maupun pisang pada fase masak (29,17 °C) dan matang (28,91°C); (3) buah apokat matang (*mature*) memiliki suhu yang lebih rendah daripada buah yang belum matang (*immature*), tetapi ketika buah mulai masak, buah yang matang memiliki suhu yang lebih tinggi daripada buah yang belum matang. Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa radiasi suhu tubuh buah yang diwakili oleh citra termal kedua buahnya berpeluang untuk digunakan sebagai metode pendeteksian tingkat kematangan pada buah pisang 'Cavendish' dan apokat.

**Kata kunci :** Apokat, pisang, Cavendish, kematangan, citra suhu

## 1. PENDAHULUAN

Sebagai buah klimakterik, buah pisang ‘Cavendish’ dipanen berdasarkan ciri fisiknya, yaitu berdasarkan diameter jari tengah buah pisang yang diukur dengan alat *skimming* dengan jumlah minimal 38. Angka *skimming* ini menunjukkan bahwa buah siap dipanen, berumur 8-11 minggu setelah dikantongi, dengan tingkat kematangan mencapai 75-80% matang (Hameed, 2008). Permasalahannya adalah bahwa buah dengan kriteria fisik yang sama dapat memiliki tingkat kematangan fisiologis yang berbeda (Santosh *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 1983; Kader, 1999). Akibatnya, selama di perjalanan buah pisang bisa mengalami proses pemasakan dini secara alamiah dengan berbagai tingkat kemasakan. Di dalam agribisnis pisang, hal ini dikenal sebagai *mixed-ripening* (Santosh *et al.*, 2017), dan jika ini terjadi, maka buah pisang bisa ditolak oleh importir di tempat tujuan. Untuk mengatasi masalah pematangan dini ini, diperlukan cara yang lebih efektif untuk membedakan tingkat kematangan pisang ‘Cavendish’ yang salah satunya dengan menggunakan citra termal (*thermal image*).

Berbeda dengan buah pisang pada umumnya yang buahnya bisa masak (*ripe*) di pohon, buah apokat dikenal sebagai buah yang tidak akan masak saat buahnya masih menempel di pohonnya. Akibatnya, buah apokat dipanen pada saat matang (*mature*), berdasarkan kriteria penampakan fisik buahnya (Magwaza & Tesfay, 2015). Penampakan luar, bentuk, ukuran, kekencangan, rasa, dan komposisi nutrisi buah apokat ditetapkan saat panen (Fuchs *et al.*, 1995). Buah apokat mulai dipanen saat buahnya mencapai tingkat kematangan maksimum. Dengan kriteria panen tersebut, buah apokat akan masak tanpa terjadi pengerutan kulit buah (Flitsanov *et al.*, 2000), pemasakan tidak normal, daging buahnya bertekstur kenyal, dan rasa *off-flavor* lainnya (Pak *et al.*, 2003; Gamble *et al.*, 2010). Oleh karena itu, penentuan yang akurat terhadap tingkat kematangan buah apokat merupakan salah satu aspek yang berperan penting dalam menentukan kualitas pascapanennya. Citra termal atau yang dikenal juga sebagai *Infrared (IR) Thermography* (Gurupatham & Wiles, 2019), bisa menjadi alternatif yang lebih obyektif sebagai penentu tingkat kematangannya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis berbagai tingkat kematangan buah pisang ‘Cavendish’ dan buah apokat dengan metode citra termal.

## 2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hortikultura dan Pascapanen, Jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada bulan April-Juni/Juli 2021. Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah buah pisang ‘Cavendish’ dan apokat. Buah pisang ‘Cavendish’ stadium I (hijau) diperoleh dari PT Great Giant Foods (PT GGF), Plantation Group-4 (PG-4), Labuhan Ratu, kabupaten Lampung Timur, provinsi Lampung. Buah apokat terdiri atas lima tingkat kematangan, dan diperoleh dari petani di desa Mengandung Sari, kecamatan Sekampung Udik, kabupaten Lampung Timur.

Sampel buah pisang ‘Cavendish’ diterima dalam dua pengiriman. Pada pengiriman pertama, sampel pisang berbentuk sisir (*hand*; S) berasal dari berbagai tandan pisang dari hari panen yang sama. Kondisi ini menggambarkan awal proses penyortiran di bagian penanganan pascapanen pisang ‘Cavendish’. Pada sampel pengiriman pertama ini, sampel diklasifikasikan menjadi tiga ukuran diameter *skimming*: kecil (<38 mm), sedang (38-42 mm), dan besar (43-48 mm). Sampel pisang Cavendish disiapkan, ditimbang, dan disimpan satu malam pada suhu 26-28 °C agar suhu buah tetap stabil. Objek sampel yang telah disiapkan diambil untuk citra termal satu per satu di dalam chamber pada jarak 25 cm antara kamera infra merah dan objek. Ada 10 sampel untuk setiap diameter sebagai pengulangan. Setiap unit sampel diambil citranya sebanyak tiga kali. Analisis citra termal dilakukan dengan menggunakan Matlab (R2014a) dan dengan membaca suhu yang ditampilkan di bagian tengah buah. Data suhu dan analisis lanjutannya, dianalisis dengan menggunakan analisis varians (ANOVA) dan dilanjutkan dengan uji beda nyata terkecil (LSD) pada nilai kritis 5% dan 15% (Statistik 8).

Pada pengiriman kedua, diterima 10 tandan buah pisang ‘Cavendish’ (stadium I, hijau; sebagai panen segar dengan tingkat kematangan standar) dari PT Great Giant Foods (PT GGF) di Terbanggi Besar, Lampung Tengah, Indonesia. Dari 10 tandan tersebut, dipilih 5 tandan pisang dengan ukuran yang relatif seragam. Pisang kemudian dipisahkan dari tandan dan diberi kode sampel sesuai urutan sisir dari atas tandan, misalnya S1U1 (sisir ke-1, ulangan 1) hingga S8U5 (sisir ke-8, ulangan ke-5). Kemudian dari masing-masing sisir diambil pisang 4 buah (*finger*) untuk digunakan analisis SEM (*scanning electron microscope*), dan citra termal.

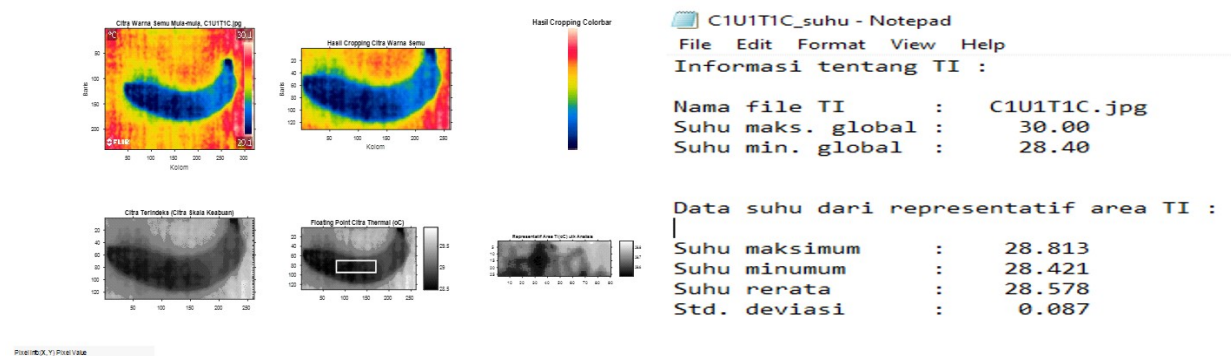
Pada sampel buah apokat, tingkat kematangan (TK) yang digunakan berdasarkan ketuaan/kemudaan, yaitu [(1) K1, buah muda; (2) K2, buah agak muda; (3) K3, buah agak tua; (4) K4, buah tua; (5) K5, buah paling tua]. Sampel dipilih berdasarkan tingkat kematangan yang ditentukan dari waktu panen yaitu, 4 hari sebelum panen sampai dengan 4 hari setelah panen, dan ukuran buah. Diameter diukur setelah sortasi keseragaman buah sesuai tingkat kematangan masing-masing, sehingga rata-rata diameter buah pada TK1 8 cm, TK2 7,6 cm, TK3 7,5 cm, TK4 7,3 cm dan TK5 6,8 cm. Panen dilakukan sesuai dengan praktik petani di daerah tersebut.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kamera citra termal (FLIR F5–XT, akurasi  $\pm 2^\circ\text{C}$ , resolusi 160 x 120 piksel, sensitivitas termal  $< 0,10^\circ\text{C}$ ), ruang pencitraan (60 x 60 x 60 cm), komputer, dan Matlab (R2014a). Prosedur akuisisi citra termal (TI) dilakukan sebagai berikut. Pengamatan TI dilakukan dengan menjaga suhu ruangan pada  $28^\circ\text{C}$ , dan tidak ada kontak fisik dengan buah saat pengambilan gambar untuk menghindari perpindahan panas lokal ke buah. TI dianalisis secara berkala setiap dua hari sampai pisang masak. Sampel buah diaklimatisasi minimal 6 jam untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan akuisisi citra. Peralatan akuisisi TI telah disiapkan, kamera dihidupkan, dan kabel data terhubung ke komputer. Buah itu ditempatkan di bilik (*chamber*) tepat di bawah kamera. Jarak antara kamera dan bagian bawah bilik adalah 25 cm. Untuk setiap sampel buah dilakukan akuisisi TI sebanyak 3 kali dengan selang waktu 2 menit. Data TI yang terekam di komputer diberi nama dengan kode tertentu dan disimpan di komputer untuk langkah analisis pada tahap selanjutnya.

Pengolahan citra termal (TI) dilakukan sebagai berikut (Gambar 1). Pengolahan citra termal

menggunakan program Matlab (R2014a). Algoritma yang dibangun adalah sebagai berikut. File data citra termal tersebut dianalisis dan disimpan dalam memori komputer, kemudian ditentukan *region of interest* (ROI) yang mengambil bagian dari objek citra yang akan menjadi objek pengolahan informasi tersebut. Objek bilah warna diatur untuk menemukan hubungan antara warna dan suhu. Objek citra berwarna yang diperoleh kemudian diubah menjadi objek citra berwarna abu-abu, kemudian dijadikan nilai intensitas sebagai nilai ambang batas. Nilai intensitas citra yang diperoleh kemudian diubah menjadi nilai suhu. Bidang pada objek buah ditentukan sebagai sampel untuk mendapatkan informasi suhu buah, kemudian suhu terendah, suhu tertinggi, nilai suhu rata-rata, dan standar deviasi dihitung dan dicatat (Gambar 1). Terakhir, hasil analisis dicatat dalam file luaran program Matlab. Data TI dan *scanning electron microscope* (SEM) diproses dengan Image J & Matlab. Kedua data tersebut kemudian dianalisis dengan menggunakan analisis varians (ANOVA) dan dilanjutkan dengan uji beda nyata terkecil (BNT) pada taraf nyata 5% dan 15% (Statistik 8).

Analisis SEM dilakukan untuk melihat bagian permukaan kulit dan memberikan informasi tentang porositas dari tiga tingkat kematangan buah pisang ‘Cavendish’. Citra SEM diolah menggunakan metode *unsupervised K-mean clustering*, yaitu pemisahan dan pengelompokan data ke dalam cluster/kelompok. Algoritma untuk melakukan k-means clustering adalah dengan menentukan jumlah kluster yang diinginkan (k), selanjutnya menentukan nilai centroids awal secara acak dan menghitung jarak tiap data terhadap masing-masing centroid. Data dikelompokkan ke dalam sebuah kluster berdasarkan jarak yang paling dekat (minimum), kemudian menghitung ulang (proses *iterasi* atau



Gambar 1. Hasil Pengolahan Citra Termal pada Aplikasi MATLAB

*kalang*) nilai centroids dengan menghitung nilai rerata (mean) dari data pada masing-masing kluster, dan dilakukan hingga nilai centroids tidak lagi mengalami perubahan. Perhitungan jarak antara centroid dengan data dilakukan dengan menggunakan persamaan *Euclidean distance*. Dalam perhitungan porositas kulit buah pisang, *k* ditetapkan nilainya sama dengan 4. Nilai ini diperoleh dari hasil simulasi program yang memberikan penampilan citra dan nilai porositas yang konsisten.

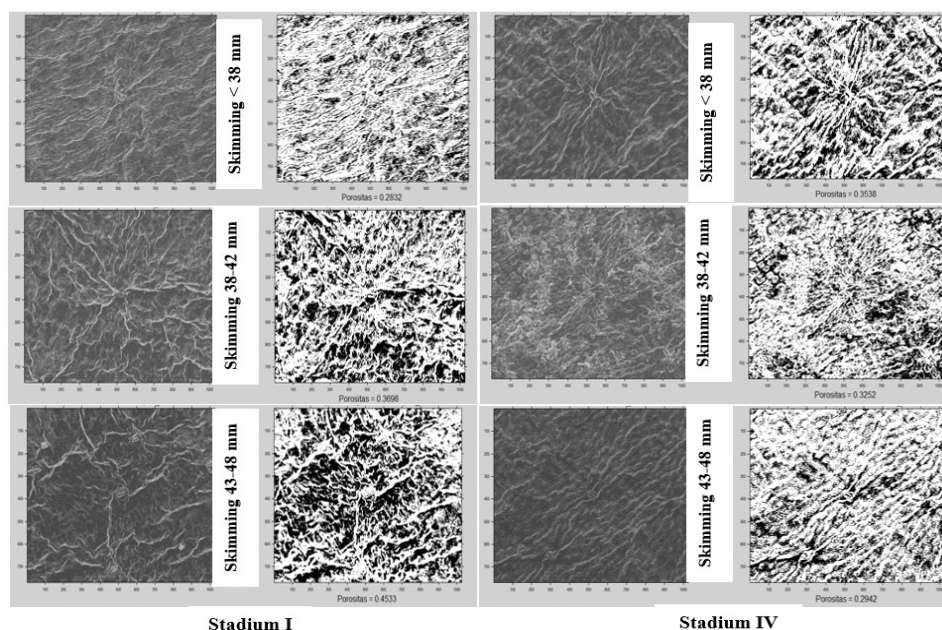
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan kulit buah pisang stadium I (Gambar 2) menunjukkan bahwa buah pisang dengan diameter *finger* <38 mm memiliki nilai porositas rendah, yaitu 0.2832. Keadaan kutikulanya masih bagus. Buah pisang dengan diameter *finger* 38–42 mm memiliki nilai porositas lebih tinggi, yaitu 0.3698, dengan keretakan kutikula yang mulai terlihat. Buah pisang dengan diameter *finger* 4348 mm memiliki nilai porositas tertinggi, yaitu 0.4533, dengan keretakan kutikula yang semakin banyak. Kenaikan tingkat kematangan buah pisang diikuti dengan kenaikan nilai porositas, dan keretakan kutikula semakin terlihat. Ketika buah menuju masak (*ripe*) akan terjadi pemisahan antara sel-sel epidermis. Besarnya pemisahan di antara sel-sel epidermis dapat dinyatakan dalam nilai porositas. Hasil ini sesuai dengan yang dilaporkan oleh Williams *et al.* (1989) yang

melaporkan bahwa buah masak memiliki keretakan lebih tinggi daripada buah belum masak (*unripe*).

Namun, hasil analisis SEM pada kulit buah pisang ‘Cavendish’ yang mengalami proses pemasakan (*ripening*, stadium IV: kulit buah kuning dengan ujung dan tangkai buah kehijauan) menunjukkan hasil yang berbeda dibandingkan saat buah pisang masih di stadium I (hijau). Gambar 2 menunjukkan adanya penurunan nilai porositas dengan peningkatan nilai *skimming* dan peningkatan pemasakan. Buah pisang dengan diameter *finger* <38 mm memiliki nilai porositas tinggi, yaitu 0.3538, dengan keretakan kutikula yang terlihat banyak. Buah pisang dengan diameter *finger* 3842 mm memiliki nilai porositas 0.3252, dengan keretakan kutikula yang juga terlihat banyak. Buah pisang dengan diameter *finger* 4348 mm memiliki nilai porositas 0.2942, dan terlihat kutikula masih bagus, serta keretakan masih sedikit. Hasil ini menekankan kembali bahwa buah dengan kriteria fisik yang sama dapat memiliki tingkat kematangan fisiologis yang berbeda (Santosh *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 1983; Kader, 1999).

Gambar 3 menunjukkan hasil SEM dan analisis porositas dari sampel buah yang disampling berdasarkan tingkat kematangan (*maturity*) sisir pada tandan yang sama. Hasil SEM menunjukkan bahwa sisir ke-1 (stadium lebih matang) memiliki nilai porositas yang lebih tinggi, yaitu sebesar 0,3165 dibandingkan dengan nilai porositas sisir ke-8 (stadium kurang matang), yaitu sebesar 0,2300.



Gambar 2. Analisis Kulit Luar Buah Pisang ‘Cavendish’ Stadium I dan IV Dengan Ukuran *Skimming* Hasil SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan Analisis Porositasnya

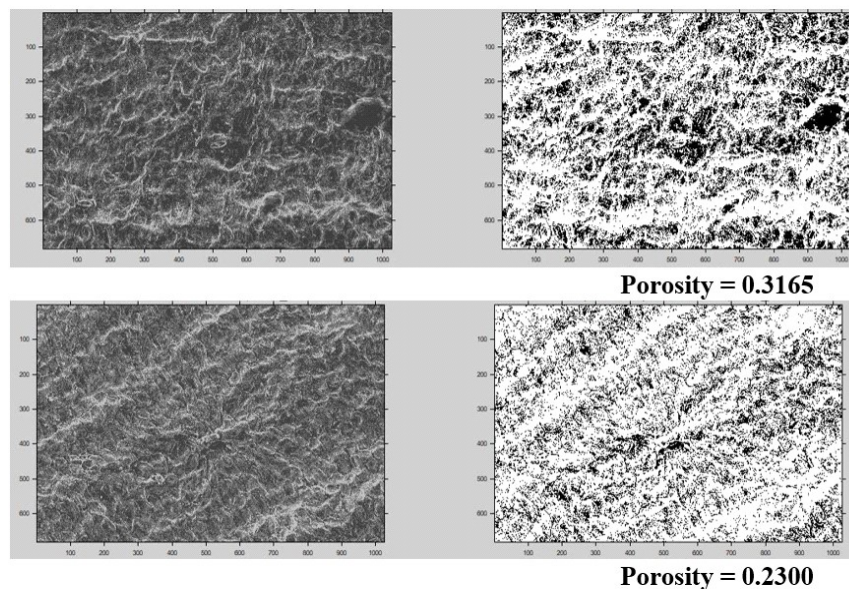
Hasil ini menguatkan hasil sebelumnya di stadium I (Gambar 2) dan sejalan dengan Williams *et al.* (1989). Gejala pemisahan sel dan retakan antarsel muncul karena ketidakmampuan sel kutikula dan epidermis untuk berkembang pada tingkat yang sama dengan sel di bawahnya (Williams *et al.*, 1989).

Dengan membandingkan hasil porositas kulit buah pisang yang didasarkan pada diameter *finger* dan letak sisir buah pisang, terbukti bahwa tingkat kematangan (*maturity level*) tidak bisa diwakili oleh diameter *finger* buah. Hal tersebut karena diameter buah yang sama bisa berasal dari sisir dengan urutan berbeda dalam tandan yang berbeda. Artinya, buah pisang dengan diameter buah yang

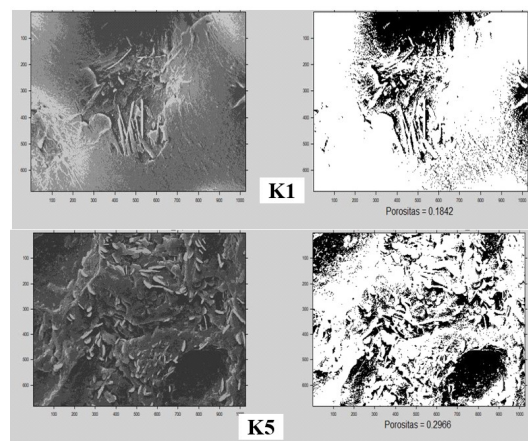
sama dapat memiliki tingkat kematangan fisiologis yang berbeda (Santosh *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 1983; Kader, 1999).

Berbeda dengan diameter *finger* buah pisang, sisir ke-1 (stadium lebih matang) memiliki nilai porositas yang lebih tinggi (0,3165) dibandingkan dengan sisir ke-8 (stadium kurang matang) (0,2300). Artinya, tingkat kematangan (*maturity level*) lebih bisa diwakili oleh letak sisir dalam tandan dibandingkan dengan diameter *finger*.

Fenomena yang sama pada pisang (Gambar 2, stadium I, dan Gambar 3) juga teramati pada buah apokat. Semakin meningkat tingkat kematangannya, nilai porositasnya akan meningkat pula (Gambar 4).



Gambar 3. Analisis Kulit Buah (*Finger*) Pisang ‘Cavendish’ dari Sisir Ke-1 (Dua Atas) dan Ke-8 (Dua Bawah) dari Atas Tandan Dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM; 5000x) (diadopsi dari Widodo *et al.*, 2021)



Gambar 4. Analisis Kulit Buah Apokat Stadium K1 (Muda) dan K5 (Paling Tua) Dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) Beserta Hasil Analisis Porositas

Buah apokat dengan tingkat kematangan muda (K1) memiliki porositas 0,1842, sedangkan buah K5 (paling tua) memiliki porositas 0,2966.

Metode *thermal image* yang diterapkan dapat menunjukkan perbedaan suhu dengan perbedaan tingkat kematangan (*maturity*) (Tabel 1). Kenaikan suhu terjadi dari diameter kecil ke diameter besar, yang artinya semakin matang (*mature*) buah, akan semakin meningkat suhunya. Buah pisang 'Cavendish' dengan ukuran diameter besar memiliki suhu buah yang lebih tinggi, yaitu 29,15°C, dibandingkan dengan diameter sedang yang memiliki suhu 28,88 °C dan diameter kecil 28,85 °C (Tabel 1). Fenomena ini kemungkinan dipengaruhi oleh lebih-tingginya persentase kandungan pati pada buah yang ukurannya lebih besar dibandingkan dengan yang lebih kecil (Ahmad *et al.*, 2007). Metode *thermal image* yang diterapkan pada buah, dengan volume yang lebih besar dan warna buah yang lebih matang dapat mengakumulasi lebih banyak panas (Stajanko *et al.*, 2004).

Pada Tabel 2 terlihat bahwa secara keseluruhan terdapat kecenderungan penurunan suhu buah dari S1 ke S8; semakin rendah urutan

sisir pada tandan, semakin rendah suhunya. Sayangnya kecenderungan ini tidak terdeteksi sebagai penurunan suhu yang signifikan hingga taraf nyata BNT ditingkatkan hingga 15%. Pada hari pertama pengukuran, S1 memiliki suhu tertinggi, yaitu 28,91°C dan S8 memiliki suhu terendah, yaitu 28,71°C. Hal ini menunjukkan bahwa pisang 'Cavendish' di bagian atas memiliki suhu yang lebih tinggi daripada bagian bawah selama proses pemasakan (*ripening*). Pada Tabel 2 juga terlihat bahwa suhu S1 pada hari ke-7 (masak), yaitu 29,17 °C lebih tinggi dari suhu S1 pada hari ke-1 (matang), yaitu 28,91°C. Gurupatham *et al.* (2018) mencatat kecenderungan serupa bahwa terjadi peningkatan suhu buah secara bertahap dari waktu ke waktu, suhu buah pisang selama proses pemasakan adalah 19 °C pada hari ke-1 hingga 25 °C pada hari ke 5 yang terekam oleh citra termal. Sumriddetchkajorn dan Yuttana (2013) juga menyatakan bahwa buah yang masak memiliki kapasitas panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan buah yang belum masak.

Gambar 5 menunjukkan suhu yang dipancarkan oleh buah apokat pada berbagai tingkat kemasakan dan lama penyimpanan. Sampel D1 merupakan

Tabel 1. Citra Termal (TI) Buah (*Finger*) Pisang 'Cavendish' pada Tiga Tingkat Kematangan Berdasarkan pada Nilai *Skimming*

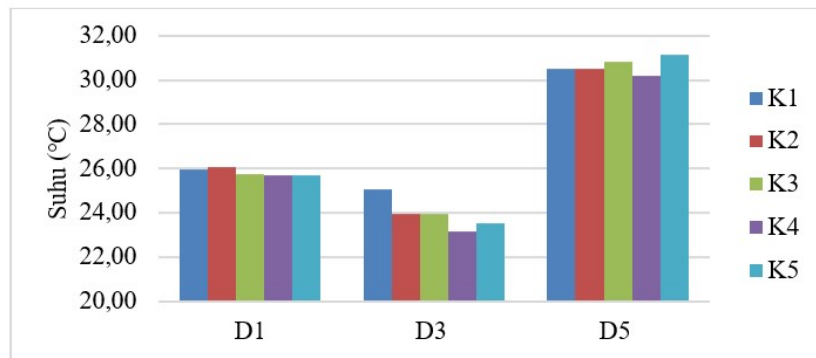
| Tingkat Kematangan                       | Suhu Buah (°C)*  |                   |
|------------------------------------------|------------------|-------------------|
|                                          | ( $\alpha=5\%$ ) | ( $\alpha=15\%$ ) |
| Diameter kecil ( <i>Skimming</i> <38)    | 28,85 b          | 28,85 b           |
| Diameter sedang ( <i>Skimming</i> 38-42) | 28,88 b          | 28,88 b           |
| Diameter besar ( <i>Skimming</i> 43-48)  | 29,15 a          | 29,15 a           |

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom yang sama berbeda nyata menurut uji BNT pada taraf nyata 5% dan 15%.

Tabel 2. Citra Termal (TI) Buah (*Finger*) Pisang 'Cavendish' pada Suhu Kamar Berdasarkan Tingkat Kematangan Sisir Pisang Selama Pemasakan Hari Ke-1 Hingga ke-7

| Kema-<br>tangan** | Hari ke-1 (°C) |               | Hari ke-3 (°C) |               | Hari ke-5 (°C) |               | Hari ke-7 (°C) |               |
|-------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
|                   | $\alpha=5\%$   | $\alpha=15\%$ | $\alpha=5\%$   | $\alpha=15\%$ | $\alpha=5\%$   | $\alpha=15\%$ | $\alpha=5\%$   | $\alpha=15\%$ |
| S1                | 28,91 a        | 28,91 a       | 28,83 a        | 28,83 a       | 28,93 a        | 28,93 a       | 29,17 a        | 29,17 a       |
| S2                | 28,89 a        | 28,89 ab      | 28,72 ab       | 28,72 ab      | 28,85 ab       | 28,85 a       | 29,13 a        | 29,13 ab      |
| S3                | 28,85 a        | 28,85 abc     | 28,70 ab       | 28,70 b       | 28,84 ab       | 28,84 ab      | 29,11 a        | 29,11 ab      |
| S4                | 28,83 a        | 28,83 abc     | 28,70 ab       | 28,70 b       | 28,70 bc       | 28,70 bc      | 29,09 a        | 29,09 ab      |
| S5                | 28,77 a        | 28,77 abc     | 28,68 ab       | 28,68 b       | 28,69 bc       | 28,69 c       | 29,02 a        | 29,02 ab      |
| S6                | 28,76 a        | 28,76 abc     | 28,67 ab       | 28,67 b       | 28,67 bc       | 28,67 c       | 28,97 a        | 28,97 ab      |
| S7                | 28,74 a        | 28,74 bc      | 28,65 ab       | 28,65 b       | 28,66 bc       | 28,66 c       | 28,93 a        | 28,93 ab      |
| S8                | 28,71 a        | 28,71 c       | 28,63 b        | 28,63 b       | 28,60 c        | 28,60 c       | 28,92 a        | 28,92 b       |

Keterangan: Nilai rerata pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji BNT pada taraf  $\alpha=5\%$  dan 15%; \*\* S1-8 = sisir pertama (teratas) hingga ke delapan, pada tandan pisang 'Cavendish' (diadopsi dari Widodo *et al.*, 2021).



Gambar 5. Nilai Rerata Suhu Buah Apokat

Keterangan: D1: buah tanpa dilakukan penyimpanan (hari-1); D3: buah matang pada penyimpanan hari ke-3; D5: buah masak pada penyimpanan (hari ke-5); K1, buah muda; (2) K2, buah agak muda; (3) K3, buah agak tua; (4) K4, buah tua; (5) K5, buah paling tua.

sampel utama yang tidak disimpan, sedangkan sampel D3 dan D5 merupakan sampel buah pada penyimpanan suhu-ruang saat hari ke-3 dan ke-5.

Berdasarkan Gambar 5, pada sampel D1 dan D3 nilai suhu rerata buah apokat cenderung meningkat seiring dengan tingkat kematangan yang lebih rendah, sedangkan pada sampel D5 yang kondisi buahnya masak nilai suhu rerata cenderung menurun seiring dengan tingkat kematangan yang lebih rendah. Artinya, semakin masak buahnya, maka semakin tinggi radiasi suhu yang dipancarkan buah pada setiap tingkat kematangan buah. Faktanya, buah yang masak memiliki kandungan kapasitas panas yang lebih tinggi (Sumriddetchkajorn & Intaravanne, 2013). Gambar 5 menunjukkan juga bahwa radiasi suhu tidak mampu membedakan tingkat kematangan (*maturation*) melalui suhu yang dipancarkan, tetapi tampaknya dapat membedakan tingkat pemasakan (*ripening*) pada buah apokat. Apokat merupakan buah klimakterik yang ditandai dengan lonjakan etilen selama pemasakan (Seymour dan Tucker, 1993; Jeong *et al.*, 2003). Jeong *et al.* (2003) menyatakan bahwa produksi etilen pada perlakuan kontrol mulai meningkat setelah 7 hari penyimpanan pada suhu 13 °C dan nilai produksi maksimum mencapai 40,6 mg/kg/jam setelah 16 hari pada suhu 13 °C.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa (1) bahwa tingkat kematangan (*maturity level*) buah pisang ‘Cavendish’ tidak bisa diwakili oleh diameter *finger* buah, tetapi bisa diwakili oleh letak sisir dalam tandan, (2) citra termal dapat membedakan tingkat kematangan, baik tingkat kematangan antara

masing-masing sisir pada tandan pisang ‘Cavendish’ (sisir-1 bersuhu tertinggi 28,91°C, sisir-8 bersuhu terendah 28,71 °C), maupun pisang pada fase masak (29,17 °C) dan matang (28,91°C); (3) buah apokat matang (*mature*) memiliki suhu yang lebih rendah daripada buah yang belum matang (*immature*), tetapi ketika buah mulai masak, buah yang matang memiliki suhu yang lebih tinggi daripada buah yang belum matang. Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa radiasi suhu tubuh buah yang diwakili oleh citra termal kedua buahnya berpotensi untuk digunakan sebagai metode pendeteksian tingkat kematangan pada buah pisang ‘Cavendish’ dan apokat.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih khusus ditujukan kepada Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia yang telah mendanai penelitian ini melalui Skema Riset Dasar, Riset Kompetensi Nasional 2020/2021. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada PT Great Giant Foods (PT GGF), Terbanggi Besar, Lampung Tengah, Indonesia melalui PT GGF-Plantation Group 4, Labuhan Ratu, Lampung Timur, Indonesia yang telah menyediakan sampel buah pisang ‘Cavendish’ untuk kegiatan riset ini. Terima kasih juga kepada bapak Wawan, Adi, dan Gendeng di Lampung Timur yang telah membantu menyediakan buah apokat untuk sampel penelitian dan terima kasih juga kepada Unit Pelaksana Teknis Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT LT-SIT) Universitas Lampung, yang telah membantu dan memberikan izin untuk melakukan analisis SEM (*Scanning Electron Microscope*).

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, S., M. A. Nasir, Z. Hussain, R. Anwar, & A. K. Thompson. 2007. Effect of Fruit Size and Temperature on The Shelf Life and Quality of Ripe Banana Fruit. *Sarhad J. Agric.* 23(1): 45-54
- Flitsanov, U., A. Mizrach, A. Liberzon, M. Akerman, & G. Zauberman. 2000. Measurement of Avocado Softening at Various Temperatures Using Ultrasound. *Postharvest Biol. Technol.* 20: 279-286.
- Fuchs, Y., G. Zauberman, & E.I. Lederman. 1995. Effect of Postharvest Treatments and Storage Conditions on Avocado Fruit Ripening and Quality. *Proceedings of the Third World Avocado Congress.* 323-330.
- Gamble, J., F. R. Harker, S. R. Jaeger, A. White, C. Bava, M. Beresford, B. Stubbings, M. Wohlers, P. J. Hofman, R. Marques, & A. Woolf. 2010. The Impact of Dry Matter, Ripeness and Internal Defects on Consumer Perceptions of Avocado Quality and Intentions to Purchase. *Postharvest Biol. Technol.* 57: 35-43.
- Gurupatham, S. & C. Wiles. 2019. Thermal Imaging Technique to Minimize the Wastage of Fruits. *Proceedings of the ASME2019, International Mechanical Engineering Congress and Exposition IMECE2019, November 8-14, 2019, Salt Lake City, Utah, USA.*
- Gurupatham, S., F. Fahad, & A. Hudlow. 2018. Improving Shelf-Life of Fruits Using Thermography. Kennesaw State University, Georgia.
- Hameed, F.A.R.A.A. 2008. Evaluation of William's Banana (*Musa cavendish* L.) Clones Under Hot Arid Climates of The Sudan. *Ph.D. Dissertation.* Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Khartoum.
- Jeong, J., D. J. Hubert, & S. A. Sargent. 2003. Delay of Avocado (*Persea americana*) Fruit Ripening by 1-methylcyclopropene and Wax Treatments. *Postharvest Biol. Technol.* 28: 247-257.
- Kader, A. A. 1999. Fruit Maturity, Ripening, and Quality Relationships. *Acta Horticulturae* 485: 203-208.
- Lee, S., R. E. Young, P. M. Schiffman, & C.W. Coggins, Jr. 1983. Maturity Studies of Avocado Fruit Based on Picking Dates and Dry Weight. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108: 390-394.
- Magwaza, L. S. & S. Z. Tesfay. 2015. A Review of Destructive and Non-destructive Methods for Determining Avocado Fruit Maturity. *Food Bioprocess Technol.* 8: 1995-2011.
- Pak, H.A., J. Dixon, & J. Cutting. 2003. Influence of Early Season Maturity on Fruit Quality in New Zealand 'Hass' avocados. *Proceedings of the Fifth World Avocado Congress.* 635-640.
- Santosh, D. T., K. N. Tiwari & R. G. Reddy. 2017. Banana Bunch Covers for Quality Banana Production – A review. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 6 (7): 1275-1291.
- Seymour, G. B., & G. A. Tucker. 1993. Avocado In: *Biochemistry of Fruit Ripening (Eds.)*. Chapman & Hall, London, pp 53 -81.
- Stajenko, D., M. Lakota, & M. Hocevar. 2004. Estimation of Number and Diameter of Apple Fruits in An Orchard During The Growing Season by Thermal Imaging. *Computers and Electronics in Agriculture* 42: 31-42.
- Sumriddetchkajorn, S. & I. Yuttana. 2013. Two-Dimensional Fruit Ripeness Estimation using Thermal Imaging. *Proc. of SPIE International Conference on Photonics Solutions.* Pattaya: 26-28 May 2013. 8883 1C.
- Sumriddetchkajorn, S., & Y. Intaravanne. 2013. Two Dimensional Fruit Ripeness Estimation Using Thermal Imaging. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering.*
- Widodo, S. E., S. Waluyo, Zulferiyenni, & R. Latansya. 2021. Detection of Fruit Maturity of 'Cavendish' Banana by Thermal Image Processing Technique. *International Symposium on Durian and Other Tropical Fruits 2021, Virtual Conference, 9-10 November 2021.*
- Williams, M. H., M. Vesk, & M.G. Mullins. 1989. Characteristics of The Surface of Banana Peel in Cultivars Susceptible and Resistant to Maturity Bronzing. *Can. J. Bot.* 67: 2154-2160.