

***THERMAL IMAGE METHOD* SEBAGAI PENDETEKSI BERBAGAI  
TINGKAT KEMATANGAN BUAH DAN KORELASINYA DENGAN  
MUTU FISIK DAN KIMIA BUAH ALPUKAT (*Persea americana* Mill.)**

(Skripsi)

Oleh

**MAYA DWI PUTRI  
1714161033**



**JURUSAN AGRONOMI DAN HORTIKULTURA  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

## ABSTRACT

### ***THERMAL IMAGE METHOD AS A DETECTOR OF VARIOUS LEVELS OF FRUIT MATURITY AND ITS CORRELATION WITH THE PHYSICAL AND CHEMICAL QUALITY OF AVOCADO FRUIT (*Persea americana* Mill.)***

By

**MAYA DWI PUTRI**

Avocado belongs to the group of climacteric fruits and it is perishable in nature after harvest. This study aims to analyze various levels of maturity of avocado fruit with the thermal image method, obtain a correlation between the result of thermal image feature extraction and various levels of maturity on the physical and chemical quality of avocado fruit and test the thermal image as a detector avocado fruit maturity level. Avocado samples were based on five levels of maturity, from less mature to most mature fruit, with five experiment replications. Thermal image parameters were determined and then correlated to the physical quality parameters of the fruit, including: diameter, weight, and fruit firmness as well as to the chemical quality parameters of the fruit, including: fat content, starch, free acid, glucose, sucrose and total soluble solids. Furthermore, the data were statistically analyzed using Completely Randomized Design (CRD) and the Least Significant Difference (LSD) test. The results showed that maturity of fruit had a correlation to the temperature of fruit. The more mature the fruits the lower the temperature, but when the fruit was getting ripe, the more mature of the fruits, would show a higher temperature compared to the immature fruits. The statistical analysis stated that there was a close correlation between temperature and the physical and some chemical parameters. The coefficients of determination was found to be 0.79, 0.71, 0.75, 0.05, 0.20, 0.46, 0.71, 0.02, 0.58 and 0.24 for diameter, weight, firmness, glucose, sucrose, starch, free acid, free fatty acid, fat, total soluble solids and of the avocado fruits, respectively. The relationship between thermal radiation and the physical parameters fruit (diameter, weight, hardness) and chemical parameters (glucose, sucrose, starch, free acids, free fatty acids, fat and total soluble solids) followed a linear equation relationship at different levels of maturity, SEM profile results are also related to maturity level. Thus, it can be stated that the fruit temperature radiation represented by the thermal image had the opportunity to be used as a method of detecting the level of maturity in avocados.

Keywords: temperature, maturity, thermal image, SEM, quality

## ABSTRAK

### ***THERMAL IMAGE METHOD* SEBAGAI PENDETEKSI BERBAGAI TINGKAT KEMATANGAN BUAH DAN KORELASINYA DENGAN MUTU FISIK DAN KIMIA BUAH ALPUKAT (*Persea americana* Mill.)**

Oleh

**MAYA DWI PUTRI**

Alpukat termasuk dalam kelompok buah klimakterik dan sifatnya mudah rusak setelah dipanen. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis berbagai tingkat kematangan buah dengan metode *thermal image*, memperoleh korelasi hasil ekstraksi fitur *thermal image* dan berbagai tingkat kematangan buah terhadap mutu fisik dan kimia buah alpukat dan menguji metode *thermal image* sebagai pendeteksi tingkat kematangan buah alpukat. Sampel buah alpukat berdasarkan lima tingkat kematangan, dari buah termuda sampai tertua, dengan lima ulangan percobaan. Parameter citra termal diukur kemudian dikorelasikan dengan parameter kualitas fisik buah, meliputi: diameter, berat, dan kekerasan buah serta kualitas kimia buah, meliputi: kadar lemak, pati, asam bebas, glukosa, sukrosa dan total padatan terlarut diukur. Selanjutnya data dianalisis secara statistik menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dan uji Beda Nyata Terkecil (BNT). Hasil penelitian menunjukkan bahwa buah tua memiliki suhu yang lebih rendah daripada buah muda, namun saat buah mulai masak, suhu buah yang tua lebih tinggi daripada buah yang muda. Hasil analisis statistik menyatakan bahwa terdapat hubungan yang erat antara parameter citra termal dengan parameter fisik dan beberapa parameter kimia. Koefisien determinasi masing-masing yang diperoleh 0.79, 0.71, 0.75, 0.05, 0.20, 0.46, 0.71, 0.02, 0.58 dan 0.24 untuk diameter, berat, kekerasan, glukosa, sukrosa, pati, asam bebas, asam lemak bebas, lemak dan total padatan terlarut dari buah alpukat. Hubungan radiasi termal, parameter fisik (diameter, berat, kekerasan buah) dan parameter kimia (glukosa, sukrosa, pati, asam bebas, asam lemak bebas, lemak dan total padatan terlarut) mengikuti hubungan persamaan linier pada tingkat kematangan yang berbeda, hasil profil SEM juga berkaitan dengan tingkat kematangan. Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa radiasi suhu obyek buah yang diwakili oleh citra termal buah berpeluang untuk digunakan sebagai metode pendeteksian tingkat kematangan pada buah alpukat.

Kata kunci: suhu, kematangan, *thermal image*, SEM, mutu

***THERMAL IMAGE METHOD* SEBAGAI PENDETEKSI BERBAGAI  
TINGKAT KEMATANGAN BUAH DAN KORELASINYA DENGAN  
MUTU FISIK DAN KIMIA BUAH ALPUKAT (*Persea americana* Mill.)**

Oleh

**MAYA DWI PUTRI**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
**SARJANA PERTANIAN**

Pada

**Jurusan Agronomi dan Hortikultura  
Fakultas Pertanian, Universitas Lampung**



**JURUSAN AGRONOMI DAN HORTIKULTURA  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

Judul Skripsi : ***THERMAL IMAGE METHOD* SEBAGAI  
PENDETEKSI BERBAGAI TINGKAT  
KEMATANGAN BUAH DAN KORELASINYA  
DENGAN MUTU FISIK DAN KIMIA BUAH  
ALPUKAT (*Persea americana* Mill.)**

Nama : Maya Dwi Putri

NPM : 1714161033

Program Studi : Agronomi

Fakultas : Pertanian

### **MENYETUJUI**

#### 1. Komisi Pembimbing

Pembimbing Pertama

Pembimbing Kedua

**Prof. Dr. Ir. Soesiladi Esti Widodo, M.Sc.**  
**NIP 196005011984031002**

**Dr. Ir. Sri Waluyo, S.TP., M.Si., IPU.**  
**NIP 197203111997031002**

#### 2. Ketua Jurusan Agronomi dan Hortikultura

**Prof. Dr. Ir. Setyo Dwi Utomo, M.Sc.**  
**NIP 196110211985031002**

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua : **Prof. Dr. Ir. Soesiladi Esti Widodo, M.Sc.** .....

Sekretaris : **Dr. Ir. Sri Waluyo, S.TP., M.Si., IPU.** .....

Penguji

Bukan Pembimbing : **Dr. Ir. Agus Karyanto, M. Sc.** .....

2. Dekan Fakultas Pertanian

**Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.**  
NIP 196110201986031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi :

## **SURAT PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul: ***Thermal Image Method* sebagai Pendeteksi Berbagai Tingkat Kematangan Buah dan Korelasinya dengan Mutu Fisik dan Kimia Buah Alpukat (*Persea americana* Mill.)** merupakan hasil karya sendiri bukan hasil karya orang lain. Akan tetapi beberapa bagian tertentu yang mendukung dalam penulisan skripsi ini saya kutip dari hasil karya orang lain dan semua tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 23 Desember 2021  
Penulis,

**Maya Dwi Putri**  
**NPM 1714161033**

## RIWAYAT HIDUP

Maya Dwi Putri dilahirkan di Kabupaten Pesawaran tepatnya di Desa Tanjung Agung, Kecamatan Way Lima pada tanggal 24 Mei 1999 sebagai anak keenam dari enam bersaudara dari pasangan bapak Syahrawi (*rohimahullah*) dan ibu Ruspa Wati. Penulis memiliki empat saudara laki-laki dan satu saudara perempuan. Penulis memulai pendidikan formal tingkat pertama di SDN Tanjung Agung (SDN 27 Way Lima sekarang) pada tahun 2005-2011, kemudian melanjutkan sekolah menengah pertama di MTs Ponpes Muhammad Daud pada tahun 2011-2014, lalu melanjutkan sekolah menengah atas di MAN 1 Pesawaran pada tahun 2014-2017.

Pada tahun 2017, Penulis terdaftar sebagai mahasiswi Jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur PMPAP (Penerimaan Mahasiswa Perluasan Akses Pendidikan). Selama menjadi mahasiswi, Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun non-akademik. Pada kegiatan akademik Penulis pernah menjadi asisten dosen mata kuliah Etika dan Kearifan Lokal di semester tiga dan asisten praktikum Fisiologi Tumbuhan di semester lima. Selain itu, Penulis juga aktif pada kegiatan non-akademik, antara lain pernah menjadi anggota muda di UKMU Penelitian. Saat di UKM ini Penulis pernah mengikuti kegiatan Bina Desa di Tanggamus pada tahun 2018. Penulis juga aktif menjadi anggota bidang eksternal di Himpunan Mahasiswa Agronomi dan Hortikultura (HIMAGRHO) pada tahun 2017-2019. Kemudian pada tahun 2020 Penulis menjadi Sekretaris Bidang Hubungan Masyarakat di Himpunan Mahasiswa Agronomi dan Hortikultura (HIMAGRHO) dan mengikuti kepanitiaan



dalam acara tingkat Fakultas serta pernah menjadi Finalis Puteri Hijab Lampung pada tahun 2019. Pada bulan Januari-Maret 2020, Penulis melaksanakan program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung di Desa Trimulyo, Kecamatan Sekampung, Kabupaten Lampung Timur. Pada bulan Juli-Agustus 2020, Penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di Dinas Pertanian Kabupaten Pesawaran, tepatnya di bagian Tanaman Pangan dengan topik yang berjudul “Peran Dinas Pertanian Kabupaten Pesawaran dalam Mendorong Petani untuk Meningkatkan Produktivitas Padi (*Oryza Sativa* L.)”. Pada bulan September-Desember 2020, Penulis menjadi pendamping P2L Lampung di Desa Sekincau, Kabupaten Lampung Barat yang diselenggarakan oleh Dinas Ketahanan Pangan dan Hortikultura di bawah bimbingan Kementerian Pertanian RI. Pada bulan Desember 2020, Penulis mengikuti kepanitian pemilihan umum tingkat desa dalam pemilihan Bupati dan Wakil Bupati Kabupaten Pesawaran dan menjadi salah satu anggota KPPS.

## **PERSEMBAHAN**

*Dengan penuh rasa syukur dan atas Ridho ALLAH subhanahu wa ta'ala,  
karya ini kupersembahkan kepada*

*Keluargaku tercinta, ayahanda Syahrawi (rohimahullah), ibunda Ruspa Wati, abang  
Indra Saputra, Day Robi, Rof Alin, Lika Apriza dan, kakak Fitri Aulia serta seluruh  
keluarga yang selalu menyematkan namaku dalam do'a, memberikan cinta, kasih  
sayang dan semangat.*

*Sahabat serta teman seperjuangan dan sepermainan yang selalu menjadi  
penyemangat di kala rapuh menjadi pengingat di kala sembuh, yang telah rela  
mengorbankan waktu, pikiran, materi untuk terus bisa berada dalam masalah yang  
menimpa.*

*Serta Almamater Tercinta  
Agronomi dan Hortikultura  
Fakultas Pertanian  
Universitas Lampung*

*“Dan kami hamparkan bumi itu, kami letakkan padanya gunung-gunung yang kokoh dan kami tumbuhkan padanya segala tanaman yang indah dipandang mata untuk menjadi pengajaran dan peringatan bagi tiap-tiap hamba yang kembali (mengingat)”*  
(Q.S. Qaaf : 7-8)

*“Dan barang siapa bertawakkal kepada Allah niscaya Allah akan mencukupkan keperluannya. Sesungguhnya Allah melaksanakan urusan-Nya. Sungguh Allah telah mengadakan ketentuan bagi setiap sesuatu”*  
(Q.S. At-Thalaq : 3)

*“Barang siapa tujuan hidupnya adalah dunia, maka Allah akan mencerai beraikan urusannya menjadikan kefakiran dikedua pelupuk matanya, dan ia tidak mendapatkan dunia kecuali menurut ketentuan yang telah ditetapkan baginya, barang siapa tujuan hidupnya adalah akhirat, Allah akan mengumpulkan urusannya, menjadikan kekayaan dihatinya dan dunia akan mendatangnya dalam keadaan hina”*  
(HR Imam Ibnu Hibban)

*“Kebaikan ibarat sebuah ladang, jika kamu menebar benih pada setiap sisi ladang, maka kau akan menuai hasil dari sisi mana pun, tapi ingat tidak semua sisi memberikan hasil yang baik”*  
(Maya Dwi Putri)

*Innamal a'malu binniati*

## SANWACANA

*Alhamdulillah* rabbi'l alamin, puji syukur Penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wata'ala yang telah memberikan rahmat, berkah, hidayah, serta karunia-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan semua rangkaian skripsi ini yang berjudul "***Thermal Image Method* sebagai Pendeteksi Berbagai Tingkat Kematangan Buah dan Korelasinya dengan Mutu Fisik dan Kimia Buah Alpukat (*Persea americana* Mill.)**". Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat utama dalam mencapai gelar Sarjana Pertanian di Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Pada kesempatan ini Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada seluruh pihak-pihak yang terlibat dalam proses penelitian maupun penyelesaian skripsi ini, yaitu:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Setyo Dwi Utomo, M.Sc., selaku Ketua Jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
3. Bapak Dr. Ir. Erwin Yuliadi, M.S., selaku dosen Pembimbing Akademik selama masa perkuliahan;
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Soesiladi Esti Widodo, M. Sc., selaku dosen Pembimbing Pertama yang telah mendidik, membimbing, memberikan arahan, saran dan motivasi serta fasilitas yang diberikan selama penelitian hingga penulisan skripsi ini selesai;
5. Bapak Dr. Ir. Sri Waluyo, S.TP., M.Si., IPU., selaku dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan bimbingan, nasihat, saran, motivasi, dan fasilitas selama proses penelitian hingga penulisan skripsi ini selesai;

6. Bapak Dr. Ir. Agus Karyanto, M.Sc., selaku dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun kepada Penulis selama pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi;
7. Kepada ayahku tersayang Syahrawi (*rohimahullah*), meski kau telah di sisi-Nya, di surga-Nya Insya Allah, namun di hati ini namamu masih sangat terang ingin aku bahagiakan, semoga kau jua dapat merasakan kebahagiaan Putrimu;
8. Kepada perempuan tangguh ibuku tercinta Ruspa Wati, dan kakakku Fitri Aulia, S.E., serta seluruh keluarga yang aku sayangi yang selalu menyematkan nama ku di setiap do'a, yang tiada hentinya menyucurkan keringat untuk usaha, dan memberikan motivasi kepada Penulis hingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik;
9. Teman-teman penelitian Reza Latansya, Nanda Febrianingrum, Sari Oktavia dan Riska Avinda Putri atas waktu dan tenaga untuk saling membantu menyelesaikan penelitian dan bekerjasama untuk menyelesaikan skripsi ini;
10. Sahabatku para gadis (Septy Fransiska, Widia Agustin, Astry Eka Wahyuni, Dewi Suselawati, Meta Maryeta, Fairuz Diva Andini dan Andriani Dwi Lestari), Izzah Safina An-Najjah, Erlinda Citra Dewi, yang selalu siap siaga membantu, menjadi pendengar, pemberi solusi dan pemberi kebahagiaan selama masa perkuliahan;
11. Teman-teman Jurusan Agronomi dan Hortikultura 2017 (Nabila Lutfiah, Alfiana Revo Sakti, Naufal Dani Fauzan, Aldy Suryo Kuncoro) yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu serta keluarga besar HIMAGRHO atas waktu bersama dan memori keceriaan mengisi hari-hari Penulis selama di kampus.

Semoga Allah subhanahu wata'ala melimpahkan berkah dan rahmat-Nya kepada kita semua dan melalui adanya skripsi ini yang masih jauh dari kata sempurna dapat memberikan manfaat bagi Penulis maupun Pembaca.

Bandar Lampung, 23 Desember 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	4
1.3 Kerangka Pemikiran.....	4
1.4 Hipotesis.....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Panen dan Pascapanen Buah Alpukat .....	6
2.2 Mutu Buah Alpukat.....	7
2.3 <i>Thermal Image</i> dan Kegunaannya di Bidang Pertanian.....	8
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>10</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	10
3.2 Bahan dan Alat Penelitian.....	10
3.3 Metode Penelitian .....	11
3.4 Pelaksanaan Penelitian .....	12
3.5 Parameter yang Diamati.....	17
3.6 Analisis dan Interpretasi Data .....	26
<b>IV.HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>27</b>
4.1 <i>Thermal Image</i> .....	27

4.2 Analisis TI dan Fisik buah .....	29
4.3 Analisis Kimia buah.....	31
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>36</b>
5.1 Kesimpulan .....	36
5.2 Saran.....	37
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>38</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>43</b>
Interpretasi data thermal image dengan program matlab.....	44
Hasil analisis Statistix 8 pada parameter pengamatan radiasi suhu, mutu fisik dan mutu kimia .....	54

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Penentuan glukosa, fruktosa dan gula invert dalam suatu bahan dengan metode Luff Schoorl .....	22
2. Nilai suhu buah dan parameter fisik buah alpukat .....	29
3. Nilai parameter kimia buah alpukat .....	32
4. Data analisis suhu dan mutu fisik untuk analisis ragam .....	47
5. Data analisis mutu kimia (lemak, pati, sukrosa, glukosa).....	48
6. Data analisis mutu kimia (asam bebas, asam lemak bebas, total padatan terlarut).....	48
7. Analisis ragam untuk data radiasi suhu .....	54
8. Analisis ragam untuk data bobot buah.....	54
9. Analisis ragam untuk data diameter buah.....	55
10. Analisis ragam untuk data kekerasan buah.....	56
11. Analisis ragam untuk data lemak .....	57
12. Analisis ragam untuk data pati.....	57
13. Analisis ragam untuk data sukrosa .....	58
14. Analisis ragam untuk data glukosa .....	69
15. Analisis ragam untuk data asam bebas .....	60
16. Analisis ragam untuk data asam lemak bebas.....	60
17. Analisis ragam untuk data total padatan terlarut.....	61



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Buah alpukat dengan 5 tingkat kematangan .....	11
2. Buah alpukat yang sudah masak yang disimpan pada suhu ruang dengan 5 tingkat kematangan .....	12
3. <i>Thermal Image</i> FLIR F5 XT .....	13
4. Proses pengambilan citra dengan <i>thermal image</i> .....	14
5. Penampilan buah alpukat saat pengukuran radiasi suhu pada hari pertama	15
6. Contoh hasil proses analisis citra termal dengan Matlab .....	16
7. Hasil SEM dan perhitungan porositas pada K1 dan K5 dengan perbesaran citra 5000 x .....	17
8. Nilai rerata suhu buah alpukat .....	27
9. Hubungan antara suhu dengan diameter buah .....	49
10. Hubungan antara suhu dengan bobot buah .....	49
11. Hubungan antara suhu dengan kekerasan buah .....	50
12. Hubungan antara suhu dengan kandungan glukosa .....	50
13. Hubungan antara suhu dengan kandungan sukrosa .....	51
14. Hubungan antara suhu dengan kandungan pati .....	51
15. Hubungan antara suhu dengan kandungan asam bebas .....	52
16. Hubungan antara suhu dengan kandungan lemak .....	52
17. Hubungan antara suhu dengan kandungan total padatan terlarut .....	53
18. Hubungan antara suhu dengan kandungan asam lemak bebas .....	53

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Buah alpukat merupakan salah satu buah yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat karena kandungan protein dan lemak yang bermanfaat untuk tubuh. Selain buah jeruk, manga, dan pisang, buah alpukat juga menjadi salah satu buah yang banyak diperdagangkan dan menjadi bahan penelitian. Berdasarkan data BPS dari tahun 2016 hingga 2020, produksi alpukat meningkat setiap tahunnya. Pada tahun 2016 produksi mencapai 304, 938 ton hingga tahun 2020 mencapai 609, 049 ton (BPS, 2021).

Alpukat adalah salah satu buah klimakterik yang mengalami lonjakan respirasi dan gas etilen setelah dipanen sehingga terjadi perubahan fisik dan kimia selama pemasakan. Sebagai buah klimakterik, alpukat tidak masak (*ripe*) di pohon, dan hanya akan masak pada pascapanen, sehingga harus dipanen dalam kondisi fisiologis yang sesuai tahap kematangan untuk mendapatkan kualitas buah yang baik untuk dapat dikonsumsi (Gamble *et al.*, 2010). Konsekuensinya, buah alpukat akan dipanen hanya didasarkan pada kriteria fisik buah. Secara visual sangat sulit untuk menentukan tahap kematangan alpukat 'Hass' yang tepat saat panen karena buah ini tidak menunjukkan perubahan penampilan (Kassim *et al.*, 2013). Kriteria panen yang dilakukan berdasarkan pada kriteria fisik akan menimbulkan resiko hasil panen yang terdiri atas beberapa tingkat kematangan fisiologis (*physiological maturity*). Padahal, buah dengan kriteria fisik yang sama memungkinkan memiliki tingkat kematangan fisiologis yang berbeda (Santosh *et al.*, 2017).

Buah yang telah mencapai kematangan fisiologis akan masak sempurna secara alamiah di penyimpanan. Sebaliknya, buah yang belum mencapai kematangan fisiologis tidak akan masak sempurna secara alamiah di penyimpanan. Jika buah dipanen belum mencapai kematangan fisiologis, buah tersebut memerlukan paparan etilen (*ethylene gassing*) pascapanen, sebagaimana pada buah pisang ‘Cavendish’ (Santosh *et al.*, 2017). Padahal, pada umumnya buah alpukat tidak di-*gassing* etilen pascapanen. Oleh karena itu, panen buah alpukat pada saat kematangan fisiologis menjadi syarat penting.

Kematangan fisiologis didefinisikan sebagai suatu fase pada buah yang harus dilewati agar buah dapat masak (*ripe*) sempurna secara alamiah (Widodo, 2013). Dalam hal ini, fase tersebut adalah tingkat kematangan penuh (*full maturity*), yang sulit diketahui hanya berdasarkan pada kriteria fisik buah. Sebagaimana disebutkan terdahulu, bahwa buah dengan kriteria fisik yang sama memungkinkan memiliki tingkat kematangan fisiologis yang berbeda (Santosh *et al.*, 2017). Oleh karena itu, perlu ditemukan pendekatan lain untuk pendeteksian kematangan fisiologis buah alpukat.

Hingga saat ini terdapat dua pendekatan untuk pendeteksian kematangan fisiologis buah, yaitu pencitraan warna (*color image*) dan pencitraan suhu (*thermal image*). Pencitraan warna sudah dilakukan dengan menduga tingkat kematangan buah yang sangat dipengaruhi perkembangan warna kulit buah. Pengujian dari deteksi warna kulit pisang dalam ruang krominan memiliki nilai-nilai yang berguna untuk mempermudah klasifikasi warna kulit pisang dalam fase kematangan pisang (Indarto dan Murinto, 2017). Pada penelitian yang dilakukan Arzate-Vazquez *et al.* (2011), pengolahan citra yang diterapkan pada klasifikasi buah alpukat ‘Hass’ selama proses pemasakan dapat dilakukan karena buah akan mengalami perubahan warna selama proses tersebut. Sementara itu, untuk menentukan tingkat kematangan alpukat menggunakan *color image* sulit dilakukan, karena umumnya buah alpukat tidak mengalami perubahan warna selama di pohon, selain warna hijau.

*Thermal image* (pencitra suhu) kamera adalah salah satu teknologi inframerah yang digunakan untuk menangkap pancaran radiasi suhu yang ada pada suatu objek. Alat ini umumnya dipakai dalam dunia kesehatan dan keteknikan, seperti pada penelitian Purnama *et al.* (2021), yang menggunakan alat kamera termal sebagai pendeteksi suhu pada tubuh dengan optimasi menggunakan regresi linear. Jati dan Rivai (2019) melaporkan bahwa *thermal camera* dapat digunakan untuk merepresentasikan suhu di dalam ruangan, sehingga mampu memperkirakan jumlah orang di ruangan berdasarkan perubahan suhu. Namun aplikasi teknologi ini dalam bidang pertanian masih sangat terbatas. Salah satu yang sudah menerapkannya adalah Sumriddetchkajorn dan Intaravanne (2013) yang melaporkan bahwa perbedaan dari buah utuh menjadi belum masak, masak, dan terlalu masak (*over-ripe*) melalui teknologi inframerah tanpa mempertimbangkan warna buah.

Oleh karena potensinya yang masih terbuka dalam bidang pertanian, metode pencitraan suhu (*thermal image*) digunakan untuk mendeteksi berbagai tingkat kematangan fisiologis buah alpukat. Pemilihan metode ini untuk menemukan suatu kriteria kematangan fisiologis sebagai kriteria panen alternatif pengganti kriteria fisik buah.

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab permasalahan yang dirumuskan dalam pertanyaan sebagai berikut.

1. Bagaimanakah hasil *thermal image* yang diterapkan pada berbagai tingkat kematangan buah alpukat?
2. Bagaimanakah korelasi hasil *thermal image* dan berbagai tingkat kematangan buah terhadap mutu fisik dan mutu kimia buah alpukat?
3. Mampukah *thermal image* digunakan sebagai pendeteksi berbagai tingkat kematangan buah alpukat?

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis berbagai tingkat kematangan buah alpukat dengan metode *thermal image*;
2. Memperoleh korelasi hasil ekstraksi fitur *thermal image* dan berbagai tingkat kematangan buah terhadap mutu fisik dan mutu kimia buah alpukat;
3. Menguji metode *thermal image* sebagai pendeteksi tingkat kematangan buah alpukat.

## 1.3 Kerangka Pemikiran

Buah alpukat merupakan salah satu buah klimaterik yang akan masak saat buah telah dipanen. Fase kematangan fisiologi (*physiological maturity*) menjadi syarat penting untuk pemanenan buah, sementara penentuan kematangan ini sulit untuk dilakukan terutama jika buah tidak mengalami perubahan warna kulit mengikuti proses pemasakan. Selain itu, panen yang dilakukan berdasarkan pada kriteria fisik akan menimbulkan resiko hasil panen yang terdiri atas beberapa tingkat kematangan fisiologis (*physiological maturity*). Padahal, buah dengan kriteria fisik yang sama memungkinkan memiliki tingkat kematangan fisiologis yang berbeda (Santosh *et al.*, 2017). Hal ini akan menyulitkan petani untuk mengetahui buah mana yang siap untuk dipanen dengan tujuan komersial.

Buah yang dipanen sebelum waktunya tidak melewati fase kematangan fisiologis, akibatnya buah akan mengalami pemasakan yang tidak sempurna secara alamiah, dalam hal ini menyebabkan tekstur yang berair, kandungan lemak yang rendah dan secara visual buah kurang menarik seperti mengkerut dan menghitam dan rentan membusuk (Gamble *et al.*, 2010; Osuna-Garcia *et al.*, 2010), (Blakey, 2011), dan (Perez *et al.*, 2004), sedangkan buah yang dipanen melewati waktu panen akan menyebabkan waktu simpan yang singkat (Wu *et al.*, 2011). Peristiwa tersebut tidak diinginkan petani karena buah alpukat dalam kondisi

tersebut akan menurunkan harga jual atau bahkan ditolak sehingga menyebabkan kerugian.

*Thermal image* (TI) merupakan teknologi yang non-kontak, dan non-destruktif yang digunakan untuk menentukan sifat dan fitur termal dari berbagai objek. Potensi pemanfaatan termal di bidang pertanian meliputi pembibitan dan pemantauan rumah kaca, penjadwalan irigasi, deteksi penyakit tanaman, pendugaan hasil buah, evaluasi kematangan buah dan deteksi kerusakan (memar) pada buah dan sayuran (Ishimwe *et al.*, 2014). Sistem pencitraan termal cocok untuk memeriksa kematangan dan mutu produk karena analisis termal terperinci dari perilaku transpirasi produk dan keterkaitannya dengan lingkungan sehingga memungkinkan penentuan tanggal panen yang tepat dan desain mesin pascapanen yang sesuai (Linke *et al.*, 2000).

Oleh karena itu, diperlukan suatu usaha untuk menemukan alternatif lain sebagai kriteria panen yang tepat sehingga bisa menggantikan kriteria panen berdasarkan sifat fisik untuk menghindari panen pada waktu pemanenan yang kurang tepat. Salah satu metode yang perlu diterapkan adalah metode *thermal image* (TI).

#### **1.4 Hipotesis**

Berdasarkan kerangka pemikiran yang telah dikemukakan, maka dapat diajukan hipotesis sebagai berikut.

1. Diperoleh hasil citra *thermal image* yang diterapkan pada berbagai tingkat kematangan buah alpukat;
2. Terdapat korelasi hasil ekstraksi fitur *thermal image* dan berbagai tingkat kematangan buah terhadap mutu kimia buah alpukat;
3. *Thermal image method* dapat digunakan sebagai pendeteksi berbagai tingkat kematangan buah alpukat.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Panen dan Pascapanen Buah Alpukat

Waktu panen alpukat berperan penting dalam pemasakan (*ripening*) untuk disimpan sesuai dengan waktu yang diharapkan. Panen terlalu awal menyebabkan rendahnya bahan kering daging buah. Hal ini kaitannya dengan pemasakan yang tidak sesuai, tekstur berair, tanpa rasa, mengkerut, buah menghitam (Gamble *et al.*, 2010; Osuna-Garcia *et al.*, 2010) dan konsentrasi lemak rendah (Blakey, 2011). Perez *et al* (2004) melaporkan bahwa panen sebelum kematangan fisiologis menyebabkan tekstur yang berair, rasa yang buruk dan lebih tinggi kerentanan untuk membusuk. Umumnya jika buah tidak dipanen pada waktu yang tepat, menyebabkan kualitas buah kurang optimal dan umur simpan yang singkat (Wu *et al.*, 2011).

Salah satu indikator waktu panen yang umum digunakan adalah tampilan visual atau warna. Selain itu, faktor yang harus diperhatikan adalah sifat fisik dan kimia buah yang sangat penting dalam memperhitungkan energi, seperti untuk pendinginan, pengeringan, desain alat, distribusi dan penyimpanan. Oleh karena proses metabolisme, buah yang dipanen masih mengandung panas lapang (*field heat*), yang ditandai dengan terjadinya respirasi dan transpirasi. Hal ini akan mempengaruhi penurunan kualitas produk, seperti layu, kehilangan air, kehilangan rasa dan pertumbuhan mikroorganisme. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menurunkan laju respirasi adalah pengendalian lingkungan melalui pendinginan. Temperatur yang rendah akan memperlambat proses metabolisme dalam produk, dan sifat-sifat bahan, termasuk sifat fisik dan kimia, yang harus dipahami sebelum pendinginan. Hal ini untuk menghindari kerusakan

dingin (*chilling injury*) yang disebabkan oleh suhu terlalu rendah (Pagiling *et al.*, 2017).

Buah alpukat merupakan salah satu buah klimakterik, dengan laju respirasi yang tinggi setelah buah dipanen, akibatnya buah akan cepat mengalami kerusakan, untuk itu diperlukan upaya agar dapat meningkatkan daya simpan buah (Paul *et al.*, 2012). Cara untuk memperpanjang daya simpan buah dan sayuran pada prinsipnya ada tiga, yaitu menghambat proses pemasakan, memperlambat penguapan dan respirasi, serta membasmi atau memutus perkembangan organisme pembusuk.

## **2.2 Mutu Buah Alpukat**

Identifikasi kematangan hortikultura seringkali sulit ditentukan. Pada alpukat penentuan berdasarkan visual terkadang tidak jelas. Teknik lain dalam penentuan kematangan menggunakan sifat kimia. Alpukat dianggap sebagai buah berlemak dan kandungan lemaknya berfungsi sebagai indikator penting dalam kematangan buah. Saat buah matang, konsentrasi lemak dalam daging buah meningkat sebagaimana dijelaskan oleh Hofman *et al.* (2002), Ozdemir dan Topuz. (2004) dan Chen *et al.* (2009). Peningkatan kandungan lemak menyebabkan pengurangan air dengan jumlah yang sama di dalam buah, artinya bahwa persentase total air ditambah lemak tetap konstan selama umur alpukat (Hofman *et al.*, 2002; Ozdemir dan Topuz, 2004). Chen *et al.* (2009) mengamati korelasi yang erat antara persentase kandungan lemak dan bahan kering, kemudian indeks kematangan dapat dihitung melalui kandungan minyak atau bahan kering (Lobit *et al.*, 2002).

Alpukat adalah buah tropis yang penting dan sumber fitokimia lipofilik yang baik, seperti asam lemak tak jenuh tunggal, karotenoid dan vitamin E. Buah alpukat tidak seperti kebanyakan buah lain yang banyak mengakumulasi minyak daripada gula. Alpukat telah digambarkan sebagai buah yang paling bergizi dari semua buah (Schaffer *et al.*, 2013), karena daging buah alpukat yang matang mengandung sekitar 20% asam lemak bermanfaat, 6% karbohidrat, 2% protein,



dan vitamin prekursor dan antioksidan seperti karotenoid dan vitamin E, C, B2, B12, B1, K dan D (Knight RJ, 2002). Pada daging buah alpukat ras Meksiko memiliki kandungan minyak hingga 25–30%, dimana hampir 90% adalah tak jenuh tunggal asam lemak oleat, palmitat dan linoleat.

Memperpanjang masa simpan buah alpukat memungkinkan biaya yang lebih untuk mempertahankan kandungan lemak dan bahan kering, namun hal ini akan meningkatkan terjadi resiko penyakit. Standar kematangan digunakan oleh negara-negara penghasil alpukat untuk menghindari pemasaran buah belum matang dan kualitas yang rendah. Standar yang diadopsi adalah kandungan bahan kering minimum California 20,8% dan tidak lebih tinggi dari sekitar 25% untuk mengurangi gangguan selama penyimpanan (Gambel *et al.*, 2010).

### **2.3 Thermal Image dan Kegunaannya di Bidang Pertanian**

Menurut Rodriguez *et al.* (2012), sistem deteksi otomatis berbasis kamera dengan teknologi berbasis komputer telah banyak dieksplorasi untuk analisis mutu dan *grading* produk pertanian dalam beberapa tahun terakhir. Hal ini dikenal sebagai sistem visi komputer atau teknik analisis citra terkomputerisasi dan telah terbukti berhasil untuk pengukuran objektif berbagai tanaman buah. Perkembangan teknologi digital dan sensor saat ini memungkinkan menangkap (*capture*) dan mengakuisisi (*acquisition*) pancaran gelombang elektromagnetik dan thermal dan kemudian memroses dan menginterpretasikan data yang diperoleh terutama di wilayah *thermal infrared* (TIR) dan *electromagnetic spectrum* (EM) (Prakash, 2000).

Suhu adalah salah satu faktor terpenting untuk pertimbangan buah dalam penyimpanan karena keterlibatannya dalam proses biologis (Workneh *et al.*, 2011). Penyimpanan pada suhu rendah mengurangi laju respirasi dan produksi etilen yang mengakibatkan laju metabolisme terhambat dan umur simpan lebih panjang (Hofman *et al.*, 2002; Perez *et al.*, 2004; Workneh dan Osthoff, 2010; Getinet *et al.*, 2011). *Thermal image* merupakan salah satu teknologi inframerah yang digunakan untuk mendeteksi distribusi termal yang ada pada suatu objek.

Sebagian besar buah akan mengalami perubahan selama proses pemasakan. Perubahan ini sangat erat kaitannya dengan komposisi kimiawi yang terkandung di dalam buah (Deenan dan Kumar, 2015). *Thermal image* merupakan salah satu alternatif yang baik untuk analisis kimiawi dari banyak produk dalam kendali mutu (Rodriguez *et al.*, 2012).

Secara fisiologis buah yang telah dipanen akan tetap melakukan proses metabolisme. Selama proses pemasakan metabolisme akan bekerja, yaitu ditandai dengan respirasi yang terjadi pada buah. Selama proses ini berlangsung dihasilkan air, CO<sub>2</sub>, serta energi berupa ATP dan panas. Suhu panas yang dihasilkan akan terekam oleh alat *thermal image* dan diinterpretasikan dalam bentuk citra. Menurut Sunardi *et al.* (2016) citra analog harus diubah ke dalam citra digital. *Thermal image* merupakan alat yang akan mengubah citra analog buah alpukat ke dalam citra digital, sehingga kondisi fisiologis pada buah akan terpantau melalui radiasi suhu yang dipancarkan.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

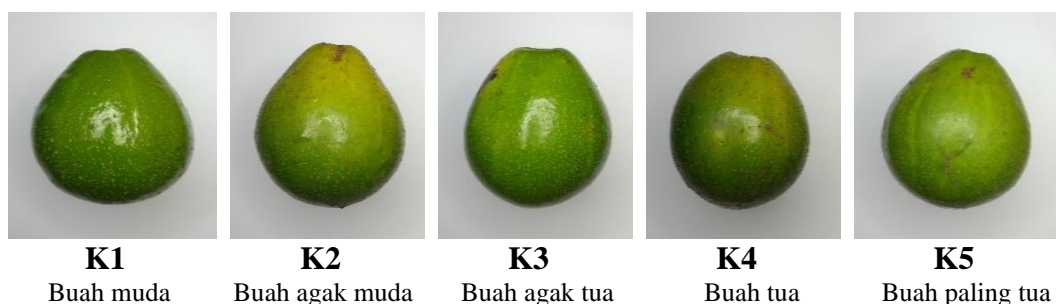
Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hortikultura dan Pascapanen, Jurusan Agronomi dan Hortikultura, dan untuk analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM), sampel buah alpukat dikirim ke UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT LT-SIT), Universitas Lampung. Selain itu, untuk analisis kimia buah dikirim ke Laboratorium Pengolahan Mutu, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Politeknik Negeri Lampung (Lab. Polinela). Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni 2021.

#### 3.2 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan utama penelitian ini terdiri atas buah alpukat dengan lima tingkat kematangan (*maturity*) yang diperoleh dari petani di desa Mengandung Sari, kecamatan Sekampung Udik, kabupaten Lampung Timur. Bahan lainnya adalah air, aquades dan bahan lainnya yang digunakan untuk analisis kandungan kimia di Laboratorium Pengolahan Mutu dan analisis permukaan kulit buah menggunakan metode *Scanning Electron Microscope* (SEM) di UPT LT-SIT. Alat yang diperlukan adalah *thermal image camera* (FLIR F5 XT), kotak pengambilan citra (*chamber*), timbangan digital, jangka sorong, penetrometer (type FHM-5, model KM-1), refraktrometer-tangan 'Atago', parutan, pisau, talenan, kertas saring, piring *styrofoam*, tisu, stempel, ember, spidol dan kamera beserta peralatan kimia lainnya untuk analisis mutu kimia buah.

### 3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktor tunggal, dengan dua sub-penelitian, yaitu (1) penelitian dengan menggunakan tingkat kematangan tanpa penyimpanan, dan (2) penelitian dengan menggunakan tingkat kematangan yang disimpan pada suhu ruang (26-28 °C). Tingkat kematangan 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] (Gambar 1). 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 diperoleh rata-rata diameter buah pada K1 6,8 cm, K2 7,3 cm, K3 7,5 cm, K4 7,6 cm dan K5 8 cm. Panen dilakukan sesuai dengan praktik daerah petani Lampung Timur.

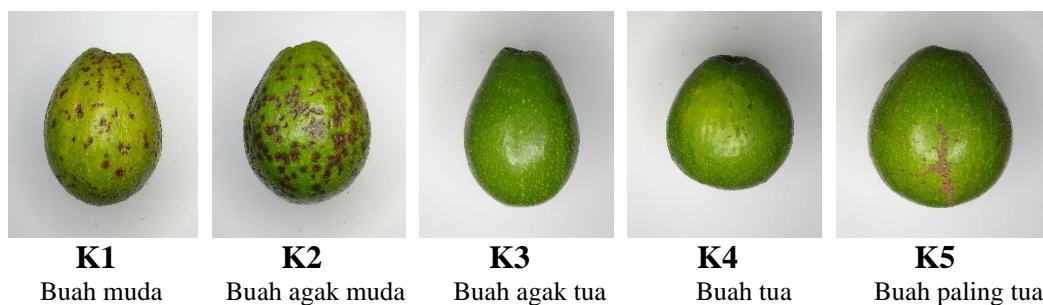


Gambar 1. Buah alpukat dengan 5 tingkat kematangan

Pada penelitian pertama, yaitu tanpa penyimpanan, penelitian ditujukan untuk mengukur radiasi suhu pada setiap tingkat kematangan buah, yang dilakukan setelah buah diaklimatisasi di laboratorium. Pada penelitian ini, setiap tingkat kematangan terdapat lima ulangan, sehingga jumlah satuan percobaannya adalah 25 satuan percobaan. Selain dilakukan pengujian *thermal image* (TI), penelitian ini juga dilakukan analisis mutu fisik buah (diameter, bobot, dan kekerasan buah) dan kimia buah (total padatan terlarut). Untuk analisis metode SEM menggunakan 5 sampel buah (diambil satu pada masing-masing tingkat kematangannya) dikirim ke UPT LT-SIT, sedangkan untuk analisis mutu kimia

buah yang dikirim ke Laboratorium Pengolahan Mutu digunakan 3 ulangan, berjumlah total 15 buah, sehingga total buah yang digunakan berjumlah 70 buah. Penelitian kedua yang dilakukan dengan penyimpanan pada suhu ruang dilakukan untuk mengetahui respon pemasakan buah (*fruit ripening*) di tingkat kematangannya masing-masing terhadap suhu-simpan. Dengan pemahaman bahwa buah yang sudah masuk stadium kematangan fisiologi (*physiological maturity*) akan masak (*ripe*) sempurna dan alamiah pada suhu-simpan ruang, sedangkan buah yang belum masuk stadium kematangan fisiologi tidak akan masak (*ripe*) sempurna. Hasil penelitian pada penyimpanan ini akan menjadi data penguat dari data hasil penelitian tanpa penyimpanan.

Selama penyimpanan, dilakukan pengamatan dengan pengambilan TI pada kondisi buah matang dan kondisi buah masak dengan ciri-ciri kemasakan buah (kulit buah terasa lunak, kulit buah masih terlihat segar pada tingkat kematangan buah agak tua (K3)-buah paling tua (K5), dan pada kulit buah timbul bintik-bintik cokelat, kulit buah terlihat keriput tampak pada tingkat kematangan buah muda (K1) dan buah agak muda (K2) (Gambar 2). Penelitian pada penyimpanan ini terdapat lima ulangan pada setiap tingkat kematangan buah, sehingga jumlah totalnya untuk suhu-simpan ruang adalah 25 buah.



Gambar 2. Buah alpukat yang sudah masak yang disimpan pada suhu ruang dengan 5 tingkat kematangan

### 3.4 Pelaksanaan Penelitian

Sampel buah alpukat yang telah datang dari Lampung Timur pada lima tingkat kematangan, langsung dibawa ke Laboratorium Hortikultura dan Pascapanen,

Fakultas Pertanian, Universitas Lampung untuk disortir dan diukur diameter buah pada masing-masing buah pada tingkat kematangannya. Buah kemudian diaklimatisasi di dalam ruangan selama kurang lebih 24 jam, lalu dianalisis dengan metode TI dan sampel buah alpukat yang lain disimpan untuk pemasakan pada suhu ruang (26-28 °C). Sampel buah yang tidak dilakukan penyimpanan akan dianalisis TI dan mutu fisik dan pengamatan yang bersifat *destructive* (total padatan terlarut dan kekerasan buah), sedangkan untuk sampel pemasakan dilakukan analisis TI pada kondisi buah matang dan masak dan untuk kekerasan buah diukur pada kondisi buah masak.

### 3.4.1 Analisis Metode TI

Citra *thermal* sampel buah diambil menggunakan kamera inframerah (FLIR F5 XT) akurasi  $\pm 2$  °C, resolusi 160 X 120 piksel, sensitifitas *thermal*  $< 0,10$  °C (Gambar 3) yang dipasang pada kotak dengan ketinggian 25 cm dari dasar sampel. Jarak yang digunakan harus tetap untuk mendapatkan hasil proyeksi citra yang representatif dan konsisten. Pengambilan TI ini dilaksanakan di Laboratorium Hortilultura dan Pascapanen, Jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

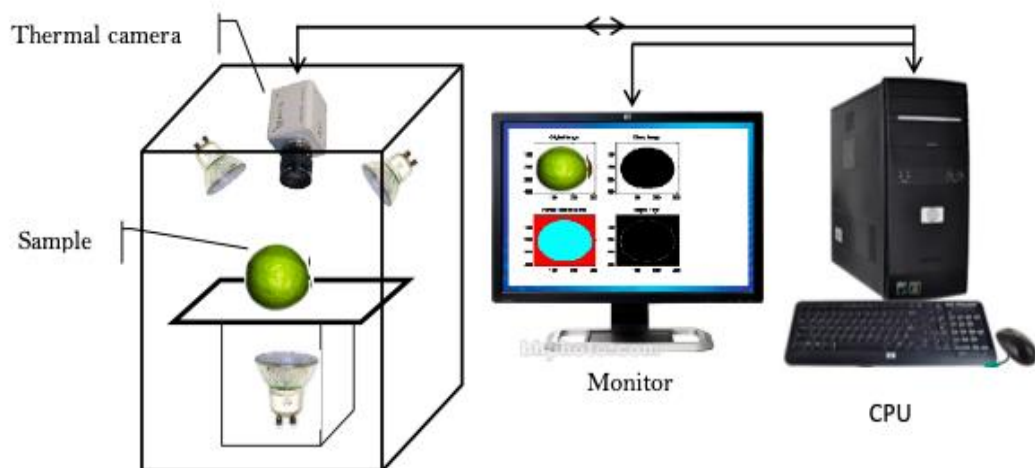


Gambar 3. *Thermal Imaging* FLIR F5 XT

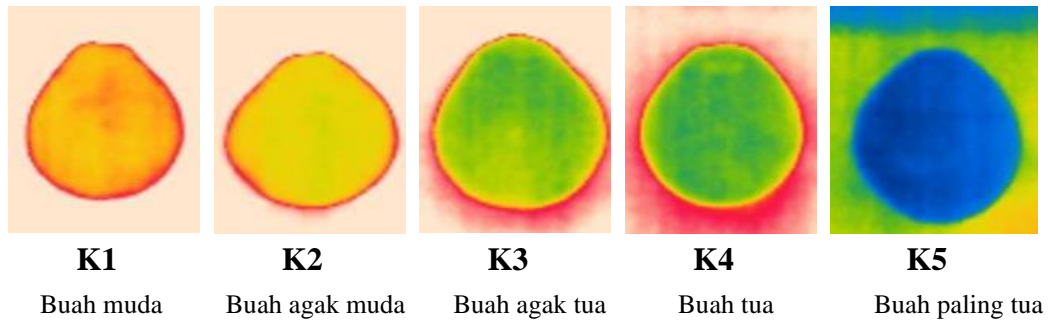
Langkah pertama adalah persiapan unit pengambil citra (*image acquisition*). Untuk menghidupkan alat citra, terlebih dahulu baterai dipasang pada alat *thermal image*, kemudian tombol ‘On’ ditekan hingga alat menampilkan logo *FLIR* pada layar, dan disambungkan ke perangkat komputer dengan bantuan kabel data.

Setelah komputer tersambung pada kamera, akses wifi di menu instrument diaktifkan, setelah tersambung maka gambar citra dari sampel akan tertangkap pada layar komputer.

Langkah kedua adalah pengambilan obyek citra, yang sebelumnya sampel sudah diletakkan pada *chamber* dengan posisi di tengah. Perekaman gambar dikontrol dan dilakukan melalui komputer (menggunakan software *flir tools*), yaitu apabila obyek gambar telah tampil pada layar monitor dengan posisi yang cukup representatif (di tengah-tengah bidang citra), maka perekaman citra dilakukan dengan menekan menu perekaman 'Capture' citra (Gambar 4). Pengambilan citra *thermal* dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap sampel buah, dengan interval waktu selama 1 menit, contoh hasil *capture* seperti (Gambar 5). Citra digital dari obyek yang sudah direkam tersebut disimpan dengan nama file kode data tertentu seperti K1U1T1C-K5U5T3C dengan K sebagai tingkat kematangan, U sebagai ulangan, T sebagai pengambilan *Capture*, dan C sebagai *Color*, serta angka memberikan keterangan tingkatan pada perlakuan kematangan, ulangan, dan pengambilan *capture*. Hal ini untuk memudahkan perunutan kembali saat dilakukan analisa.



Gambar 4. Proses pengambilan citra dengan *Thermal Image* unit

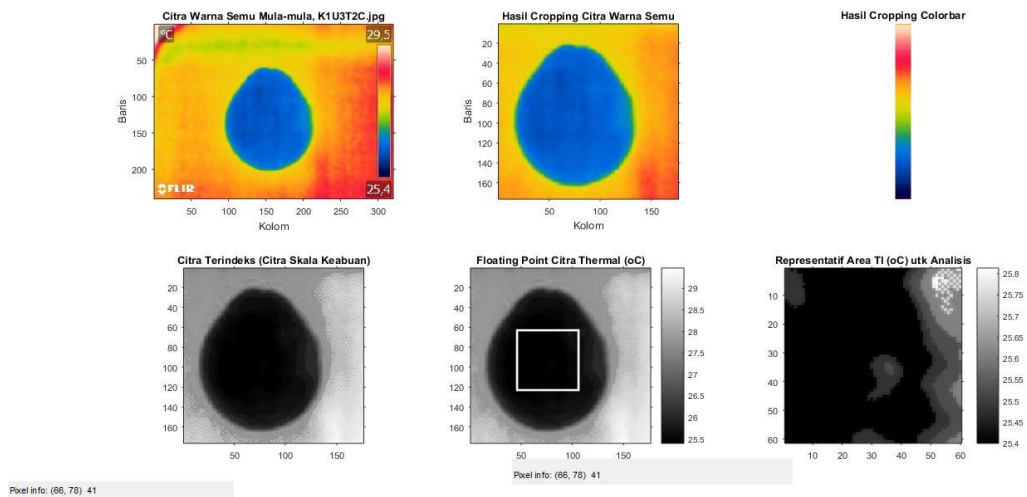


Gambar 5. Penampilan buah alpukat saat pengukuran radiasi suhu pada hari pertama penelitian

Pengolahan hasil citra termal dengan program Matlab dilakukan dengan perintah melalui algoritma (Lampiran), prosedur perintah tersebut yang dibangun sebagai berikut.

- 1) File data citra dibaca dan disimpan pada memori komputer;
- 2) Region of Interest (ROI), yaitu diambil bagian obyek citra yang akan menjadi obyek untuk ditetapkan diproses informasinya;
- 3) Obyek *color bar* diambil untuk dicari hubungan warna terhadap suhu;
- 4) Obyek citra berwarna dikonversi menjadi obyek citra abu-abu;
- 5) Nilai intensitasnya dibuat sebagai nilai titik ambang;
- 6) Nilai intensitas citra dikonversi menjadi nilai besaran suhu;
- 7) Bidang pada obyek buah sebagai sampel diambil untuk memperoleh informasi suhu buah;
- 8) Suhu terendah, suhu tertinggi, nilai rerata suhu dan standar deviasinya dihitung;
- 9) Hasil analisis direkam pada file luaran program Matlab (Gambar 6).





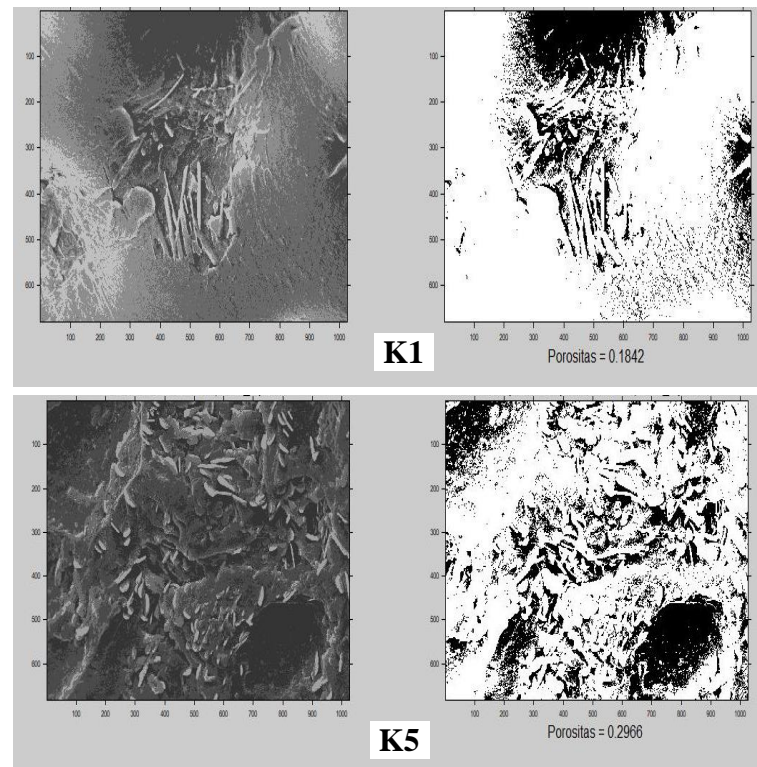
Gambar 6. Contoh hasil proses analisis citra termal dengan Matlab

### 3.4.2 Pengolahan Citra SEM

Dasar dari pengolahan citra SEM adalah menggunakan metode *unsupervised K-mean clustering*. Metode ini memisahkan dan mengelompokkan data ke dalam *cluster*/kelompok. Data yang memiliki karakteristik yang sama dikelompokkan ke dalam satu *cluster* yang sama dan data yang mempunyai karakteristik yang berbeda dikelompokkan ke dalam kelompok yang lain. Pengolahan hasil citra SEM dengan program Matlab dilakukan dengan algoritma yang dibangun atau prosedur perintah sebagai berikut.

- 1) Jumlah kluster (k) ditentukan sesuai yang diinginkan;
- 2) Nilai centroids awal ditentukan secara acak;
- 3) Jarak tiap data dihitung terhadap masing-masing centroid;
- 4) Data-data tersebut dikelompokkan ke dalam sebuah kluster berdasarkan jarak yang paling dekat (minimum);
- 5) Nilai centroids dihitung ulang (proses iterasi atau kalang) dengan menghitung nilai rerata (mean) dari data pada masing-masing kluster;
- 6) Langkah 3-5 dilakukan hingga nilai centroids tidak lagi mengalami perubahan (atau perbedaan perhitungan centroids didefinisikan tidak berbeda nyata).

Perhitungan jarak antara centroid dengan data dapat dilakukan menggunakan persamaan Euclidean distance. Penentuan dilakukan dengan simulasi, yang menghasilkan tampilan yang mendekati citra aslinya. Nilai ini diperoleh dari hasil simulasi program yang memberikan penampilan citra dan nilai porositas yang konsisten dan rasional (Gambar 7).



Gambar 7. Hasil SEM beserta hasil perhitungan porositas pada K1 dan K5 pada berbesaran citra 5000 x

### 3.5 Parameter yang Diamati

#### 3.5.1 *Thermal image*

*Thermal image* diambil dengan menggunakan alat pendeteksi suhu, yaitu dengan *thermal camera* (FLIR F5 XT) dalam bentuk citra, tetapi perangkatnya bekerja menggunakan gelombang inframerah yang mampu menangkap radiasi yang dikeluarkan dalam bentuk panas oleh suatu benda. Setiap tingkat kematangan buah diulang 5 kali, sehingga pada pengukuran TI digunakan sebanyak 50 sampel

buah. Sampel D1 merupakan sampel utama yang tidak dilakukan penyimpanan, sedangkan sampel D3 dan D5 merupakan sampel buah pada suhu simpan saat kondisi matang (*mature*) dan masak (*ripe*).

### **3.5.2 Analisis mutu fisik**

#### **3.5.2.1 Kekerasan buah**

Kekerasan buah diukur dengan alat penetrometer (type FHM-5 model KM-I, ujung berbentuk silinder diameter 5 mm; Takemura Electric Work, Ltd., Jepang). Pengukuran ini menggunakan buah utuh dengan satuan kg/cm<sup>2</sup>. Sebelum diukur bagian tengah sampel buah dikuliti terlebih dahulu menggunakan pisau atau *cutter*, kemudian jarum (*probe*) alat penetrometer diletakkan di bagian yang sudah dikuliti dan *probe* ditekan ke daging buah. Pengukuran ini dilakukan sebelum dan setelah buah masak yang dilakukan di Laboratorium Hortikultura dan Pascapanen, Jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

#### **3.5.2.2 Kondisi permukaan kulit buah (porositas)**

Kondisi permukaan kulit buah diamati dengan menggunakan SEM (*Scanning electron microscope*) di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT LT-SIT) Unila. Tahapan utama preparasi sampel buah sebelum diamati menggunakan SEM adalah pemotongan sampel kulit buah, fiksasi, dehidrasi, pengeringan, serta melapisi dengan lapisan konduktif.

Fiksasi yang dilakukan memiliki dua tahap, yaitu tahapan pertama dengan menggunakan *glutaraldehyde* ditambah dengan *cacodylate buffer*, kemudian tahapan kedua digunakan *osmium tetroxide* pada *buffer*. Selanjutnya, dehidrasi dilakukan dengan proses perendaman dalam alkohol dengan tingkat konsentrasi yang dinaikkan secara bertahap hingga mencapai 100%.

Pengeringan dilakukan dengan menggunakan *critical point drying* (CPD) atau mengaplikasikan bahan kimia seperti *hexamethyldisilazane*, yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan cairan dari sampel tanpa membuat sampel menjadi kempis. Pelapisan dengan material konduktif dilakukan dengan menggunakan *sputtering machine* dengan material konduktif, yang pada umumnya adalah karbon (C), aurum/emas (Au), platina (Pt). Analisis SEM dilakukan dengan menempelkan sampel pada *sample stage* dengan menggunakan *conductive tape* seperti *carbon* atau *copper tape* untuk dialirkan menuju *ground* dan hasil akan terlihat pada layar komputer dengan perbesaran 5000 x.

### **3.5.2.3 Bobot buah**

Bobot buah diukur menggunakan timbangan digital dengan satuan gram, sebanyak 25 sampel buah. Pengukuran ini dilakukan sebelum pengujian mutu fisik yang bersifat *destructive*, di Laboratorium Hortikultura dan Pascapanen, Jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

### **3.5.2.4 Diameter buah**

Pengukuran diameter pada buah alpukat sebanyak 25 sampel buah, dengan menggunakan alat ukur jangka sorong otomatis, yang diukur pada bagian equator buah. Pengukuran ini dilakukan di Laboratorium Hortikultura dan Pascapanen, Jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

## **3.5.3 Analisis mutu kimia**

### **3.5.3.1 Total padatan terlarut (TPT)**

Pengukuran total padatan terlarut (°Brix) diukur dengan menggunakan alat refraktometer tangan 'Atago' N-3E Brix (%), sebelum pengukuran, terlebih dahulu sampel dihaluskan untuk diambil sari buahnya. Proses penghalusan

sampel buah ini menggunakan alat parutan. Sampel yang telah halus disaring dengan kertas saring untuk diperoleh sari buahnya, kemudian sari buah diteteskan pada alat refraktometer untuk dianalisis. Analisis ini dilakukan dengan mengarahkan refraktometer pada sumber cahaya, lalu angka akan muncul pada alat, kemudian angka diamati. Pengukuran ini dilakukan menggunakan sebanyak 15 sampel buah, di Laboratorium Hortikultura dan Pascapanen, Jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Pengukuran dilakukan sebelum dan sesudah buah masak.

### 3.5.3.2 Asam bebas

Pengukuran kandungan asam bebas dilakukan dengan metode titrasi menggunakan 0,1 N NaOH dan *Phenol Ptaline* (PP) sebagai indikator. Cara penentuan asam bebas sebagai berikut.

- 1) Bahan yang sudah dihaluskan ditimbang sebanyak 5-10 g;
- 2) Bahan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL;
- 3) Aquades ditambahkan sampai batas tera;
- 4) Untuk mendapatkan filtrat dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring atau sentrifug;
- 5) Sebanyak 5–25 mL filtrat, dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 mL;
- 6) Larutan ditambahkan 2-3 tetes indikator *Phenol Ptaline* (PP);
- 7) Larutan yang telah diberi indikator pp dititrasi dengan 0,1 N NaOH standar hingga diperoleh warna pink.

Perhitungan:

$$AB (\%) = \frac{\text{Vol NaOH} \times N.\text{NaOH} \times \text{FP}}{\text{Bobot Sampel (g)}} \times 100$$

Keterangan:

Vol NaOH : Jumlah NaOH pentitrasi (mL)

N. NaOH : Normalitas NaOH pentitrasi (N)

FP : Faktor pengenceran

### 3.5.3.3 Kandungan lemak

Analisis dapat ditentukan melalui berbagai metode, salah satunya adalah metode hidrolisis menggunakan alat Soxhlet sebagai ekstraktan pelarut lemak. Analisis ini dilakukan dengan cara sebagai berikut.

- 1) Bahan contoh yang telah dihaluskan ditimbang sebanyak 2-5 g;
- 2) Bahan contoh dibungkus dengan kertas saring dan dimasukkan ke dalam tabung ekstraksi soxhlet;
- 3) Cawan lemak yang telah diketahui bobotnya dipasangkan dengan tabung ekstraksi;
- 4) Tabung ekstraksi dipasangkan pada alat distilasi soxhlet, pada tabung ekstraksi diisi pelarut non-polar hingga turun ke cawan lemak (sekitar 50 mL);
- 5) Alat ekstraksi dirangkai dengan tepat (pastikan tidak ada kebocoran);
- 6) Alat ekstraksi dialiri air pendingin, dan alat dinyalakan;
- 7) Proses ekstraksi berlangsung selama 4-5 jam;
- 8) Pelarut dengan cawan lemak yang berisi lemak dipisah dan dikeringkan pada oven dengan suhu 100-105°C selama 30 menit;
- 9) Bobot residu dalam cawan lemak dinyatakan sebagai berat lemak atau minyak.

Perhitungan:

$$\% \text{ Lemak} = \frac{B - C}{A} \times 100\%$$

Keterangan:

A = Berat contoh (g)

B = Cawan + lemak (g)

C = Cawan kosong (g)

### 3.5.3.4 Penentuan glukosa

Metode yang digunakan dalam pengujian kadar gula reduksi adalah dengan menggunakan metode Luff Schoorl. Analisis yang dilakukan sebagai berikut.

- 1) Bahan padat yang telah halus ditimbang sebanyak 2,5–25 g;

- 2) Sebanyak 100 mL aquades ditambahkan ke dalam gelas piala 250 mL;
- 3) Pb asetat ditambahkan sebagai penjernih;
- 4) Untuk menghilangkan kelebihan Pb ditambahkan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  hingga tidak timbul reaksi;
- 5) Sebanyak 25 mL larutan diambil dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer;
- 6) Sebanyak 25 mL larutan Luff-Schoorl ditambahkan;
- 7) Perlakuan blanko dibuat yaitu 25 mL larutan Luff-Schoorl ditambah 25 mL aquades;
- 8) Setelah beberapa butir batu didih ditambahkan, erlenmeyer dihubungkan dengan pendingin balik dan larutan akan mendidih selama 10 menit;
- 9) Larutan segera didinginkan dan ditambah 5 mL KI sebanyak 20%;
- 10) Secara hati-hati ditambahkan 25 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sebanyak 26,5%;
- 11) Yodium yang dibebaskan dititrasi dengan larutan Na-Thiosulfat 0,1 N memakai indikator pati 1% sebanyak 2-3%. (Titrasi diakhiri setelah timbul warna krem susu).

Perhitungan:

$$\% = \frac{(\text{Titrasi Blanko} - \text{Titrasi sample*}) \times \text{FP}}{\text{Berat Sampel (g)}} \times 100$$

Ket : \* Masukkan dalam Tabel 1

Tabel 1. Penentuan glukosa, fruktosa dan gula invert dalam suatu bahan dengan metode Luff Schoorl

ML 0,1 N Na- Thiosulfat	Glukosa, fruktosa, gula invert mg $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$		ML 0,1 N Na- Thiosulfat	Glukosa, fruktosa, gula invert mg $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	
		$\Delta$			$\Delta$
1.	2,4	2,4	13.	33,0	2,7
2.	4,8	2,4	14.	35,7	2,8
3.	7,2	2,5	15.	38,5	2,8
4.	9,7	2,5	16.	41,3	2,9
5.	12,2	2,5	17.	44,2	2,9
6.	14,7	2,5	18.	47,3	2,9
7.	17,2	2,6	19.	50,0	3,0
8.	19,8	2,6	20.	53,0	3,0
9.	22,4	2,6	21.	56,0	3,1
10.	25,0	2,6	22.	59,1	3,1
11.	27,6	2,7	23.	62,2	-
12.	30,3	2,7	24.	-	-

### 3.5.3.5 Penentuan sukrosa

Metode yang digunakan dalam pengujian kadar gula reduksi adalah dengan menggunakan metode Luff Schoorl. Cara penentuan sukrosa sebagai berikut.

- 1) Sebanyak 50 mL filtrat bebas Pb diambil dari larutan;
- 2) Larutan dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan sebanyak 25 mL aquades dan 10 mL HCL sebanyak 30% (Berat jenis 1,15) ditambahkan;
- 3) Larutan dipanaskan diatas penangas air pada suhu 67–70 °C selama 10 menit;
- 4) Larutan segera didinginkan sampai suhu 20 °C, lalu dengan NaOH sebanyak 45%;
- 5) Larutan dinetralkan, kemudian larutan diencerkan sampai volume tertentu sehingga 25 larutan mengandung 15–60 mg gula reduksi;
- 6) Sebanyak 25 mL larutan diambil dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer;
- 7) Sebanyak 25 mL larutan Luff –Schoorl ditambahkan;
- 8) Perlakuan blanko dibuat yaitu 25 mL larutan Luff-Schoorl ditambah 25 mL aquades;
- 9) Setelah beberapa butir batu didih ditambahkan, erlenmeyer dihubungkan dengan pendingin balik dan larutan akan mendidih selama 10 menit;
- 10) Larutan segera didinginkan, lalu 5 mL KI sebanyak 20% ditambahkan;
- 11) Secara hati-hati 25 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebanyak 26,5% ditambahkan;
- 12) Yodium yang dibebaskan dititrasi dengan larutan Na-Thiosulfat 0,1 N memakai indikator pati 1% sebanyak 2-3%. (Titrasi diakhiri setelah timbul warna krem susu).

Perhitungan:

$$\% = \frac{(\text{Titration Blanko} - \text{Titration sample*}) \times \text{FP}}{\text{Berat Sampel (g)}} \times 100$$

Ket : \* Masukkan dalam (Tabel 1)

Dengan mengetahui selisih antara titrasi blanko dan titrasi contoh kadar gula reduksi setelah inversi (setelah dihidrolisis dengan HCl 30%) dalam bahan dapat



dicari dengan menggunakan Tabel 1. Selisih kadar gula reduksi setelah inversi dengan sebelum inversi (Penentuan gula reduksi) dikalikan 0,95 merupakan kadar gula sakrosa dalam bahan.

### 3.5.3.6 Pati

Analisis kandungan pati dilakukan di Laboratorium Polinela (*Direct Acid Hydrolysis Method; AOAC, 1970*). Penentuan ini dilakukan dengan prosedur sebagai berikut.

- 1) bahan padat yang telah halus ditimbang sebanyak 2–5 g, ke dalam gelas piala 250 mL;
- 2) Sebanyak 50 mL aquades ditambahkan dan diaduk selama 1 Jam;
- 3) Suspensi disaring dengan kertas saring dan dengan aquades dicuci sampai volume filtrat 250 mL;
- 4) Filtrat ini mengandung karbohidrat yang terlarut dan dibuang;
- 5) Untuk bahan yang mengandung lemak, maka pati yang terdapat sebagai residu pada kertas saring 5 kali dicuci dengan 10 mL ether;
- 6) Ether dibiarkan menguap dari residu;
- 7) Untuk membebaskan lebih lanjut karbohidrat yang terlarut dicuci kembali dengan 150 mL alkohol 10%;
- 8) Secara kuantitatif residu dipindahkan dari kertas saring ke dalam erlenmeyer dengan pencucian 200 mL aquades dan 20 mL HCl sebanyak 25% ditambahkan;
- 9) Menggunakan pendingin balik bahan ditutup dan ipanaskan pada penangas air, akan mendidih selama 2,5 jam;
- 10) Setelah dingin dengan larutan NaOH sebanyak 40% dinetralkan dan diencerkan hingga volume 500 mL, dan disaring;
- 11) Sebanyak 25 mL larutan diambil dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer;
- 12) Sebanyak 25 mL larutan Luff –Schoorl ditambahkan;
- 13) Perlakuan blanko dibuat yaitu 25 mL larutan Luff-Schoorl ditambah 25 mL aquades;

- 14) Setelah ditambah beberapa butir batu didih, erlenmeyer dihubungkan dengan pendingin balik dan dididihkan selama 10 menit dan didinginkan;
- 15) Dengan 15 mL KI sebanyak 20% dan 25 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebanyak 26,5% ditambahkan;
- 16) Yodium yang dibebaskan dititrasi dengan larutan Na-Thiosulfat 0,1 N memakai indikator pati 1% sebanyak 2-3%. (Titration diakhiri setelah timbul warna krem susu).

Perhitungan:

$$\% = \frac{(\text{Titration Blanko} - \text{Titration sample*}) \times \text{FP}}{\text{Berat Sampel (g)}} \times 100$$

Ket : \* Masukkan dalam (Tabel 1)

Dengan mengetahui selisih antara titration blanko dan titration contoh kadar gula reduksi dalam bahan dapat dicari dengan menggunakan Tabel 1. Berat Glukosa dikalikan 0,9 merupakan berat pati.

### 3.5.3.7 Asam lemak bebas (ALB)

Analisis dilakukan menggunakan metode titration, dengan menggunakan natrium hidroksida dan indikator *Phenol Ptaline* (PP). Analisis ini dilakukan sebagai berikut.

- 1) Bahan diaduk rata dan berada dalam keadaan cair pada waktu diambil contohnya;
- 2) Sampel sebanyak  $28,2 \pm 0,2$  g contoh dalam erlenmeyer ditimbang;
- 3) Sebanyak 50 mL alkohol netral yang panas dan 2 mL indikator PP ditambahkan;
- 4) Menggunakan larutan 0,1 N NaOH dititrasi sampai warna merah jambu dan tidak hilang selama 30 detik.

Persen asam lemak bebas dinyatakan sebagai *oleat* (282) pada kebanyakan minyak dan lemak, untuk minyak kelapa dan minyak inti kelapa sawit dinyatakan sebagai *laurat*, sedang pada minyak kelapa sawit dinyatakan sebagai *palmitat*.

Asam lemak bebas dinyatakan sebagai % FFA atau sebagai angka asam. Cara menghitung kadar ALB menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\% \text{ ALB} = \frac{\text{mL NaOH} \times \text{N} \times \text{Berat molekul asam lemak}}{\text{Berat Sampel (g)} \times 1000} \times 100 \%$$

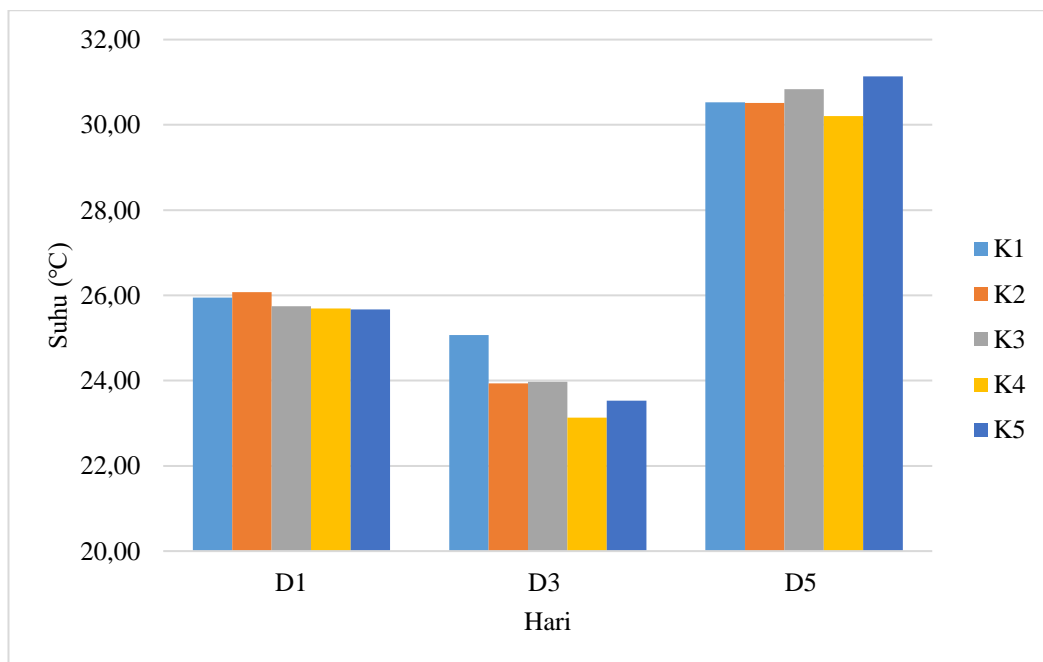
### 3.6 Analisis dan Interpretasi Data

Data dari hasil pengamatan parameter fisik dan kimia dianalisis dengan menggunakan analisis ragam (ANARA) dan jika nyata maka dilakukan uji lanjut menggunakan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf nyata 5% dan 15% (Statistix 8). Data hasil *thermal image* dianalisis menggunakan program MATLAB, kemudian hasil ekstraksi fitur dianalisis seperti pada parameter fisik dan kimia dan selanjutnya hasil dikorelasikan antara hasil parameter fisik-kimia dengan parameter *thermal image*.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 *Thermal image*

Penentuan tingkat kematangan penting dilakukan sebelum pemanenan untuk menghindari pemanenan buah yang kurang tepat sehingga menimbulkan kerugian pada pelaku budidaya alpukat. Selain itu, panen buah alpukat yang tepat juga menghindari kerusakan buah oleh konsumen karena dilakukan pemencetan pada buah sehingga buah terdeformasi dan mungkin dapat menjadi memar atau rusak. Untuk itu dilakukan pendeteksian tingkat kematangan buah alpukat melalui sensoran radiasi suhu yang dipancarkan dari sebuah benda dengan menggunakan alat kamera *thermal*. Gambar 8 menunjukkan suhu yang dipancarkan buah alpukat pada berbagai tingkat kematangan dan waktu simpan.



Gambar 8. Nilai rerata suhu buah alpukat

Keterangan:

D1 : buah tanpa penyimpanan

D3 : buah matang (*mature*) pada penyimpanan

D5 : buah masak (*ripe*) pada penyimpanan

Berdasarkan Gambar 8, pada sampel buah tanpa penyimpanan (D1) dan buah matang pada penyimpanan (D3) nilai rata-rata suhu cenderung mengalami penurunan pada masing-masing waktu pengukuran, yang diikuti dengan semakin tua tingkat kematangannya, hal ini karena sampel yang digunakan adalah sampel yang berbeda sehingga nilai rata-rata penurunan berbeda, sedangkan pada sampel buah masak pada penyimpanan (D5) menunjukkan nilai rata-rata suhu cenderung meningkat yang diikuti dengan semakin tua tingkat kematangan buah, artinya semakin buah mengalami pemasakan maka semakin tinggi radiasi suhu yang dipancarkan oleh buah pada setiap tingkat kematangan buah.

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa kriteria fisik yang sama akan memungkinkan memiliki tingkat kematangan fisiologis yang berbeda (Santosh *et al.*, 2017). Perbedaan kematangan fisiologis ini memungkinkan menyebabkan perbedaan distribusi suhu yang dipancarkan buah, pada D1, grafik cenderung mengalami penurunan. Artinya grafik tidak menunjukkan konsistensi perubahan trend (Gambar 8). Hal ini tampaknya disebabkan oleh penggunaan sampel yang tidak begitu jelas kematangannya dan variasi kematangan yang kecil.

Penggunaan sampel buah alpukat sebaiknya berasal dari buah yang telah ditandai kematangannya, seperti dari mekarnya bunga, untuk menentukan kematangannya, sehingga memungkinkan kesalahan yang sama pada penelitian lebih rendah.

Buah alpukat merupakan salah satu buah klimaterik yang ditandai dengan lonjakan etilen pada pemasakan (Seymour dan Tucker, 1993; Jeong *et al.*, 2003). Penelitian Jeong *et al.* (2003) menyatakan bahwa produksi etilen pada perlakuan kontrol mulai meningkat setelah penyimpanan 7 hari pada 13 °C dan nilai produksi maksimum mencapai 40,6 mg/kg/jam setelah 16 hari pada 13 °C. Pada perlakuan kontrol, produksi CO<sub>2</sub> mencapai nilai maksimum 145 dan 157 mg/kg/jam setelah penyimpanan masing-masing selama 5 dan 6 hari pada 20 °C. Dari penelitian sebelumnya diatas, bahwa respirasi dan produksi etilen meningkat

diikuti pemasakan buah, sehingga pada grafik terlihat bahwa hal serupa terjadi pada D5 dimana kondisi buah masak, nilai rata-rata suhu yang dipancarkan tinggi oleh karena adanya lonjakan etilen dan terjadinya respirasi.

Pada penelitian Sumriddetchkajorn dan Intaravanne (2013), teknologi inframerah dapat digunakan sebagai pendugaan kematangan buah untuk mengklasifikasikan buah utuh ke dalam kriteria belum masak (*immature*), masak dan terlalu masak (*over-ripe*) bukan didasarkan atas warna buah. Faktanya bahwa buah yang matang memiliki kandungan kapasitas panas yang lebih tinggi. Dilihat dari gambar suhu yang menunjukkan bahwa radiasi suhu tidak mampu membedakan tingkat kematangan melalui suhu yang dipancarkan, namun tampaknya mampu membedakan tingkat kemasakan pada buah alpukat.

#### 4.2 Analisis TI dan Fisik buah

Hasil penelitian pada Tabel 2, pengamatan fisik untuk parameter diameter dan bobot buah menunjukkan pengaruh nyata pada setiap tingkat kematangannya menurut BNT 5% dan 15%, dan pada parameter suhu hanya K2 dan K5 yang menunjukkan pengaruh nyata pada BNT 15%.

Tabel 2. Nilai suhu buah dan parameter fisik buah alpukat

Tingkat Kematangan	Suhu (°C)	Diameter (cm)	Bobot (g)	Kekerasan Buah Masak (kg/cm <sup>2</sup> )	Porositas (%)
K1	a 25,95 ab	c 7,24 d	c 218,06 c	a 0,40 a	0,18
K2	a 26,08 a	c 7,30 c	c 229,46 c	a 0,36 a	0,37
K3	a 25,75 ab	b 7,75 b	b 269,88 b	a 0,34 a	0,42
K4	a 25,69 ab	b 7,75 b	b 272,28 b	a 0,30 a	0,38
K5	a 25,67 b	a 8,17 a	a 325,74 a	a 0,28 a	0,30
Koefisien Korelasi (R <sup>2</sup> )		0,79	0,71	0,75	-

Keterangan: nilai yang diikuti notasi yang sama, tidak berbeda nyata menurut BNT 5% pada sebelah kiri angka dan BNT 15% pada sebelah kanan angka

Pada tabel 2 terlihat bahwa parameter suhu menunjukkan kecenderungan nilai yang menurun dari tingkat kematangan K1 ke K5. Semakin muda tingkat kematangan buah maka semakin tinggi suhu buah alpukat. Penelitian lain menyatakan bahwa buah yang belum matang memiliki kapasitas panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan buah yang belum matang (Sumriddetchkajorn Intaravanne, 2013). Namun penurunan ini tidak menunjukkan nilai penurunan yang jauh pada setiap kematangannya. Menurut uji BNT 5%, nilai tidak menunjukkan pengaruh nyata, sedangkan pada uji BNT 15 %, nilai tidak menunjukkan pengaruh nyata yang jelas tetapi pada tingkat kematangan K2 dan K5 menunjukkan pengaruh nyata yang jelas. Hal ini tampaknya disebabkan oleh penggunaan sampel yang tidak begitu jelas kematangannya dan variasi kematangan yang kecil.

Berdasarkan Tabel 2, nilai rata-rata diameter dan bobot buah tertinggi adalah pada tingkat kematangan buah paling tua (K5) dan menurun seiring dengan tingkat kematangan yang semakin muda (K1). Hal ini disebabkan buah dipanen sebelum mencapai puncak kematangan pada buah muda sehingga buah belum mencapai bobot tertingginya. Pantastico (1986) dalam Widodo *et al.* (2019) menyatakan bahwa panen pada umur petik lebih awal dari umur petik normal dapat mengurangi bobot hasil hingga lebih dari 10% meskipun dapat memperpanjang fase praklimakterik buah selama 3-5 hari.

Pada parameter kekerasan buah kondisi buah masak, tidak menunjukkan pengaruh nyata menurut BNT 5% dan 15% (Tabel 2). Parameter ini menunjukkan pada tingkat kematangan paling tua (K5) memiliki nilai kekerasan buah yang lebih rendah dibanding dengan tingkat kematangan buah muda (K1). Artinya, buah dengan kematangan tinggi memiliki nilai rata-rata yang rendah dan meningkat seiring dengan semakin muda tingkat kematangan buah. Pada penelitian Joeng *et al.* (2003) menunjukkan pada perlakuan kontrol buah melunak dengan cepat dan masak sempurna selama 7 hari di penyimpanan pada 20 °C (10/20 N). Penelitian lain, yaitu Villa-Rodriguez *et al.* (2011) menemukan bahwa pada penyimpanan hari 0, 4, 8 dan 12 masing-masing kekerasan berkurang dari kira-kira 130,51 N

sampai 54,62 N, 19,92 N dan 7,37 N, bila disimpan pada 15 °C. artinya semakin buah masak pada penyimpanan semakin lunak kekerasan buah

Analisis pada permukaan kulit buah dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Pada saat buah akan masak (*ripe*) maka terjadi pemisahan antar sel epidermis, besarnya pemisahan antar sel epidermis diwakilkan dengan nilai porositas. Pada parameter porositas kulit buah menunjukkan rata-rata nilai yang cenderung meningkat seiring dengan tingkat kematangan yang semakin tua (Tabel 2). Peneliti Williams *et.al* (1989), melaporkan bahwa buah masak memiliki keretakan yang lebih tinggi daripada buah belum matang (*unripe*), gejala pemisahan sel dan retakan antar sel ini tampaknya muncul karena sel kutikula dan epidermis tidak mampu berkembang pada tingkat yang sama dengan sel di bawahnya

Nilai rerata suhu buah berbanding lurus dengan nilai kekerasan buah alpukat yang cenderung mengalami penurunan seiring dengan tingkat kematangan yang semakin tua (Tabel 2). Lain halnya dengan nilai rerata suhu yang berbanding terbalik dengan parameter diameter, bobot dan porositas buah alpukat yang mengalami peningkatan seiring dengan tingkat kematangan buah yang semakin tua. Berdasarkan uji regresi, nilai korelasi parameter diatas cukup tinggi antara suhu dengan diameter, bobot buah dan kekerasan buah yaitu sebesar 0.79, 0.71 dan 0.75 (Tabel 2).

### **4.3 Analisis kimia buah**

Hasil penelitian pada Tabel 3 dari parameter kimia tidak menunjukkan pengaruh nyata terkecuali pada kandungan pati menurut uji BNT 5%, sedangkan menurut BNT 15% menunjukkan pengaruh nyata kecuali pada dua parameter yaitu asam bebas dan kandungan lemak.



Tabel 3. Nilai parameter kimia buah alpukat (%)

Tingkat Kematangan	Glukosa	Sukrosa	Pati	Asam Bebas	Asam Lemak Bebas	Lemak	Total Padatan Terlarut
K1	a 2,52 a	a 1,41 ab	c 3,75 c	a 1,48 a	ab 6,55 abc	a 3,11 a	a 8,33 b
K2	a 2,35 ab	a 0,8 b	c 3,88 c	a 1,48 a	ab 5,93 bc	a 3,10 a	a 10,00 a
K3	a 2,53 a	a 1,87 a	c 3,85 c	a 1,40 a	b 5,31 c	a 3,06 a	a 10,33 a
K4	a 2,37 ab	a 0,95 b	b 4,34 b	a 1,32 a	ab 7,45 ab	a 2,73 a	a 9,67 ab
K5	a 2,26 b	a 1,48 ab	a 4,91 a	a 1,40 a	a 7,67 a	a 2,52 a	a 9,33 ab
Koefisien korelasi (R <sup>2</sup> )	0,05	0,20	0,46	0,71	0,02	0,58	0,24

Keterangan: nilai yang diikuti notasi yang sama, tidak berbeda nyata menurut BNT 5% pada sebelah kiri angka dan BNT 15% pada sebelah kanan angka.

Berdasarkan Tabel 3, pengamatan parameter kimia yakni kandungan sukrosa dan total padatan terlarut pada tingkat kematangan yang lebih tua menunjukkan nilai rata-rata yang lebih tinggi dibanding dengan tingkat kematangan muda yaitu pada K1. Pada tingkat kematangan tertua (K5) nilai rata-rata sebesar 1,48% dan 9,33% untuk sukrosa dan total padatan terlarut, sedangkan pada glukosa pada tingkat kematangan tertua lebih rendah dari pada agak tua (K3) dan buah muda (K5). Hal ini diduga karena buah dalam tahap pematangan untuk mengoptimalkan komposisi kimia buah, dan belum mencapai puncak kematangan pada saat panen.

Umumnya buah muda memiliki kadar air yang lebih tinggi dan dapat membentuk senyawa yang lebih sederhana (glukosa, fruktosa, etanol) melalui proses hidrolisis. Buah matang yang lebih tua akan mensintesis senyawa seperti pati dan sukrosa, yang akan meningkatkan kandungan gula dalam buah selama fotosintesis. Pada buah yang sedang berkembang, beberapa komponen karbon terlarut seperti gula pereduksi, sukrosa dan asam organik terdapat dalam jumlah yang berbeda, tergantung pada varietas dan tingkat perkembangannya (Bollard, 1970; Nurhayati, 2004).

Total padatan terlarut dalam buah dapat digunakan sebagai indikator untuk mengukur kematangan buah, karena kandungan gula dalam buah mencapai 80-

85% dari total padatan terlarut, yang akan menentukan kualitas buah. Ketika substrat berupa senyawa karbohidrat kompleks masih banyak tersedia, total padatan terlarut akan maksimal karena aktivitas enzim pembelahan masih tinggi. Pada tingkat kematangan agak tua (K3), nilai total padatan terlarut sangat tinggi, diduga pada tingkat kematangan tersebut substrat berupa senyawa kompleks masih banyak tersedia sehingga menyebabkan terjadinya dekomposisi senyawa tersebut yang akan menghasilkan total padatan terlarut yang tinggi. Sebaliknya pada tingkat kematangan muda (K1) diduga terdapat senyawa gula kompleks pati dalam jumlah sedikit, sehingga penguraian senyawa tersebut sedikit.

Pada kandungan pati cenderung mengalami penurunan seiring dengan semakin muda tingkat kematangan buah alpukat. Artinya semakin tinggi tingkat kematangan buah alpukat nilai rata-rata kandungan alpukat juga semakin tinggi. Rata-rata nilai kandungan tertinggi pada tingkat kematangan tertua (K5) sebesar 4,91%, sedangkan rata-rata terkecil yaitu pada tingkat kematangan buah muda (K1) sebesar 3,75%. Pada tingkat kematangan tertua (K5) mengalami pemasakan lebih cepat hal ini tampaknya juga berhubungan dengan kandungan bahan kering, semakin tinggi bahan kering maka semakin cepat buah masak dan waktu pemasakan menjadi singkat.

Buah yang dipanen dengan kadar bahan kering di bawah batas minimum yang direkomendasikan akan matang secara tidak teratur dan tidak sepenuhnya matang. Demikian pula buah-buahan yang dipanen dengan bahan kering tinggi mengalami pematangan yang cepat dan mengurangi umur simpan (Wu *et al.*, 2011).

Persyaratan minimum bahan kering bervariasi dari 19 hingga 25%, tergantung pada kultivar (19,0% untuk Fuerte, 20,8% untuk Hass dan 24,2% untuk Gwen) dan negara (21% untuk Australia, 21,6-22,8% untuk AS dan 23,0% untuk Meksiko, Amerika Selatan dan Afrika Selatan untuk 'Hass' alpukat) (Hofman *et al.*, 2002; Orhevba dan Jinadu, 2011; Kassim *et al.*, 2013).

Selanjutnya, pada peubah asam bebas yang cenderung mengalami peningkatan pada sampel yang semakin muda, yang berarti nilai rata-rata kandungan asam bebas tertinggi pada K1 sebesar 1,48%, yang mana diketahui bahwa K5

merupakan tingkat kematangan yang paling tua. Hal ini dikarenakan pada tingkat kematangan tertua sudah melewati fase pengoptimalan kandungan kimia pada buah seperti gula, lemak, pati sehingga tingkat asam bebas pada buah muda menjadi tinggi. Menurut Kosiyachinda *et al.* (1984), keasaman yang dapat dititrasi menurun dengan awal pematangan, namun tidak ada nilai umum untuk keasaman maksimum yang dapat dititrasi.

Pada parameter pengamatan kandungan lemak terjadi penurunan yang diikuti dengan semakin mudanya tingkat kematangan buah, yang artinya nilai rata-rata kandungan lemak pada tingkat kematangan K1 lebih tinggi dari pada kematangan K5. Berbeda dengan standar kandungan lemak pada alpukat ekspor yaitu pada alpukat hass yang memiliki kandungan lemak mencapai 11%.

Sejak 1925, standar minimum kandungan lemak daging buah alpukat 8% di digunakan di Industri Alpukat California di Amerika Serikat, tetapi sejak tahun delapan puluhan mereka mulai menggunakan persentase kandungan lemak minimum untuk masing-masing kultivar (misalnya 10,0% untuk Fuerte dan 11,2% untuk Hass) (Anon, 1925; Lee *et al.*, 1983; Ozdemir dan Topuz, 2004; Dodd *et al.*, 2010). Kandungan lemak dalam alpukat tergantung pada beberapa faktor, seperti kultivar (Chen *et al.*, 2009; Dodd *et al.*, 2010; Orhevba dan Jinadu, 2011), kondisi pertumbuhan agro-ekologis (Landahl *et al.*, 2009; Kassim *et al.*, 2013; Donetti dan Terry, 2014) dan tahap perkembangan buah (Ozdemir and Topuz, 2004; Osuna-Garcia *et al.*, 2010; Villa-Rodríguez *et al.*, 2011).

Pada kandungan asam lemak bebas (ALB) yang menggunakan asam oleat mengalami peningkatan seiring dengan semakin tinggi tingkat kematangan buah alpukat. Artinya semakin tua tingkat kematangan alpukat maka semakin tinggi juga ALB yang terkandung. Pada tingkat kematangan tertua (K5) nilai rata-rata ALB sebesar 7,67% dan pada tingkat kematangan muda (K1) sebesar 6,55%, hal ini didukung oleh Yanty *et al.* (2011) membandingkan karakteristik lemak dari tiga kultivar alpukat Malaysia (*Persea americana*) dengan lemak dari varietas Hass alpukat Australia sebagai karakteristik umum, lemak dari kedua kultivar lokal dan varietas Hass ditemukan memiliki asam oleat sebagai asam lemak yang

paling dominan. Donetti dan Terry (2014) menyarankan asam oleat sebagai potensi penanda biokimia untuk membedakan asal buah alpukat 'Hass' yang diimpor.

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya (Tabel 3) bahwa nilai rerata suhu cenderung mengalami penurunan seiring dengan tingkat kematangan buah alpukat yang semakin tua, hal ini diikuti oleh parameter pengamatan kimia pada glukosa, asam bebas dan kandungan lemak. Berbeda dengan parameter kandungan pati, sukrosa, total padatan terlarut dan asam lemak bebas yang cenderung mengalami peningkatan seiring dengan tingkat kematangan buah alpukat yang semakin tua. Berdasarkan uji regresi, nilai korelasi menunjukkan beberapa parameter pengamatan memiliki hubungan yang erat dengan nilai regresi yang cukup tinggi yaitu diatas 0,5 seperti pada asam bebas dan lemak sebesar 0.71 dan 0.58 (Tabel 3).

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Radiasi suhu yang dipancarkan oleh berbagai tingkat kematangan buah alpukat dan ditangkap dalam bentuk citra oleh *camera thermal* menunjukkan buah dengan tingkat kematangan yang lebih tua memancarkan radiasi suhu yang lebih rendah dibandingkan buah dengan tingkat kematangan muda. Hal sebaliknya terjadi pada kondisi buah masak (*ripe*).
2. Hubungan radiasi termal menunjukkan korelasi yang cukup tinggi dengan parameter diameter, bobot, kekerasan buah, asam bebas dan lemak, yaitu sebesar 0,79; 0,71; 0,75; 0,71 dan 0,58 tetapi korelasi rendah antara radiasi suhu dengan parameter kandungan glukosa, sukrosa, pati, total padatan terlarut, dan asam lemak bebas dengan nilai di bawah 0,5.
3. Metode *thermal image* yang digunakan belum mampu mendeteksi tingkat kematangan buah alpukat dengan perbedaan yang kecil, namun mampu membedakan tingkat kemasakan buah melalui radiasi suhu yang dipancarkan oleh buah, suhu radiasi tersebut meningkat seiring dengan kemasakan buah.

## 5.2 Saran

Penelitian ini perlu dilakukan lebih lanjut. Untuk penggunaan sampel buah alpukat sebaiknya lebih bervariasi dan berasal dari buah yang telah ditandai kematangannya, seperti dari mekarnya bunga, untuk menentukan kematangannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous. 1925. Standardization committee report California Avocado Association Annual Report. California Avocado Association, Pasadena. CA. pp. 46-47.
- Arzate-Vazquez, I., Chanona-Perez, J., Calderon-Dominguez, G., Moreno-Armendariz, M.A., Calvo, H., Chalderon, S.G., Quevedo, R. and Gurierrez-Lopez, G. 2011. Image processing applied to classification of avocado variety Hass (*Persea americana* Mill.) During the Ripening Process. *Food Bioprocess Technol.* 4:1307–1313.
- Badan Pusat Statistik. 2020. *Produksi buah-buahan*. <https://www.bps.go.id>. [Diakses pada 26 Juni 2021].
- Blakey, R.J., Bower, J.P. and Bertling, I. 2011. Influence of water and ABA supply on the ripening pattern of avocado (*Persea americana* Mill.) fruit and the prediction of water content using Near Infrared Spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology.* 53:72-76.
- Bollard, E.G. 1970. The physiology and nutrition of developing fruits. In: *The Biochemistry of Fruits and Their Product*. Hulme, A.C. (eds). London & New York. Academic Press. Vol I. Pp 387-425.
- Chen, H., Morrell, P.L., Ashworth, V.E.T.M., de la Cruz, M. and Clegg, M.T. 2009. Tracing the geographic origins of major avocado cultivars. *Journal of Heredity.* 100:56-65.
- Deenan, S.P. and Kumar, J.S. 2015. Assessment of banana fruit maturity by image processing technique. *Journal of Food Science and Technology.* 52(3).
- Dodd, M., Cronje, P., Taylor, M., Huysamer, M., Kruger, F., Lotz, E. and Van der Merwe, K. 2010. A review of the postharvest handling of fruits in South Africa over the past twenty five years. *South Afr. J. Plant Soil.* 27:97-116.

- Donetti, M. and Terry, L.A. 2014. Biochemical markers defining growing area and ripening stage of imported avocado fruit cv. Hass. *J. Food Comp. Anal.* 34:90-98.
- Gamble, J., Harker, F.R., Jaeger, S.R., White, A., Bava, C., Beresford, M., Stubbings, B., Wohlers, M., Hofman, P.J., Marques, R. and Woolf, A. 2010. The impact of dry matter, ripeness and internal defects on 56 consumer perceptions of avocado quality and intentions to purchase. *Postharvest Biology and Technology.* 57:35-43.
- Getinet, H., Workneh T.S. and Woldetsadik, K. 2011. Effect of maturity stages, variety and storage environment on sugar content of tomato stored in multiple pads evaporative cooler. *Afr. J. Biotechnol.* 10(80):18481- 18492.
- Hofman, P.J., Stubbings, B.A., Adkins, M.F., Meiburg, G.F. and Woolf, A.B. 2002. Hot water treatments improve 'Hass' avocado fruit quality after cold disinfestations. *Postharvest Biology and Technology.* 24:183-192.
- Hofman, P.J., Fuchs, Y. and Milne, D.L. 2002. Harvesting, packing, postharvest technology, transport and processing. pp. 363-391. In: *The Avocado: Botany, Production and Uses.* Wiley, A.W., Schaffer, B. and Wolstenholme, B.N. (eds). CAB International, London, U.
- Indarto, I. dan Murinto, M. 2017. Deteksi kematangan buah pisang berdasarkan fitur warna citra kulit pisang menggunakan metode transformasi ruang warna HIS. *JUITA.* 5(1):15-21.
- Ishimwe, R., Abutaleb, K. and Ahmed, F. 2014. Applications of thermal imaging in agriculture-a review. *Advances in Remote Sensing Journal.* 3:128-140.
- Jati, I.M. dan Rivai, M. 2019. Implementasi *thermal camera* pada pengaturan pendingin ruangan. *Jurnal Teknik ITS.* 8(2). ISSN: 2337-3539.
- Jeong, j., Donald, J.H. and Steven, A.S. 2003. Delay of avocado (*Persea americana*) fruit ripening by 1-methylcyclopropene and wax treatments. *Postharvest Biology and Technology.* 28:247-257.
- Kassim, A., Workneh, T.S. and Bezuidenhout, C.N. 2013. A review on postharvest handling of avocado fruit. *Afr. J. Agric. Res.* 8:2385-2402.
- Knight, R.J. 2002. History, distribution and uses. In: Wiley, A.W., Schaffer, Bl., Wolstenholme, B.,N. editors. *The Avocado: Botany, Production and Uses.* Wallingford, UK: CAB International. pp. 1-14.
- Kosiyachinda, S. and Mendoza, D.B.Jr. 1984. *Harvesting of mango.* In: *Mango Fruit Development, Postharvest Physiology and Marketing in ASEAN.* Mendoza, D.B.Jr. and Wills, R.B.H. (eds). ASEAN-PHTRC. Laguna. Philippines.



- Landahl, S., Meyer, M.D. and Terry, L.A. 2009. Spatial and temporal analysis of textural and biochemical changes of imported avocado cv. Hass during fruit ripening. *J. Agric. Food Chem.* 57:7039-704.
- Lee, S.K., Young, R.E., Schiffman, P.M. and Coogins, C.W.Jr. 1983. Maturity studies of avocado fruit based on picking dates and dry weight. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108, 390-394.
- Linke, M., Geyer, M., Beuche, H., and Hellebrand, H. J. 2000. Possibilities and limits of the use of thermography for the examination of horticultural products. *Agrartechnische Forschung J.* 6: 110-114.
- Lobit, P., Soing, P., Genard, M. and Habib, R. 2002. Theoretical analysis of relationships between composition, pH, and titratable acidity of peach fruit. *J. Plant Nutr.* 25(12):2775-2792.
- Nurhayati, S. 2004. Kajian sifat fisik, kimia dan fisiologi terhadap beberapa tingkat kematangan buah rambutan varietas si Macan di kabupaten Gunung Kidul Yogyakarta. *Jurnal Matematika, Sains dan Teknologi.* 5(2):85-96.
- Orhevba, B.A. and Jinadu, A.O. 2011. Determination of physicochemical properties and nutritional contents of avocado pear (*Persea americana* Mill.). *Acad. Res. Int.* 1:372-380.
- Osuna-Garcia, J.A, Doyon, G., Salazar-Garcia, S., Goenaga, R. and Gonzalez-Duran, I.J.L. 2010. Effect of harvest date and ripening degree on quality and shelf life of Hass avocado in Mexico. *Fruits.* 65(6):367-375.
- Ozdemir, F. and Topuz, A. 2004. Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocados during harvesting time and post-harvesting ripening period. *Food Chemistry.* 86:79-83.
- Pagiling, F., Supratomo, S. dan Faridah, S.N. 2017. Sebaran suhu buah terung belanda (*chypomandra betacea*) pada berbagai tingkat kematangan selama proses pendinginan (hydrocooling). *Jurnal AgriTechno.* 10(2).
- Pantastico, E.B. 1986. Fisiologi Pasca Panen, Penanganan dan Pemanfaatan Buah-Buahan dan Sayur– Sayuran Tropika dan Subtropika. Dalam: *Postharvest Physiology, Handling and Utilization of Tropical and Sub-Tropical Fruits and Vegetables.* Kamariyani. (eds). Gajah Mada University. Yogyakarta. 120-135 hlm.
- Paul, V., Pandey, R. and Srivastava, G.C. 2012. The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene-an overview. *Journal of Food Science and Technology.* 49:1–21.

- Perez, K., Mercado, J. and Soto-Valdez, H. 2004. Effect of storage temperature on the shelf life of Hass avocado (*Persea americana*). *Food Sci. Technol. Inter.* 10(2):73-77.
- Prakash, A. 2000. Thermal remote sensing: concepts, issues and applications. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Journal.* 33: 239-243.
- Purnama, S.I., Irmatul, H., Mas, A.A. dan Elsa, S.M. 2021. Optimasi pembacaan suhu kamera termal menggunakan regresi linier. *BAREKENG: J. Il. Mat. & Ter.* 15(1)127-136.
- Rodriguez-Pulido, F.J., Gomez-Robledo, L., Melgosa, M., Gordillo, B., Gonzalez-Miret, M.L. and Heredia, F.J. 2012. Ripeness estimation of grape berries and seeds by image analysis. *Comp Elect Agric.* 82:128–133.
- Santosh, D.T., Tiwari, K.N. and Reddy, R.G. 2017. Banana bunch covers for quality banana production—a review. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 6(7):1275-1291.
- Schaffer, B., Wolstenholme, B.N. and Whiley, A.W. 2013. *The Avocado: Botany, Production, and Uses.* 2nd (ed). Wallingford, UK. CAB International. pp 268-300.
- Sumriddetchkajorn, S. and Intaravanne, Y. 2013. Two dimensional fruit ripeness estimation using thermal imaging. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering.* Pattaya: 26-28 May 2013. 8883 1C.
- Sunardi, Yudhana, A. dan Saifullah, S. 2016. Thermal imaging untuk identifikasi telur. *Prosiding Konferensi Nasional Ke- 4.* Yogyakarta. 152-157 hlm.
- Villa-Rodriguez, J.A., Molina-Corral, F.J., Ayala-Zavala, J.F., Olivas, G.I. and Gonzalez-Aguilar, G.A. 2011. Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of ‘Hass’ avocado. *Food Res. Int.* 44:1231-1237.
- Widodo, S.E. 2017. *Capita Selecta Panen, Pascapanen, dan Analisis Mutu Produk Tanaman Buah.* LPPM Unila, Bandar Lampung. 107 hlm.
- Widodo, W.D., Suketti, K. dan Rahardjo, R. 2019. Evaluasi kematangan pascapanen pisang barangan untuk menentukan waktu panen terbaik berdasarkan akumulasi satuan panas. *Bul. Agrohorti* 7(2):162-171.
- Williams, M. H., Vesk, M., and Mullins, M. G. 1989. Characteristics of the surface of banana peel in cultivars susceptible and resistant to maturity bronzing. *Can. J. Bot.* 67: 2154-2160.

- Workneh, T.S. and Osthoff, G. 2010. A review on integrated agro-technology of vegetables. *Afr. J. Biotechnol.* 9(54):9307-9327.
- Workneh, T.S, Osthoff, G. and Steyn, M.S. 2011. Influence of preharvest and postharvest treatments on stored tomato quality. *Afr. J. Agric. Res.* 6(12):2725-2736.
- Wu, C.T., Roan, S.F., Hsiung, T.C., Chen, I.Z., Shyr, J.J. and Wakana, A. 2011. Effect of harvest maturity and heat pretreatment on the quality of low temperature storage avocados in Taiwan. *J Facul. Agric. Kyus. Univ.* 56(2):255-262.
- Yanty, N.A.M., Marikkar, J.M.N. and Long, K. 2011. Effect of varietal differences on composition and thermal characteristics of avocado oil. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 88:1997-2003.

## **LAMPIRAN**

## Interpretasi data *thermal image* dengan program Matlab

```

clc;    close all;  clear;    workspace;
formatlongg; format compact;  fontSize = 10;

%=====
=====
% Memasukkan informasi ttg file TI dan suhu maksimum-minimumnya
yang akan diolah.
baseFileName = 'K1U3T2C.jpg'; % Assign the one on the button that
they clicked on.
fp = fopen('K1U3T2C_suhu.txt','w');           % Membuat file teks
utk penyimpanan data

% % Ubahlah nilai suhu maksimum dan suhu minimum sesuai skala bar
pada TI
highTemp = 29.5;    lowTemp = 25.4;

ext = '.jpg';  folder = pwd;
fullFileName = fullfile(folder, baseFileName);
noOfClusters = 1;
%=====
=====

% Membaca citra sampel.
originalRGBImage = imread(fullFileName);

% Menampilkan gambar.
figure(1); subplot(2, 3, 1);
imshow(originalRGBImage, []);
axis on;
caption = sprintf('Citra Warna Semu Mula-mula, %s', baseFileName);
title(caption, 'FontSize', fontSize, 'Interpreter', 'None');
xlabel('Kolom', 'FontSize', fontSize, 'Interpreter', 'None');
ylabel('Baris', 'FontSize', fontSize, 'Interpreter', 'None');
set(gca, 'FontSize', 8);
drawnow;

grayImage = min(originalRGBImage, [], 3); % Digunakan utk
menemukan bagian citra dan color map dari sampel .

% Memotong bagian color bar.
xmin = 301;          ymin = 29;          %menentukan awal kolom
(sb. x) dan awal baris (sb. y)
lebar = 15;          tinggi = 182;      %nilai baris ini jangan
diubah
colorBarImage = imcrop(originalRGBImage, [xmin, ymin, lebar,
tinggi]);
b = colorBarImage(:, :, 3);

% Memotong bagian citra RGB sampel.
xmin2 = 80;          ymin2 = 40;        %menentukan awal kolom
(sb. x) dan awal baris (sb. y)
lebar2 = 175;        tinggi2 = 175;     %nilai ini jangan diubah
rgbImage = imcrop(originalRGBImage, [xmin2, ymin2, lebar2,
tinggi2]);

```

```

% Menentukan dimensi citra.
% numberOfColorBands semestinya = 3.
[rows, columns, numberOfColorChannels] = size(rgbImage);

% Menampilkan gambar.
subplot(2, 3, 2);
imshow(rgbImage, []);
axis on;
caption = sprintf('Hasil Cropping Citra Warna Semu');
title(caption, 'FontSize', fontSize, 'Interpreter', 'None');
xlabel('Kolom', 'FontSize', fontSize, 'Interpreter', 'None');
ylabel('Baris', 'FontSize', fontSize, 'Interpreter', 'None');
set(gca, 'FontSize', 8);
drawnow;
hp = impixelinfo();

% Menampilkan gambar colorbar.
subplot(2, 3, 3);
imshow(colorBarImage, []);
caption = sprintf('Hasil Cropping Colorbar');
title(caption, 'FontSize', fontSize, 'Interpreter', 'None');
drawnow;

% Mengeset tampilan gambar :
% Melebarkan gambar hingga memenuhi layar.
set(gcf, 'Units', 'Normalized', 'OuterPosition', [0 0.05 1 0.95]);
set(gcf, 'Name', 'Demo by ImageAnalyst', 'NumberTitle', 'Off')

% Get the color map.
storedColorMap = colorBarImage(:,1,:);
storedColorMap = double(squeeze(storedColorMap)) / 255;

% Langkah flip up/down karena baris bawah menunjukkan suhu tinggi,
bukan suhu yang rendah.
storedColorMap = flipud(storedColorMap);

% Mengkonversi citra RGB menjadi grayscale, indexed, thermal
image.
indexedImage = rgb2ind(rgbImage, storedColorMap);

% Menampilkan citra thermal.
subplot(2, 3, 4);
imshow(indexedImage, []);
axis on;
caption = sprintf('Citra Terindeks (Citra Skala Keabuan)');
title(caption, 'FontSize', fontSize, 'Interpreter', 'None');
set(gca, 'FontSize', 8);
drawnow;

% Scale the image so that it's actual temperatures
thermalImage = lowTemp + (highTemp - lowTemp) *
mat2gray(indexedImage);

%----- awal tambahan -----
H = fspecial('gaussian', [3 3], 0.5);
thermalImage = imfilter(thermalImage, H, 'replicate');
%----- akhir tambahan -----

```

```

subplot(2, 3, 5);
imshow(thermalImage, []);
axis on;
colorbar;
title('Floating Point Citra Thermal (oC)', 'FontSize', fontSize,
'Interpreter', 'None');
hp = impixelinfo(); % Let user mouse around and see temperatures.
hp.Units = 'normalized';
hp.Position = [0.45, 0.03, 0.25, 0.05];
set(gca, 'FontSize', 8);

%----- Mengambil dan Menampilkan Area Sampel TI utk Analisis ----
---
% A = [61 51 60 60]; %menentukan area sampel TI (Ini contoh
utk K5U5T1C.jpg)
A = [46 63 60 60]; %menentukan area sampel TI
%Keterangan matrik A di atas:
%Angka pertama: menunjukkan awal kolom
%Angka kedua : menunjukkan awal baris
%Angka ketiga : menunjukkan lebar area -- jangan diubah
%Angka keempat: menunjukkan tinggi area -= jangan diubah
hold on;
rectangle('Position',A,'EdgeColor','w','LineWidth',2)
hold off;

%----- Menghitung Rerata dan Standar Deviasi Area Sampel TI ----
---%
ASampel = thermalImage((A(2):A(2)+A(4))-1,A(1):A(1)+A(3)-1);
subplot(2, 3, 6);
imshow(ASampel, []);
axis on;
title('Representatif Area TI (oC) utk Analisis', 'FontSize',
fontSize, 'Interpreter', 'None');
colorbar;
set(gca, 'FontSize', 8);
hp = impixelinfo();

JumElemen = numel(ASampel);
JAKumulatif = 0;
for i=1:JumElemen;
    JAKumulatif = JAKumulatif + ASampel(i);
end
Rerata = JAKumulatif/JumElemen;

JumEl = numel(ASampel);
PjArea = length(ASampel);
StDevisasi = 0;
for i=1:JumEl;
    StDevisasi =StDevisasi + (ASampel(i)-Rerata)^2;
end
StDevisasi =(StDevisasi/(JumEl-1))^(1/2);
SuhuMaks = max(max(ASampel));
SuhuMin = min(min(ASampel));

fprintf(fp, 'Informasi tentang TI : \n\n');
fprintf(fp, 'Nama file TI : %s \n',baseFileName);
fprintf(fp, 'Suhu maks. global : %7.2f \n',highTemp);

```

```
fprintf(fp, 'Suhu min. global : %7.2f \n\n\n', lowTemp);
fprintf(fp, 'Data suhu dari representatif area TI : \n\n');
fprintf(fp, 'Suhu maksimum : %7.3f \n', SuhuMaks);
fprintf(fp, 'Suhu minumum : %7.3f \n', SuhuMin);
fprintf(fp, 'Suhu rerata : %7.3f \n', Rerata);
fprintf(fp, 'Std. deviasi : %7.3f \n\n', StDeviasi);
```

-----%

Tabel 4. Data analisis suhu dan mutu fisik untuk analisis ragam

PERLAKUAN	ULANGAN	TI (°C)	DIAMETER (cm)	BOBOT (g)	Kekerasan Buah (Kg/cm <sup>2</sup> )
K1	1	25,49	6,71	181,55	0,64
K2	1	25,93	7,05	237,20	0,20
K3	1	25,51	7,84	296,30	0,55
K4	1	26,36	7,24	208,40	0,30
K5	1	24,63	8,06	302,30	0,40
K1	2	25,72	7,39	208,20	0,42
K2	2	26,48	7,20	225,60	0,50
K3	2	25,61	7,74	247,40	0,20
K4	2	25,62	7,80	265,80	0,33
K5	2	26,57	8,17	313,70	0,15
K1	3	26,06	6,87	217,00	0,21
K2	3	25,80	7,39	223,80	0,29
K3	3	25,98	7,95	303,60	0,55
K4	3	25,46	7,81	290,20	0,39
K5	3	25,55	8,14	332,10	0,28
K1	4	26,47	7,45	222,60	0,26
K2	4	25,92	7,28	212,30	0,60
K3	4	25,75	7,69	237,50	0,20
K4	4	25,52	7,92	302,00	0,38
K5	4	25,94	8,53	356,20	0,29
K1	5	26,01	6,81	200,00	0,45
K2	5	26,25	7,56	248,40	0,21
K3	5	25,87	7,52	264,60	0,20
K4	5	25,47	7,98	295,00	0,10
K5	5	25,66	7,97	324,40	0,27

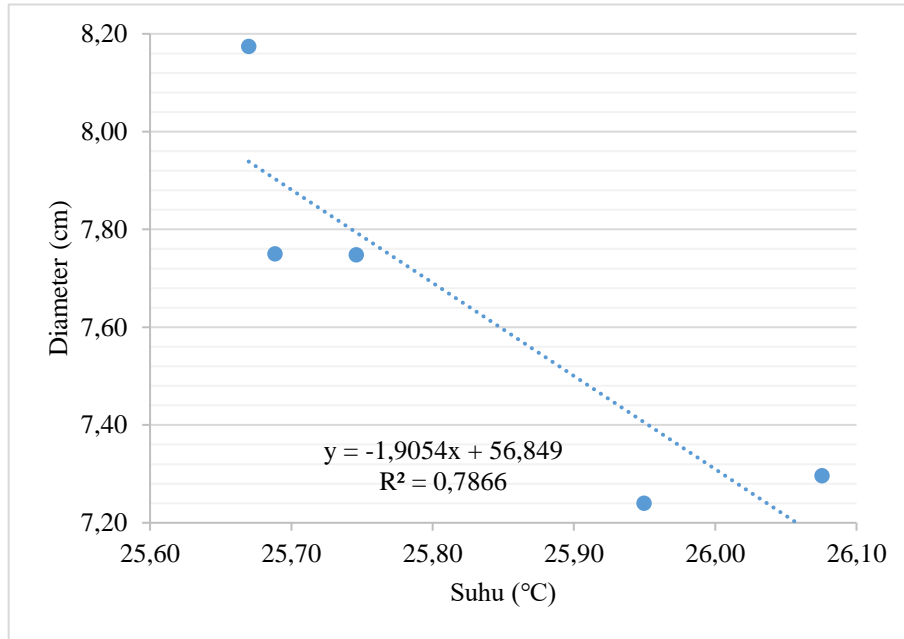


Tabel 5. Data analisis mutu kimia (lemak, pati, sukrosa, glukosa) (%)

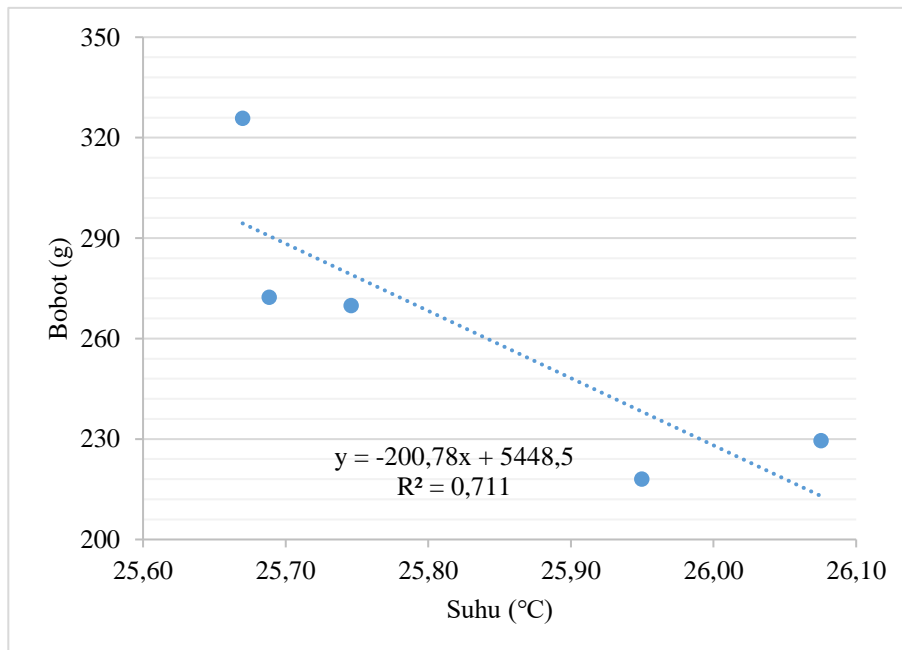
<b>TINGKAT KEMATANGAN</b>	<b>ULANGAN</b>	<b>LEMAK</b>	<b>PATI</b>	<b>SUKROSA</b>	<b>GLUKOSA</b>
<b>K1</b>	1	3,10	3,66	1,25	2,42
<b>K2</b>	1	2,60	3,82	0,58	2,38
<b>K3</b>	1	3,29	3,90	0,74	2,50
<b>K4</b>	1	2,39	4,40	1,39	2,19
<b>K5</b>	1	2,37	5,20	1,80	1,93
<b>K1</b>	2	3,24	3,75	0,64	2,51
<b>K2</b>	2	3,30	3,92	1,17	2,26
<b>K3</b>	2	2,56	3,72	2,45	2,58
<b>K4</b>	2	1,94	4,47	0,71	2,37
<b>K5</b>	2	2,36	4,85	1,15	2,51
<b>K1</b>	3	2,98	3,84	2,34	2,63
<b>K2</b>	3	3,40	3,91	0,65	2,43
<b>K3</b>	3	3,33	3,92	2,43	2,52
<b>K4</b>	3	3,86	4,15	0,76	2,56
<b>K5</b>	3	2,83	4,67	1,51	2,34

Tabel 6. Data analisis mutu kimia (asam bebas, asam lemak bebas, total padatan terlarut) (%)

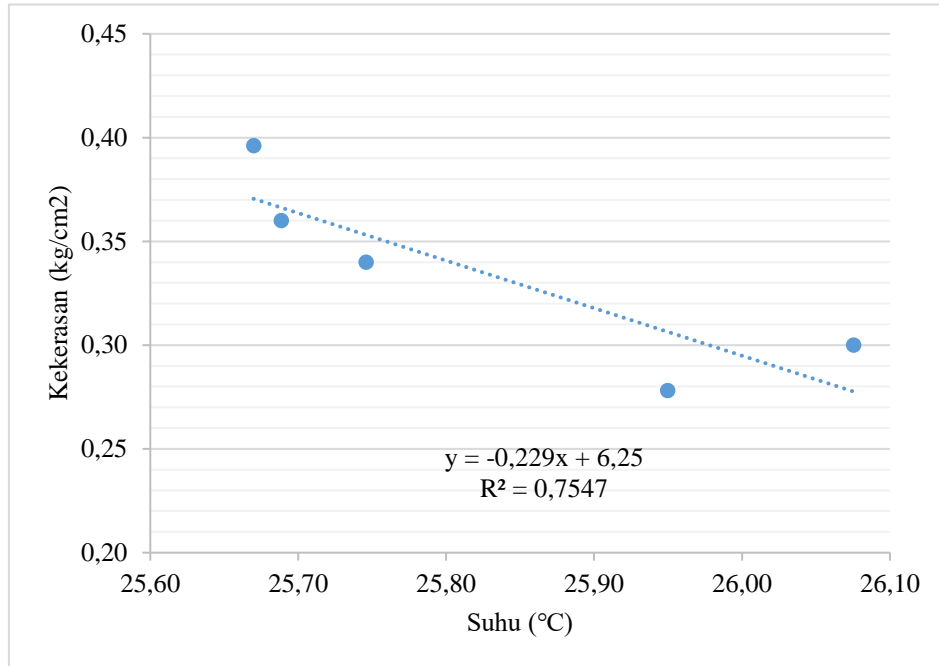
<b>TINGKAT KEMATANGAN</b>	<b>ULANGAN</b>	<b>ASAM BEBAS</b>	<b>ASAM LEMAK BEBAS</b>	<b>TOTAL PADATAN TERLARUT</b>
<b>K1</b>	1	1,92	6,89	3,00
<b>K2</b>	1	1,46	5,58	3,00
<b>K3</b>	1	1,67	5,99	3,32
<b>K4</b>	1	1,37	8,80	3,32
<b>K5</b>	1	1,22	9,14	3,32
<b>K1</b>	2	1,07	6,24	3,00
<b>K2</b>	2	1,31	6,40	3,32
<b>K3</b>	2	1,42	4,00	3,32
<b>K4</b>	2	1,24	8,36	3,00
<b>K5</b>	2	1,39	6,53	3,00
<b>K1</b>	3	1,46	6,53	2,65
<b>K2</b>	3	1,67	5,80	3,16
<b>K3</b>	3	1,12	5,93	3,00
<b>K4</b>	3	1,34	5,19	3,00
<b>K5</b>	3	1,59	7,35	2,83



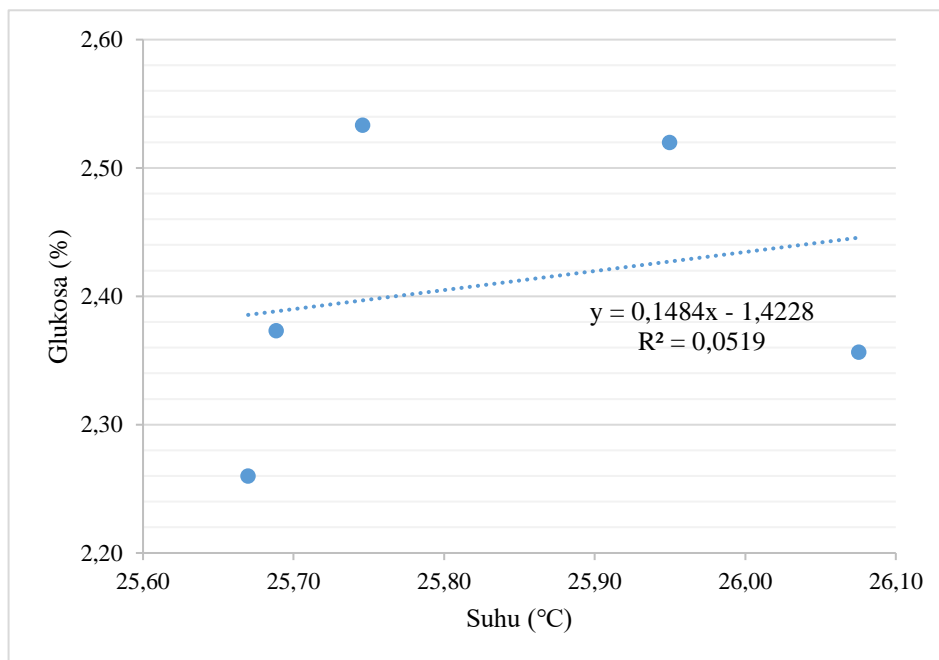
Gambar 9. Hubungan antara suhu dengan diameter buah



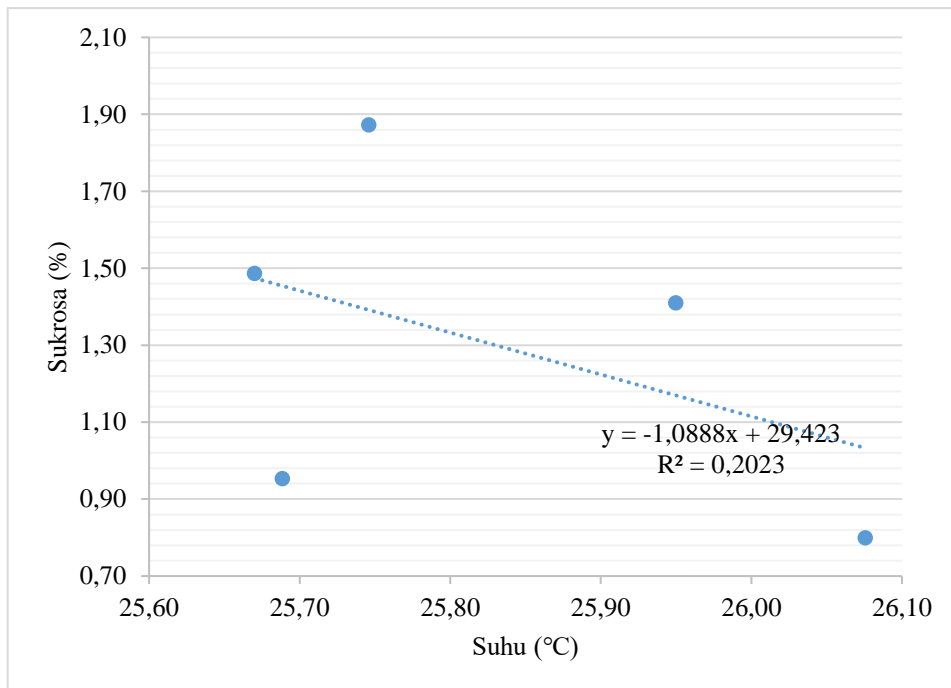
Gambar 10. Hubungan antara suhu dengan bobot buah



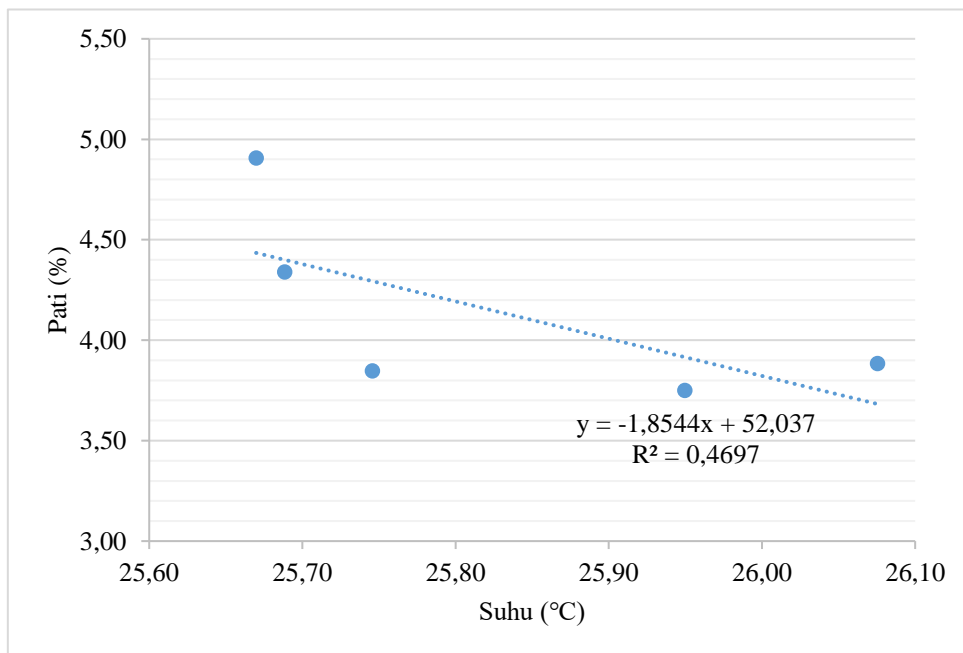
Gambar 11. Hubungan antara suhu dengan kekerasan buah



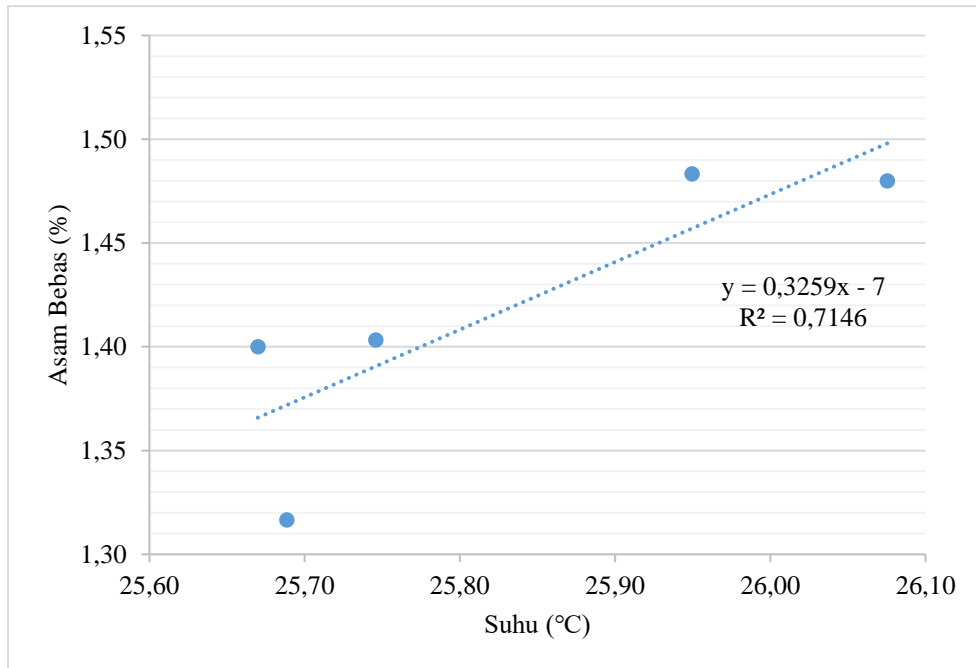
Gambar 12. Hubungan antara suhu dengan kandungan glukosa



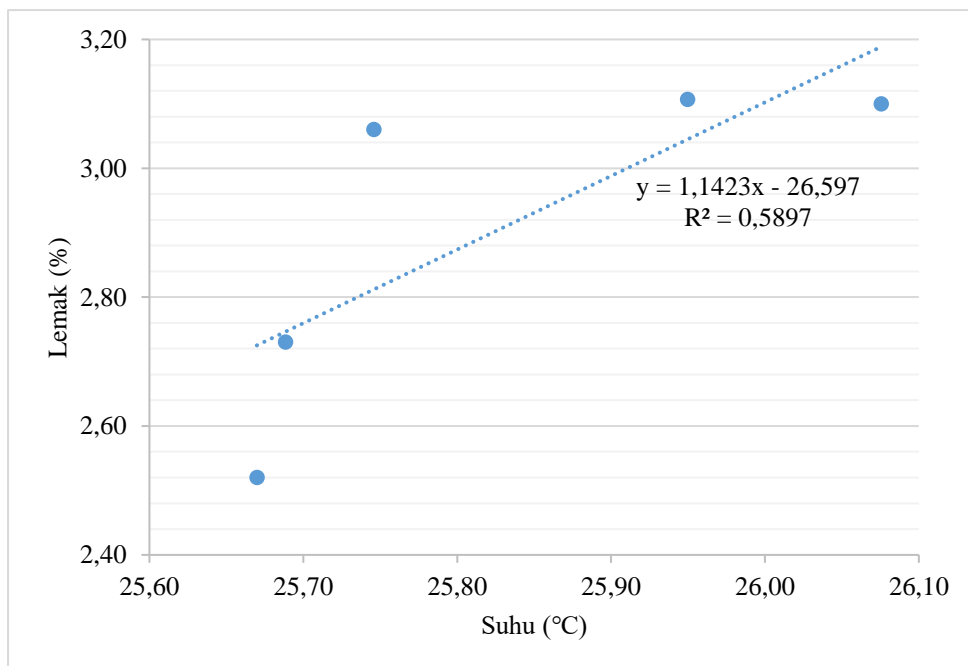
Gambar 13. Hubungan antara suhu dengan kandungan sukrosa



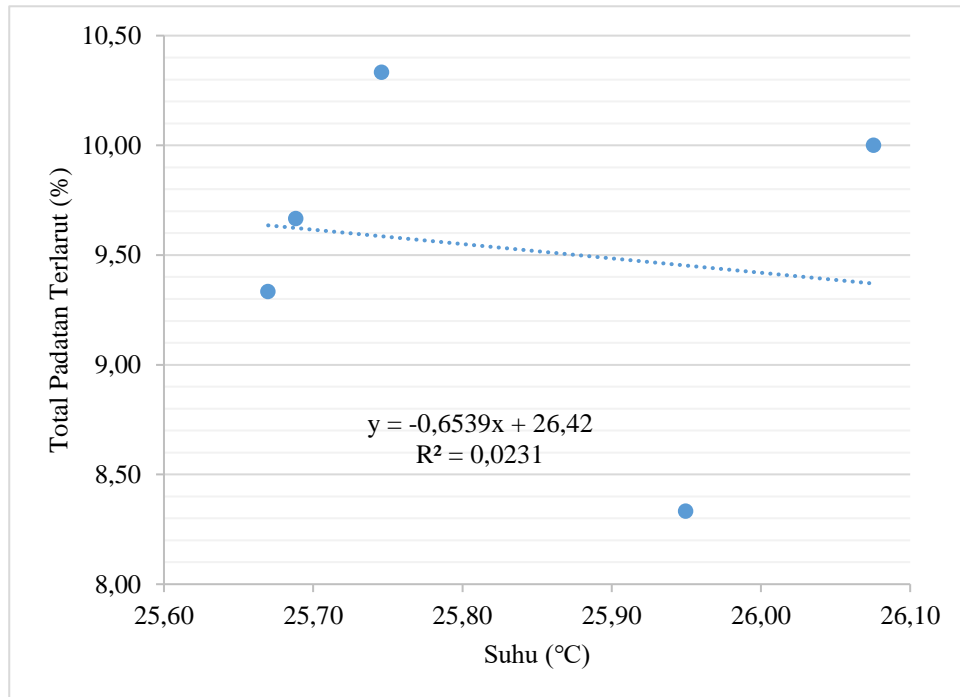
Gambar 14. Hubungan antara suhu dengan kandungan pati



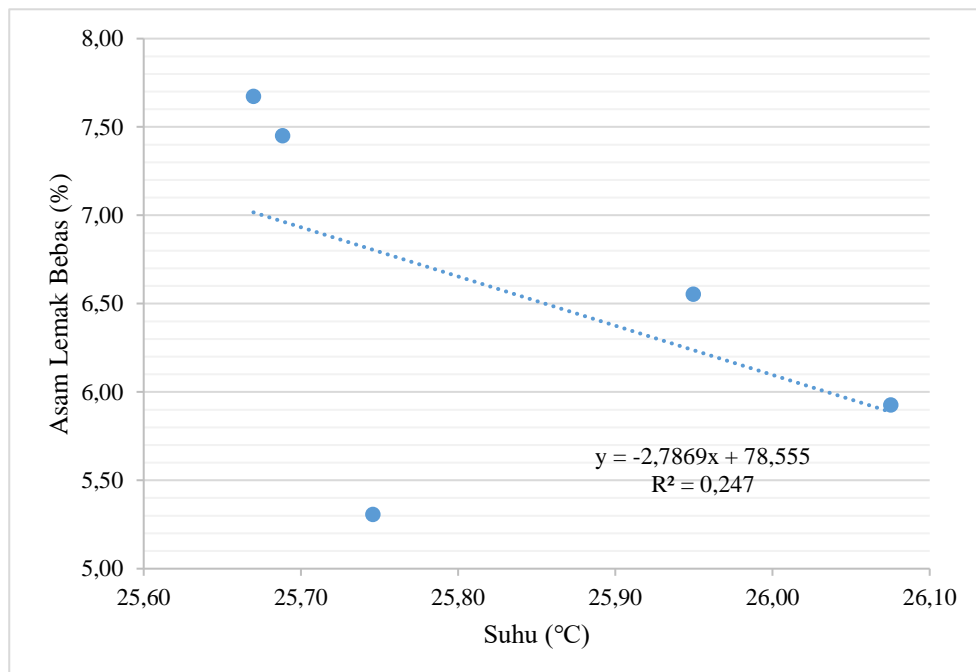
Gambar 15. Hubungan antara suhu dengan kandungan asam bebas



Gambar 16. Hubungan antara suhu dengan kandungan lemak



Gambar 17. Hubungan antara suhu dengan kandungan TPT



Gambar 18. Hubungan antara suhu dengan kandungan ALB

### Hasil analisis Statistix 8 pada parameter pengamatan radiasi suhu, mutu fisik dan mutu kimia

Tabel 7. Analisis ragam untuk data radiasi suhu

Source	DF	SS	MS	F	P
TINGKAT	4	0.63621	0.15905	0.89	0.4889
Error	20	3.58076	0.17904		
Total	24	4.21697			

Grand Mean 25.826 CV 1.64

#### LSD All-Pairwise Comparisons Test of TI by TINGKAT

##### TINGKAT Mean Homogeneous Groups

K2	26.075 A
K1	25.950 AB
K3	25.746 AB
K4	25.688 AB
K5	25.670 B

Alpha 0.15 Standard Error for Comparison 0.2676  
 Critical T Value 1.497 Critical Value for Comparison 0.4006  
 There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.

#### LSD All-Pairwise Comparisons Test of TI by TINGKAT

##### TINGKAT Mean Homogeneous Groups

K2	26.075 A
K1	25.950 A
K3	25.746 A
K4	25.688 A
K5	25.670 A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.2676  
 Critical T Value 2.086 Critical Value for Comparison 0.5582  
 There are no significant pairwise differences among the means.

Tabel 8. Analisis ragam untuk data bobot buah

Source	DF	SS	MS	F	P
TINGKAT	4	42154.1	10538.5	16.6	0.0000
Error	20	12719.6	636.0		
Total	24	54873.7			

Grand Mean 260.65 CV 9.68

**LSD All-Pairwise Comparisons Test of BOBOT by TINGKAT****TINGKAT Mean Homogeneous Groups**

K5	325.74	A
K4	272.28	B
K3	269.88	B
K2	229.46	C
K1	205.87	C

Alpha 0.15 Standard Error for Comparison 15.950  
 Critical T Value 1.497 Critical Value for Comparison 23.877  
 There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means  
 are not significantly different from one another.

**LSD All-Pairwise Comparisons Test of BOBOT by TINGKAT****TINGKAT Mean Homogeneous Groups**

K5	325.74	A
K4	272.28	B
K3	269.88	B
K2	229.46	C
K1	205.87	C

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 15.950  
 Critical T Value 2.086 Critical Value for Comparison 33.270  
 There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means  
 are not significantly different from one another.

Tabel 9. Analisis ragam untuk data diameter buah

Source	DF	SS	MS	F	P
TINGKAT	4	3.86586	0.96647	15.3	0.0000
Error	20	1.26484	0.06324		
Total	24	5.13070			

Grand Mean 7.6028 CV 3.31

**LSD All-Pairwise Comparisons Test of DIAMETER by TINGKAT****TINGKAT Mean Homogeneous Groups**

K5	8.1740	A
K4	7.7500	B
K3	7.7480	B
K2	7.2960	C
K1	7.0460	D

Alpha 0.15 Standard Error for Comparison 0.1590  
 Critical T Value 1.497 Critical Value for Comparison 0.2381  
 There are 4 groups (A, B, etc.) in which the means



are not significantly different from one another.

#### LSD All-Pairwise Comparisons Test of DIAMETER by TINGKAT

##### TINGKAT Mean Homogeneous Groups

K5	8.1740 A
K4	7.7500 B
K3	7.7480 B
K2	7.2960 C
K1	7.0460 C

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.1590  
 Critical T Value 2.086 Critical Value for Comparison 0.3318  
 There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means  
 are not significantly different from one another.

Tabel 10. Analisis ragam untuk data kekerasan buah

Source	DF	SS	MS	F	P
TINGKAT	4	0.04422	0.01106	0.46	0.7638
Error	20	0.48020	0.02401		
Total	24	0.52442			

Grand Mean 0.3348 CV 46.28

#### LSD All-Pairwise Comparisons Test of KB by TINGKAT

##### TINGKAT Mean Homogeneous Groups

K1	0.3960 A
K2	0.3600 A
K3	0.3400 A
K4	0.3000 A
K5	0.2780 A

Alpha 0.15 Standard Error for Comparison 0.0980  
 Critical T Value 1.497 Critical Value for Comparison 0.1467  
 There are no significant pairwise differences among the means.

#### LSD All-Pairwise Comparisons Test of KB by TINGKAT

##### TINGKAT Mean Homogeneous Groups

K1	0.3960 A
K2	0.3600 A
K3	0.3400 A
K4	0.3000 A
K5	0.2780 A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.0980  
 Critical T Value 2.086 Critical Value for Comparison 0.2044

There are no significant pairwise differences among the means.

Tabel 11. Analisis ragam untuk data lemak

Source	DF	SS	MS	F	P
TINGKAT	4	0.84467	0.21117	0.72	0.6000
Error	10	2.95047	0.29505		
Total	14	3.79513			

Grand Mean 2.9033 CV 18.71

#### LSD All-Pairwise Comparisons Test of LEMAK by TINGKAT

##### TINGKAT Mean Homogeneous Groups

K1	3.1067 A
K2	3.1000 A
K3	3.0600 A
K4	2.7300 A
K5	2.5200 A

Alpha 0.15 Standard Error for Comparison 0.4435  
 Critical T Value 1.559 Critical Value for Comparison 0.6915  
 There are no significant pairwise differences among the means.

#### LSD All-Pairwise Comparisons Test of LEMAK by TINGKAT

##### TINGKAT Mean Homogeneous Groups

K1	3.1067 A
K2	3.1000 A
K3	3.0600 A
K4	2.7300 A
K5	2.5200 A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.4435  
 Critical T Value 2.228 Critical Value for Comparison 0.9882  
 There are no significant pairwise differences among the means.

Tabel 12. Analisis ragam untuk data pati

Source	DF	SS	MS	F	P
TINGKAT	4	2.79497	0.69874	28.1	0.0000
Error	10	0.24840	0.02484		
Total	14	3.04337			

Grand Mean 4.1453 CV 3.80

#### LSD All-Pairwise Comparisons Test of PATI by TINGKAT

##### TINGKAT Mean Homogeneous Groups

K5	4.9067 A
----	----------

K4	4.3400	B
K2	3.8833	C
K3	3.8467	C
K1	3.7500	C

Alpha 0.15 Standard Error for Comparison 0.1287  
 Critical T Value 1.559 Critical Value for Comparison 0.2007  
 There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means  
 are not significantly different from one another.

#### LSD All-Pairwise Comparisons Test of PATI by TINGKAT

##### TINGKAT Mean Homogeneous Groups

K5	4.9067	A
K4	4.3400	B
K2	3.8833	C
K3	3.8467	C
K1	3.7500	C

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.1287  
 Critical T Value 2.228 Critical Value for Comparison 0.2867  
 There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means  
 are not significantly different from one another.

Tabel 13. Analisis ragam untuk data sukrosa

Source	DF	SS	MS	F	P
TINGKAT	4	2.23717	0.55929	1.36	0.3152
Error	10	4.11740	0.41174		
Total	14	6.35457			

Grand Mean 1.3047 CV 49.18

#### LSD All-Pairwise Comparisons Test of SUKROSA by TINGKAT

##### TINGKAT Mean Homogeneous Groups

K3	1.8733	A
K5	1.4867	AB
K1	1.4100	AB
K4	0.9533	B
K2	0.8000	B

Alpha 0.15 Standard Error for Comparison 0.5239  
 Critical T Value 1.559 Critical Value for Comparison 0.8169  
 There are 2 groups (A and B) in which the means  
 are not significantly different from one another.

**LSD All-Pairwise Comparisons Test of SUKROSA by TINGKAT TINGKAT Mean Homogeneous Groups**

K3	1.8733 A
K5	1.4867 A
K1	1.4100 A
K4	0.9533 A
K2	0.8000 A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.5239  
 Critical T Value 2.228 Critical Value for Comparison 1.1674  
 There are no significant pairwise differences among the means.

Tabel 14. Analisis ragam untuk data glukosa

Source	DF	SS	MS	F	P
TINGKAT	4	0.16197	0.04049	1.41	0.2996
Error	10	0.28720	0.02872		
Total	14	0.44917			

Grand Mean 2.4087 CV 7.04

**LSD All-Pairwise Comparisons Test of GLUKOSA by TINGKAT**

**TINGKAT Mean Homogeneous Groups**

K3	2.5333 A
K1	2.5200 A
K4	2.3733 AB
K2	2.3567 AB
K5	2.2600 B

Alpha 0.15 Standard Error for Comparison 0.1384  
 Critical T Value 1.559 Critical Value for Comparison 0.2158  
 There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.

**LSD All-Pairwise Comparisons Test of GLUKOSA by TINGKAT**

**TINGKAT Mean Homogeneous Groups**

K3	2.5333 A
K1	2.5200 A
K4	2.3733 A
K2	2.3567 A
K5	2.2600 A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.1384  
 Critical T Value 2.228 Critical Value for Comparison 0.3083  
 There are no significant pairwise differences among the means.

Tabel 15. Analisis ragam untuk data asam bebas

Source	DF	SS	MS	F	P
TINGKAT	4	0.05673	0.01418	0.22	0.9236
Error	10	0.65700	0.06570		
Total	14	0.71373			

Grand Mean 1.4167 CV 18.09

**LSD All-Pairwise Comparisons Test of AB by TINGKAT****TINGKAT Mean Homogeneous Groups**

K1	1.4833 A
K2	1.4800 A
K3	1.4033 A
K5	1.4000 A
K4	1.3167 A

Alpha 0.15 Standard Error for Comparison 0.2093  
 Critical T Value 1.559 Critical Value for Comparison 0.3263  
 There are no significant pairwise differences among the means.

**LSD All-Pairwise Comparisons Test of AB by TINGKAT****TINGKAT Mean Homogeneous Groups**

K1	1.4833 A
K2	1.4800 A
K3	1.4033 A
K5	1.4000 A
K4	1.3167 A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.2093  
 Critical T Value 2.228 Critical Value for Comparison 0.4663  
 There are no significant pairwise differences among the means.

Tabel 16. Analisis ragam untuk data asam lemak bebas

Source	DF	SS	MS	F	P
TINGKAT	4	12.0036	3.00089	2.08	0.1591
Error	10	14.4563	1.44563		
Total	14	26.4598			

Grand Mean 6.5820 CV 18.27

**LSD All-Pairwise Comparisons Test of ALB by TINGKAT****TINGKAT Mean Homogeneous Groups**

K5	7.6733 A
K4	7.4500 AB
K1	6.5533 ABC

K2 5.9267 BC  
K3 5.3067 C

Alpha 0.15 Standard Error for Comparison 0.9817  
Critical T Value 1.559 Critical Value for Comparison 1.5307  
There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means  
are not significantly different from one another.

#### LSD All-Pairwise Comparisons Test of ALB by TINGKAT

##### TINGKAT Mean Homogeneous Groups

K5 7.6733 A  
K4 7.4500 AB  
K1 6.5533 AB  
K2 5.9267 AB  
K3 5.3067 B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.9817  
Critical T Value 2.228 Critical Value for Comparison 2.1874  
There are 2 groups (A and B) in which the means  
are not significantly different from one another.

Tabel 17. Analisis ragam untuk data total padatan terlarut

Source	DF	SS	MS	F	P
TINGKAT	4	7.0667	1.76667	1.20	0.3675
Error	10	14.6667	1.46667		
Total	14	21.7333			

Grand Mean 9.5333 CV 12.70

#### LSD All-Pairwise Comparisons Test of TPT by TINGKAT

##### TINGKAT Mean Homogeneous Groups

K3 10.333 A  
K2 10.000 A  
K4 9.6667 AB  
K5 9.3333 AB  
K1 8.3333 B

Alpha 0.15 Standard Error for Comparison 0.9888  
Critical T Value 1.559 Critical Value for Comparison 1.5418  
There are 2 groups (A and B) in which the means  
are not significantly different from one another.

#### LSD All-Pairwise Comparisons Test of TPT by TINGKAT

##### TINGKAT Mean Homogeneous Groups

K3 10.333 A  
K2 10.000 A

K4	9.6667	A
K5	9.3333	A
K1	8.3333	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.9888  
Critical T Value 2.228 Critical Value for Comparison 2.2032  
There are no significant pairwise differences among the means.